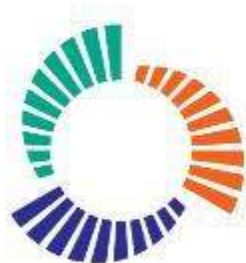


Desenvolvido por:



FUNDAÇÃO
renova

**RELATÓRIO TÉCNICO –
RELATÓRIO FINAL (ITENS 1 E 3 DA DELIBERAÇÃO CIF Nº 497/2021)
ESTUDO DE MANCHA DE INUNDAÇÃO ENTRE OS TRECHOS T13 A T16**

Junho/2021



**RELATÓRIO TÉCNICO –
RELATÓRIO FINAL (ITENS 1 E 3 DA DELIBERAÇÃO CIF Nº 497/2021)
ESTUDO DE MANCHA DE INUNDAÇÃO ENTRE OS TRECHOS T13 A T16**

Belo Horizonte / Junho de 2021

SUMÁRIO

SUMÁRIO EXECUTIVO	20
1 INTRODUÇÃO	32
2 OBJETIVO	33
3 ANÁLISE DOS DADOS BÁSICOS	34
3.1 Documentos Disponibilizados	34
3.2 Seções Topobatimétricas	37
3.3 Topografia LiDAR	40
3.4 Topografia IEMA	43
3.5 Topografia ANA	47
3.6 Dados das usinas hidrelétricas	48
4 VISITA DE CAMPO	50
4.1 Ponto 1	52
4.2 Ponto 2	55
4.3 Ponto 3	57
4.4 Ponto 4	59
4.5 Ponto 5	61
4.6 Ponto 6	63
4.7 Ponto 7	66
4.8 Ponto 8	68
4.9 Ponto 9	70

4.10	Ponto 10.....	71
4.11	Ponto 11.....	73
4.12	Ponto 12.....	75
4.13	Ponto 13.....	76
4.14	Ponto 14.....	79
4.15	Ponto 15.....	81
4.16	Ponto 16.....	83
4.17	Ponto 17.....	85
5	LEVANTAMENTO DAS SEÇÕES TOPOBATIMÉTRICAS COMPLEMENTARES.....	87
5.1	Metodologia para Levantamento das Seções	89
5.2	Resultados	91
5.2.1	Comparação entre os níveis de água medidos nas seções complementares e níveis de água observados nas estações fluviométricas próximas	121
6	ELABORAÇÃO DO MODELO DIGITAL DE TERRENO-MDT	124
6.1	Etapa 1 - Conversão de curvas de nível em arquivos Geotiff	125
6.2	Etapa 2 - Consolidação das seções topobatimétricas	127
6.3	Etapa 3 - Compatibilização entre a topografia LiDAR e as seções topobatimétricas.....	130
6.4	Etapa 4 - Inserção da batimetria do rio no MDT.....	157
6.4.1	Considerações sobre trechos de corredeiras e cachoeiras	161
6.5	Etapa 5 - Inserção da batimetria dos reservatórios das usinas hidrelétricas Baguari, Aimorés e Mascarenhas	166
6.5.1	UHE Baguari	167

6.5.1	UHE Aimorés	171
6.5.1	UHE Mascarenhas	174
6.6	Etapa 6 - Identificação das ilhas fluviais e barras arenosas	176
6.7	Etapa 7 – Tratamento do Modelo Digital de Elevação – MDE disponibilizado pelo Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo - IEMA.	177
6.8	Etapa 8 – Análise dos canais de drenagem e lagoas no trecho compreendido entre a sede municipal de Linhares e a foz do rio Doce.....	179
6.8.1	Canais de Drenagem.....	180
6.8.2	Lagoas 183	
6.9	Etapa 9 - Elaboração de um modelo digital de terreno único com a junção da topografia e batimetrias do rio e reservatórios.	192
7	ESTUDO HIDROLÓGICO	194
7.1	Curvas-Chave e Análise de Frequência	197
7.1.1	Estação Fazenda Cachoeira D’Antas (56425000).....	198
7.1.2	Estação Cachoeira dos Óculos Montante (56539000)	201
7.1.3	Estação Belo Oriente (56719998)	204
7.1.4	Estação Governador Valadares (56850000).....	207
7.1.5	Estação Tumiritinga (56920000).....	210
7.1.6	Estação Resplendor Jusante (56948005).....	213
7.1.7	Estação Colatina (56994500)	216
7.1.8	Testes de aderência.....	220
7.2	Regionalização de Vazões.....	222
7.2.1	Definição das vazões nos trechos	226

7.2.2	Cálculo das Vazões das Cheias de Jan/2016 e Jan/2020.....	231
7.3	Análise de Vazões de Pico Instantâneas	241
8	MODELAGEM HIDRODINÂMICA	246
8.1	Dados Utilizados	247
8.1.1	Modelo Digital de Terreno e Seções Topobatimétricas	247
8.1.2	Perfis de Linha de água - Calibração.....	248
8.1.3	Históricos e níveis de operações das Usinas Hidrelétricas Risoleta Neves, Baguari, Aimorés e Mascarenhas	254
8.1.4	Níveis de água observados na foz do Rio Doce	255
8.2	Calibração do Modelo	259
8.2.1	Estação Fazenda Cachoeira D’Antas	260
8.2.2	Estação Cachoeira dos Óculos Montante	261
8.2.3	Estação Belo Oriente	263
8.2.4	Estação Governador Valadares	266
8.2.1	Estação Tumiritinga	267
8.2.2	Estação Colatina	269
8.2.3	Estação Linhares.....	271
8.2.4	Análise do resultado da calibração e comparação com valores relatados na literatura.....	272
8.3	Premissas e Critérios	281
8.3.1	Coeficiente de rugosidade de Manning do leito fluvial	281
8.3.2	Coeficiente de rugosidade de Manning da planície de Inundação	282
8.3.3	Ipatinga.....	285

8.3.4	Governador Valadares	286
8.3.5	Aimorés e Baixo Guandu	287
8.3.6	Distrito de Itapina - Colatina	289
8.3.7	Colatina	290
8.3.8	Linhares e foz	291
8.3.9	Trecho T13 a T16	293
8.4	Resultados das Simulações Hidrodinâmicas	296
8.4.1	Considerações sobre registros de inundações em imagens de sensoriamento remoto	296
8.4.2	Ipatinga	301
8.4.3	Governador Valadares	304
8.4.4	Aimorés e Baixo Guandu	309
8.4.5	Distrito de Itapina - Colatina	311
8.4.6	Colatina	314
8.4.7	Linhares e foz	318
8.4.1	Trecho T13 a T16	326
8.5	Comparação entre os Resultados das Simulações Hidrodinâmicas e Níveis de água Observados para os Eventos de Jan/2016 e Jan/2020	327
9	CONTEXTUALIZAÇÃO DE OUTROS ESTUDOS RELACIONADOS JÁ REALIZADOS NO RIO DOCE.....	332
10	CONCLUSÃO	347
11	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	353
12	APÊNDICES / ANEXOS	359

12.1 Levantamento das 40 seções topobatimétricas complementares	359
12.1.1 Localização das seções topobatimétricas complementares	359
12.1.2 Planilha Eletrônica contemplando a tabela de dados de cada seção	359
12.1.3 Arquivos de processamento por rastreamento.....	359
12.1.4 Desenhos: planta e perfil das seções topobatimétricas levantadas.....	359
12.1.5 Equipamentos e softwares utilizados	359
12.1.6 Coordenadas das seções topobatimétrica complementares	360
12.1.7 Registro Fotográfico.....	362
12.2 Localização das 188 Seções Topobatimétricas	376
12.3 Quadro Resumo de Premissas e Critérios das Modelagens Hidrodinâmicas.....	376
12.4 Modelo Digital de Terreno.....	376
12.5 Mapas e Manchas de Inundação.....	376
12.6 Resultados das seções transversais.....	376
12.7 Registros Jornalísticos das Cheias de 2016 e 2020	376
12.8 ART	376
12.9 Atendimento às requisições da CT-GRSA e CIF.....	376

Lista de Figuras

Figura 3-1 – Localização das seções topobatimétricas levantadas pela Consominas Engenharia LTDA.....	39
Figura 3-2 – Área abrangida pelo Modelo Digital de Terreno LiDAR.	41
Figura 3-3 – Método LiDAR.....	42
Figura 3-4 – MDT gerado pela interpolação linear entre as curvas de nível disponibilizadas.....	42
Figura 3-5 – Comparação entre os MDTs.....	44
Figura 3-6 – Diferenças entre MDE e MDT.....	44

Figura 3-7 – Comparação entre MDT IEMA e MDE IEMA tratado na região da lagoa de Zacarias. Nota-se que o MDE representa melhor as formas de relevo como tabuleiros litorâneos e regiões de lagoas.....	45
Figura 3-8 – Descontinuidades observadas na transição entre o MDT LiDAR e o MDT IEMA.	46
Figura 3-9 - Comparação entre MDT IEMA e MDE IEMA tratado em região de tabuleiros litorâneos na margem direita do rio Doce.	46
Figura 3-10 - Comparação entre MDT IEMA e MDE IEMA tratado em região de tabuleiros litorâneos na margem esquerda do rio Doce.	46
Figura 3-11 - Localização das UHE's no trecho de interesse.....	48
Figura 4-1 – Localização dos pontos visitados.....	51
Figura 4-2 – Localização do Ponto 1.....	52
Figura 4-3 – Estação RDO 03 – PMQQS.....	53
Figura 4-4 – Vista de jusante e montante do rio Doce no ponto 1.	54
Figura 4-5 – Localização do Ponto 2.....	55
Figura 4-6 – Vista de montante e jusante do rio Doce no Ponto 2.	56
Figura 4-7 – Localização do Ponto 3.....	57
Figura 4-8 – Vista de montante e jusante do ponto 3.	58
Figura 4-9 – Localização do Ponto 4.....	59
Figura 4-10 – Vista de montante e jusante do ponto 4.	60
Figura 4-11 – Localização do Ponto 5.....	61
Figura 4-12 – Vista de montante e jusante do ponto 5.	62
Figura 4-13 – Marca da cheia no muro.	63
Figura 4-14 – Localização do ponto 6.	64
Figura 4-15 – Vista de montante e jusante do ponto 6.	65
Figura 4-16 – Localização do ponto 7.....	66
Figura 4-17 – Vista de montante e jusante do ponto 7.	67
Figura 4-18 – Localização do ponto 8.....	68
Figura 4-19 – Vista de montante e jusante do ponto 8.	69
Figura 4-20 – Localização do ponto 9.....	70
Figura 4-21 – Paramento de jusante da Barragem de Aimorés.	71
Figura 4-22 – Localização do ponto 10.....	72
Figura 4-23 – Localização do ponto 10.....	72
Figura 4-24 – Localização do ponto 11.....	73
Figura 4-25 – Vista de montante e jusante do ponto 11.	74
Figura 4-26 – Localização do ponto 12.....	75
Figura 4-27 – Vista de jusante do ponto 12.....	76
Figura 4-28 – Localização do ponto 13.....	77
Figura 4-29 – Vista da ponte no ponto 13.	77
Figura 4-30 – Vista de montante e jusante do ponto 13.	78
Figura 4-31 – Localização do ponto 14.....	79
Figura 4-32 – Vista de montante e jusante do ponto 14.	80
Figura 4-33 – Localização do ponto 15.....	81
Figura 4-34 – Vista de montante e jusante do ponto 15.	82
Figura 4-35 – Localização do ponto 16.....	83
Figura 4-36 – Vista de montante e jusante do ponto 16.	84

Figura 4-37 – Localização do ponto 17.....	85
Figura 4-38 – Placa de identificação da foz do rio Doce.....	85
Figura 4-39 – Vista da foz no ponto 17.....	86
Figura 5-1 – Localização das seções topobatimétricas complementares.....	88
Figura 5-2 – SC-01.....	93
Figura 5-3 – SC-02 e SC-03.....	94
Figura 5-4 – SC-04.....	95
Figura 5-5 – SC-05.....	96
Figura 5-6 – SC-06.....	97
Figura 5-7 – SC-07.....	98
Figura 5-8 – SC-08.....	99
Figura 5-9 – SC-09.....	100
Figura 5-10 – SC-10.....	101
Figura 5-11 – SC-11.....	102
Figura 5-12 – SC-12.....	103
Figura 5-13 – SC-13.....	104
Figura 5-14 – SC-14.....	105
Figura 5-15 – SC-15.....	105
Figura 5-16 – SC-16.....	106
Figura 5-17 – SC-17.....	106
Figura 5-18 – SC-18.....	107
Figura 5-19 – SC-19.....	107
Figura 5-20 – SC-20.....	108
Figura 5-21 – SC-21.....	108
Figura 5-22 – SC-22.....	109
Figura 5-23 – SC-23.....	110
Figura 5-24 – SC-24.....	111
Figura 5-25 – SC-25.....	112
Figura 5-26 – SC-26.....	113
Figura 5-27 – SC-27.....	114
Figura 5-28 – SC-28.....	114
Figura 5-29 – SC-29.....	115
Figura 5-30 – SC-30.....	115
Figura 5-31 – SC-31.....	116
Figura 5-32 – SC-32.....	116
Figura 5-33 – SC-33.....	117
Figura 5-34 – SC-34.....	117
Figura 5-35 – SC-35.....	118
Figura 5-36 – SC-36.....	118
Figura 5-37 – SC-37.....	119
Figura 5-38 – SC-38.....	119
Figura 5-39 – SC-39.....	120
Figura 5-40 – SC-40.....	120
Figura 6-1 – Exemplo de conversão de curvas de nível em MDT.....	126

Figura 6-2 – Localização das seções topobatimétricas utilizadas na elaboração do MDT para modelagem hidrodinâmica.....	129
Figura 6-3 – Seção DC-0010 (ANA/IBIO) aderente à topografia LiDAR.....	130
Figura 6-4 – Seção DC-0016 (ANA/IBIO) com margens não aderentes à topografia LiDAR.....	131
Figura 6-5 – Ajuste da Seção da Estação Fazenda Cachoeira D’Antas (56420000).....	133
Figura 6-6 - Ajuste da Seção da Estação Cachoeira dos Óculos Montante (56539000).....	133
Figura 6-7 - Ajuste da Seção da Estação Belo Oriente (56719998).....	134
Figura 6-8 - Ajuste da Seção da Estação Governador Valadares (56850000).....	134
Figura 6-9 - Ajuste da Seção da Estação Tumiritinga (56920000).....	135
Figura 6-10 - Ajuste da Seção da Estação Colatina (56994500).....	135
Figura 6-11 – Seção complementar SC-1 e MDT.....	136
Figura 6-12 - Seção complementar SC-2 e MDT.....	136
Figura 6-13 - Seção complementar SC-3 e MDT.....	137
Figura 6-14 - Seção complementar SC-4 e MDT.....	137
Figura 6-15 - Seção complementar SC-5 e MDT.....	138
Figura 6-16 - Seção complementar SC-6 e MDT.....	138
Figura 6-17 - Seção complementar SC-7 e MDT.....	139
Figura 6-18 - Seção complementar SC-8 e MDT.....	139
Figura 6-19 - Seção complementar SC-9 e MDT.....	140
Figura 6-20 - Seção complementar SC-10 e MDT.....	140
Figura 6-21 - Seção complementar SC-11 e MDT.....	141
Figura 6-22 - Seção complementar SC-12 e MDT.....	141
Figura 6-23 - Seção complementar SC-13 e MDT.....	142
Figura 6-24 - Seção complementar SC-14 e MDT.....	142
Figura 6-25 - Seção complementar SC-15 e MDT.....	143
Figura 6-26 - Seção complementar SC-16 e MDT.....	143
Figura 6-27 - Seção complementar SC-17 e MDT.....	144
Figura 6-28 - Seção complementar SC-18 e MDT.....	144
Figura 6-29 - Seção complementar SC-19 e MDT.....	145
Figura 6-30 - Seção complementar SC-20 e MDT.....	145
Figura 6-31 - Seção complementar SC-21 e MDT.....	146
Figura 6-32 - Seção complementar SC-22 e MDT.....	146
Figura 6-33 - Seção complementar SC-23 e MDT.....	147
Figura 6-34 - Seção complementar SC-24 e MDT.....	147
Figura 6-35 - Seção complementar SC-25 e MDT.....	148
Figura 6-36 - Seção complementar SC-26 e MDT.....	148
Figura 6-37 - Seção complementar SC-27 e MDT.....	149
Figura 6-38 - Seção complementar SC-28 e MDT.....	149
Figura 6-39 - Seção complementar SC-29 e MDT.....	150
Figura 6-40 - Seção complementar SC-30 e MDT.....	150
Figura 6-41 - Seção complementar SC-31 e MDT.....	151
Figura 6-42 - Seção complementar SC-32 e MDT.....	151
Figura 6-43 - Seção complementar SC-33 e MDT.....	152
Figura 6-44 - Seção complementar SC-34 e MDT.....	152

Figura 6-45- Seção complementar SC-35 e MDT.....	153
Figura 6-46- Seção complementar SC-36 e MDT.....	153
Figura 6-47- Seção complementar SC-37 e MDT.....	154
Figura 6-48- Seção complementar SC-38 e MDT.....	154
Figura 6-49- Seção complementar SC-39 e MDT.....	155
Figura 6-50- Seção complementar SC-40 e MDT.....	155
Figura 6-51 – Comparação entre perfil longitudinal ajustado (linha vermelha) e não ajustado (linha preta). (..	156
Figura 6-52 – Módulo <i>RAS MAPPER</i>	158
Figura 6-53 – Módulo <i>GEOMETRIC DATA</i>	158
Figura 6-54 – Ferramenta <i>XS Interpolation</i>	159
Figura 6-55 – Procedimentos para construção de MDT contemplando a batimetria e planície fluvial.....	160
Figura 6-56 – Cachoeira dos óculos, cachoeira Ruínas da Ponte Queimada e cachoeira sem nome localizada entre as duas.	162
Figura 6-57- Cachoeiras situadas no trecho de vazão reduzida no município de Aimorés.	162
Figura 6-58 - Cachoeira Sant’Ana e cachoeira Belo Oriente.	163
Figura 6-59 – Representações das cachoeiras no MDT LiDAR com curvas de nível a cada 0,5m. 1: Cachoeira dos Óculos, 2: Cachoeira sem nome, 3: Cachoeira Ruínas da Ponte Queimada, 4: Cachoeira Sant’Ana, 5:Cachoeira Escura, 6: Queda de água localizada no TVR.	164
Figura 6-60 – Comparação entre o perfil longitudinal da topografia LiDAR e perfil longitudinal da batimetria entre as seções DC-0017 e DC-0021.	165
Figura 6-61 - Comparação entre o perfil longitudinal da topografia LiDAR e perfil longitudinal da batimetria entre as seções DC-0030 e DC-0035.	165
Figura 6-62 - Comparação entre o perfil longitudinal da topografia LiDAR e perfil longitudinal da batimetria entre as seções DC-0083 e DC-0084.	166
Figura 6-63 – Curvas de nível da área seca e isóbatas do reservatório de Baguari.	167
Figura 6-64 – Comparação entre as isóbatas, o arquivo Geotiff disponibilizado e o arquivo Geotiff gerado a partir da interpolação linear entre as isóbatas.....	169
Figura 6-65 - Comparação entre a topografia LiDAR e a topografia LiDAR com a batimetria do reservatório Baguari inserida.....	170
Figura 6-66 – Curvas de Nível e Isóbatas do Reservatório Aimorés.	172
Figura 6-67 - Comparação entre a topografia LiDAR disponibilizada e a topografia LiDAR com a batimetria do reservatório Aimorés inserida.....	173
Figura 6-68 - Comparação entre a topografia LiDAR disponibilizada e a topografia LiDAR com a batimetria do reservatório Mascarenhas inserida.....	175
Figura 6-69 – Inserção da batimetria interpolada recortada sobre o MDT LiDAR.....	176
Figura 6-70 – Esquemática do processo de tratamento do MDE IEMA.....	178
Figura 6-71 – Comparação entre o MDE IEMA original e o MDE tratado.	179
Figura 6-72 - Comparação entre MDT IEMA e MDE IEMA tratado em região com canal de drenagem na margem direita do rio Doce.	181
Figura 6-73 - Comparação entre perfil transversal de canal de drenagem na topografia LiDAR e MDE IEMA tratado na margem direita do rio Doce.	181
Figura 6-74 – Comparação entre representação de canal à margem esquerda do rio Doce nas topografias MDE IEMA tratada e MDT IEMA.	181
Figura 6-75 – Comparação entre a representação de canais no MDE IEMA tratado e MDT IEMA.	182

Figura 6-76 – Representação da mancha de inundação sobre os canais de drenagem.	182
Figura 6-77 – Conexão entre a lagoa Monsarás e o rio Doce.....	184
Figura 6-78 – Imagens do satélite Landsat na região da lagoa Monsarás em diferentes datas de cheias e imagem Google em período de estiagem.	185
Figura 6-79 – Abertura da boca da barra em 28/01/2020. Fonte: Portal de Notícias da Prefeitura Municipal de Linhares.	186
Figura 6-80 – Canal aberto em boca da barra em 28/01/2020. Fonte: Portal de Notícias Radar Capixaba.	187
Figura 6-81 – Classificação de lagoas costeiras segundo Kjerfve (1986). Fonte: Miranda <i>et al.</i> (2002).....	188
Figura 6-82 – Imagens de Satélite Landsat em períodos de cheia na região das Lagoas Areal e Areão (Pandolfi).	189
Figura 6-83 – Conexão entre a lagoa Martins e a Lagoa Monsarás por canais de drenagem representados no MDT LiDAR.	190
Figura 6-84 – Imagens de satélite Landsat em diferentes datas de na região das lagoas Martins e Zacarias.	192
Figura 6-85 – Camadas para criação de raster virtual.	193
Figura 7-1 – Localização das estações fluviométricas analisadas.	196
Figura 7-2 – Curva-chave Estação Fazenda Cachoeira D’Antas.....	198
Figura 7-3 – Distribuição de probabilidade Estação Fazenda Cachoeira D’Antas.....	200
Figura 7-4 – Distribuição escolhida para Estação Fazenda Cachoeira D’Antas.	200
Figura 7-5 – Curva-chave Estação Cachoeira dos Óculos Montante.	201
Figura 7-6 – Distribuição de probabilidade Estação Cachoeira dos Óculos Montante.	203
Figura 7-7 – Distribuição escolhida para a Estação Cachoeira dos Óculos Montante.	203
Figura 7-8 – Curva-chave Estação Belo Oriente.	204
Figura 7-9 – Distribuição de probabilidade Estação Belo Oriente.	206
Figura 7-10 – Distribuição escolhida para a Estação Belo Oriente.	206
Figura 7-11 – Curva-chave Estação Governador Valadares.	207
Figura 7-12 – Distribuição de probabilidade Estação Governador Valadares.	209
Figura 7-13 – Distribuição escolhida para a Estação Governador Valadares.	209
Figura 7-14 – Curva-chave Estação Tumiritinga.	210
Figura 7-15 – Distribuição de probabilidade Estação Tumiritinga.	212
Figura 7-16 – Distribuição escolhida para a Estação Tumiritinga.	212
Figura 7-17 – Curva-chave Estação Resplendor Jusante.....	213
Figura 7-18 – Distribuição de probabilidade Estação Resplendor Jusante.....	215
Figura 7-19 – Distribuição escolhida para a Estação Resplendor Jusante.....	215
Figura 7-20 – Curva-chave Estação Colatina.	216
Figura 7-21 – Distribuição de probabilidade Estação Colatina.	218
Figura 7-22 – Distribuição escolhida para a Estação Colatina.	219
Figura 7-23 – Curva regional distribuição Exponencial.....	224
Figura 7-24 – Curva regional distribuição Gumbel.....	225
Figura 7-25 – Curva Regional.....	226
Figura 7-26 – Localização dos Pontos de Controle e Áreas de Drenagem.	230
Figura 7-27 – Fluviograma janeiro de 2016 Estação Fazenda Cachoeira D’Antas.....	232
Figura 7-28 - Fluviograma janeiro de 2016 Estação Cachoeira dos Óculos Montante.	232
Figura 7-29 - Fluviograma janeiro de 2016 Estação Belo Oriente.....	233
Figura 7-30 - Fluviograma janeiro de 2016 Estação Governador Valadares.	233

Figura 7-31 - Fluviograma janeiro de 2016 Estação Tumiritinga.	234
Figura 7-32 - Fluviograma janeiro de 2016 Estação Colatina.	234
Figura 7-33 - Fluviograma janeiro de 2020 Estação Fazenda Cachoeira D’Antas.	235
Figura 7-34 - Fluviograma janeiro de 2020 Estação Cachoeira dos Óculos Montante.	235
Figura 7-35 - Fluviograma janeiro de 2020 Estação Belo Oriente.	236
Figura 7-36 - Fluviograma janeiro de 2020 Estação Governador Valadares.	236
Figura 7-37 - Fluviograma janeiro de 2020 Estação Tumiritinga.	237
Figura 7-38 - Fluviograma janeiro de 2020 Estação Colatina.	237
Figura 7-39 – Curvas representativas para a cheia de Jan/2016.	239
Figura 7-40 – Curvas representativas para a cheia de Jan/2020.	239
Figura 7-41 – Falha de medição do evento de jan/2020 na estação Cachoeira dos Óculos Montante.	244
Figura 7-42 - Comparação entre vazões simuladas e medidas para cheia de Jan/2016.	245
Figura 7-43 – Comparação entre vazões simuladas e medidas para cheia de Jan/2020.	245
Figura 8-1 - Relação entre cota e profundidade resumo de descarga estação Fazenda Cachoeira D’Antas.	252
Figura 8-2 - Relação entre cota e profundidade resumo de descarga estação Cachoeira dos Óculos Montante.	252
Figura 8-3 - Relação entre cota e profundidade resumo de descarga estação Belo Oriente.	253
Figura 8-4 - Relação entre cota e profundidade resumo de descarga estação Tumiritinga.	253
Figura 8-5 - Exemplo de estimativa de NA observado a partir da cota de fundo ajustada e profundidade de escoamento calculada.	254
Figura 8-6 – Localização da estação maregráfica Terminal Barra do Riacho, estação RDO-16 e última seção topobatimétrica levantada (Seção complementar SC-30).	257
Figura 8-7 - Série de níveis de água máximos diários da estação RDO-16.	258
Figura 8-8 – Perfil longitudinal da geometria de calibração do trecho da estação Fazenda Cachoeira D’Antas.	260
Figura 8-9 - Perfil longitudinal da geometria de calibração do trecho da estação Cachoeira dos Óculos Montante.	262
Figura 8-10 - Perfil longitudinal da geometria de calibração do trecho da estação Belo Oriente.	264
Figura 8-11 - Perfil longitudinal da geometria de calibração do trecho da estação Governador Valadares.	266
Figura 8-12 - Perfil longitudinal da geometria de calibração do trecho da estação Tumiritinga.	268
Figura 8-13 - Perfil longitudinal da geometria de calibração do trecho da estação Colatina.	269
Figura 8-14 - Perfil longitudinal da geometria de calibração do trecho da estação Linhares.	272
Figura 8-15 - Valores de n calculados para as estações: A) Fazenda Cachoeira D’Antas, B) Cachoeira dos Óculos, C) Belo Oriente, D) Governador Valadares, E) Tumiritinga, F) Resplendor, G) Colatina. Fonte: Teixeira et al. (2018)	275
Figura 8-16 - Perfil longitudinal do rio Doce, métricas estatísticas entre os dados de vazão (Q) e nível (h) observados e simulados com o HEC-RAS para as estações fluviométricas da ANA e valores do coeficiente de Manning (n) utilizado em cada trecho de rio. Valores de n em negrito indicam o valor predominante. Fonte: LACTEC (2020a)	278
Figura 8-17 – Coeficiente de rugosidade de Manning calculado para área de vegetação adensada de 0,11. Fonte: Colson, Arcement, e Ming (1979) apud Arcement & Schneider (1989)	284
Figura 8-18 – Esquema de modelo: UHE Risoleta Neves a UHE Baguari.	294
Figura 8-19 - Esquema de modelo: UHE Baguari a UHE Aimorés.	295
Figura 8-20 - Esquema de modelo: UHE Aimorés a Foz do rio Doce.	295

Figura 8-21 – Comparação entre diferentes composições da imagem Landsat 8: coloração natural e coloração natural falsa cor (Lookimage).....	297
Figura 8-22 – Ilustração de áreas de vegetação densa cercadas por áreas onde é possível visualizar presença de água.	299
Figura 8-23 – Imagem Sentinel 2 do dia 29/01/2020 representando áreas que foram inundadas na coloração marrom escuro após evento de inundação.	300
Figura 8-24 – Comparação entre a mancha de inundação simulada para Jan/2016 e imagem registrada em 20/12/2016 em Ipatinga.	302
Figura 8-25 - Comparação entre a mancha de inundação simulada para Jan/2020 e imagem registrada em 26/01/2020 em Ipatinga.	303
Figura 8-26 - Comparação entre a mancha de inundação simulada para Jan/2020 e imagem registrada em 29/01/2020 em Ipatinga.	304
Figura 8-27 – Cotograma da cheia de 2016. Fonte: CPRM (2016b).....	306
Figura 8-28 - Cotograma da cheia de 2020. Fonte: CPRM (2020).....	306
Figura 8-29 - Comparação entre a mancha de inundação simulada para Jan/2020 e imagem registrada em 29/01/2020 em Governador Valadares.	308
Figura 8-30 - Comparação entre a mancha de inundação simulada para Jan/2016 e imagem registrada em 24/01/2016 em Aimorés e Baixo Guandu.	310
Figura 8-31 - Comparação entre a mancha de inundação simulada para Jan/2016 e imagem registrada em 24/01/2016 em Itapina.	312
Figura 8-32 - Comparação entre a mancha de inundação simulada para Jan/2020 e imagem registrada em 19/01/2020 em Itapina.	313
Figura 8-33 - Cotograma da cheia de 2016. Fonte: CPRM (2016b).....	315
Figura 8-34 - Cotograma da cheia de 2020. Fonte: CPRM (2020).....	315
Figura 8-35 - Comparação entre a mancha de inundação simulada para Jan/2016 e imagem registrada em 24/01/2016 em Colatina.	317
Figura 8-36 - Cotograma da cheia de 2016. Fonte: CPRM (2016b).....	319
Figura 8-37 - Cotograma da cheia de 2020. Fonte: CPRM (2020).....	320
Figura 8-38 - Comparação entre a mancha de inundação simulada para Jan/2020 e imagem registrada em 28/01/2020 no trecho T16.	322
Figura 8-39 - Comparação entre a mancha de inundação simulada para Jan/2020 e imagem registrada em 21/01/2003 no trecho T16.	323
Figura 8-40 - Comparação entre a mancha de inundação simulada para TR 10 anos e imagem registrada em 03/01/2011 no trecho T16.	324
Figura 8-41 - Comparação entre a mancha de inundação simulada para TR 100 anos e imagem registrada em 26/12/2013 no trecho T16.	325
Figura 9-1 – Comparação entre manchas de inundação em Ipatinga referentes à cheia de Jan/2016 elaboradas por LACTEC (2020b) simulação 1D e HIDROBR (2021) simulação 2D.	339
Figura 9-2 – Comparação entre manchas de inundação em Governador Valadares referentes à cheia de Jan/2016 elaboradas por LACTEC (2020b) simulação 1D e HIDROBR (2021) simulação 2D.	340
Figura 9-3 - Comparação entre manchas de inundação em Aimorés e Baixo Guandu referentes à cheia de Jan/2016 elaboradas por LACTEC (2020b) simulação 1D e HIDROBR (2021) simulação 2D.....	341
Figura 9-4 - Comparação entre manchas de inundação em Itapina referentes à cheia de Jan/2016 elaboradas por LACTEC (2020b) simulação 1D e HIDROBR (2021) simulação 2D.....	342

Figura 9-5 - Comparação entre manchas de inundação em Colatina referentes à cheia de Jan/2016 elaboradas por LACTEC (2020b) simulação 2D e HIDROBR (2021) simulação 2D.	343
Figura 9-6 - Comparação entre manchas de inundação no trecho T16 referentes à cheia de Jan/2016 elaboradas por LACTEC (2020b) simulação 2D e HIDROBR (2021) simulação 2D.	344
Figura 9-7 - Comparação entre manchas de inundação nos trechos T13 e T14 referentes à cheia de Jan/2016 elaboradas por LACTEC (2020b) simulação 1D e HIDROBR (2021) simulação 1D.	345
Figura 9-8 - Comparação entre manchas de inundação nos trechos T14 e T15 referentes à cheia de Jan/2016 elaboradas por LACTEC (2020b) simulação 1D e HIDROBR (2021) simulação 1D.	346
Figura 12-1 – Levantamento da SC-01.	362
Figura 12-2 – Levantamento da SC-02.	362
Figura 12-3 – Levantamento da SC-03.	363
Figura 12-4 – Levantamento da SC-04.	363
Figura 12-5 – Levantamento da SC-05.	363
Figura 12-6 – Levantamento da SC-06.	364
Figura 12-7 – Levantamento da SC-07.	364
Figura 12-8 – Levantamento da SC-08.	364
Figura 12-9 – Levantamento da SC-09.	365
Figura 12-10 – Levantamento da SC-10.	365
Figura 12-11 – Levantamento da SC-11.	365
Figura 12-12 – Levantamento da SC-12.	366
Figura 12-13 – Levantamento da SC-13.	366
Figura 12-14 – Levantamento da SC-14.	366
Figura 12-15 – Levantamento da SC-15.	367
Figura 12-16 – Levantamento da SC-16.	367
Figura 12-17 – Levantamento da SC-17.	367
Figura 12-18 – Levantamento da SC-18.	368
Figura 12-19 – Levantamento da SC-19.	368
Figura 12-20 – Levantamento da SC-20.	368
Figura 12-21 – Levantamento da SC-21.	369
Figura 12-22 – Levantamento da SC-22.	369
Figura 12-23 – Levantamento da SC-23.	369
Figura 12-24 – Levantamento da SC-24.	370
Figura 12-25 – Levantamento da SC-25.	370
Figura 12-26 – Levantamento da SC-26.	370
Figura 12-27 – Levantamento da SC-27.	371
Figura 12-28 – Levantamento da SC-28.	371
Figura 12-29 – Levantamento da SC-29.	371
Figura 12-30 – Levantamento da SC-30.	372
Figura 12-31 – Levantamento da SC-31.	372
Figura 12-32 – Levantamento da SC-32.	373
Figura 12-33 – Levantamento da SC-33.	373
Figura 12-34 – Levantamento da SC-34.	373
Figura 12-35 – Levantamento da SC-35.	374
Figura 12-36 – Levantamento da SC-36.	374

Figura 12-37 – Levantamento da SC-37.	374
Figura 12-38 – Levantamento da SC-38.	375
Figura 12-39 – Levantamento da SC-39.	375
Figura 12-40 – Levantamento da SC-40.	375

Lista de Tabelas

Tabela 3-1 – Documentos e arquivos disponibilizados.	34
Tabela 4-1 – Pontos avaliados.	50
Tabela 5-1 - Comparação entre os níveis de água medidos nas seções complementares e níveis de água observados nas estações fluviométricas próximas.	122
Tabela 6-1 – Declives identificados em cachoeiras segundo a topografia LiDAR.	164
Tabela 6-2 – Descrição das vazões referentes às imagens de satélite analisadas – lagoa Monsarás.	185
Tabela 6-3 - Descrição das vazões referentes às imagens de satélite analisadas – lagoas Areão (Pandolfi) e Areal.	189
Tabela 6-4 – Descrição das vazões referentes às imagens de satélite analisadas – lagoa Martins e Zacarias.	191
Tabela 7-1 – Estações fluviométricas analisadas.	195
Tabela 7-2 – Série de vazões máximas anuais da estação Fazenda Cachoeira D’Antas.	199
Tabela 7-3 - Série de vazões máximas anuais da estação Cachoeira dos Óculos Montante.	202
Tabela 7-4 - Série de vazões máximas anuais da estação Belo Oriente.	205
Tabela 7-5 - Série de vazões máximas anuais da estação Governador Valadares.	208
Tabela 7-6 - Série de vazões máximas anuais da estação Tumiritinga.	211
Tabela 7-7 - Série de vazões máximas anuais da estação Resplendor Jusante.	214
Tabela 7-8 - Série de vazões máximas anuais da estação Colatina.	217
Tabela 7-9 – Principais parâmetros estações utilizadas.	219
Tabela 7-10 – P-valores calculados para cada estação fluviométrica nos diferentes testes de aderência.	222
Tabela 7-11 – Parâmetros regionais distribuição de probabilidade Exponencial.	223
Tabela 7-12 – Parâmetros regionais distribuição de probabilidade Gumbel.	223
Tabela 7-13 – Área de drenagem e $Q_{med-máx}$ das estações.	225
Tabela 7-14 – Quantis de frequência para as curvas Exponencial e Gumbel.	227
Tabela 7-15 – Vazões obtidas por regionalização – TR de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos.	228
Tabela 7-16 – Vazões máximas anos hidrológicos de 2015-2016 e 2019-2020 e TR associados.	238
Tabela 7-17 – Vazões das cheias de Jan/2016 e Jan/2020 para os pontos de controle.	240
Tabela 7-18 – Estações Telemétricas e início de monitoramento.	242
Tabela 7-19 – Comparação entre as vazões simuladas, vazões medidas nas estações telemétricas e convencionais.	243
Tabela 8-1 – Dados de Vazões e Níveis de água observados utilizados no processo de calibração.	249
Tabela 8-2 Dados dos históricos de operação referentes à cheia de Jan/2016. Fonte: Sistema de Acompanhamento de Reservatório -SAR.	254
Tabela 8-3 - Dados dos históricos de operação referentes à cheia de Jan/2020. Fonte: Sistema de Acompanhamento de Reservatório -SAR.	255
Tabela 8-4 - Coeficientes de rugosidade para canais naturais. Fonte: Adaptado de Chow (1959).	259
Tabela 8-5 – Coeficientes de rugosidade para canais naturais. Fonte: Baptista e Lara (2010).	259

Tabela 8-6 – Resultados da Calibração estação Fazenda Cachoeira D’Antas.....	261
Tabela 8-7 - Resultados da Calibração estação Cachoeira dos óculos Montante.....	262
Tabela 8-8 - Resultados da Calibração estação Cachoeira dos óculos Montante – com a utilização de seções interpoladas.....	263
Tabela 8-9 - Resultados da Calibração estação Belo Oriente.....	264
Tabela 8-10 - Resultados da Calibração estação Belo Oriente – com a utilização de seções interpoladas.....	265
Tabela 8-11 - Resultados da Calibração estação Governador Valadares.....	267
Tabela 8-12 – Resultados da Calibração estação Tumiritinga.....	268
Tabela 8-13 - Resultados da Calibração estação Colatina.....	270
Tabela 8-14 - Resultados da Calibração estação Linhares.....	272
Tabela 8-15 – Valores de coeficiente de rugosidade de Manning e incertezas associadas. Fonte: Teixeira et al. (2018)	276
Tabela 8-16 – Coeficientes de Rugosidade médios ao longo do rio Doce. Fonte: Abrantes (2017)	277
Tabela 8-17 - Coeficientes de Rugosidade médios ao longo do rio Doce após o rompimento da Barragem de Fundão. Fonte: Abrantes (2017)	277
Tabela 8-18 – Resumo da comparação entre os valores de Manning adotados e relatados na literatura.....	279
Tabela 8-19 – Valores de Manning para planície fluvial. Fonte: Adaptado de Chow (1959)	283
Tabela 8-20 - Valores de Manning para planície fluvial. Fonte: Baptista e Lara (2010)	283
Tabela 8-21 - Valores de coeficiente de Manning adotados para cada categoria de uso e ocupação do solo.....	285
Tabela 8-22 – Vazões de entrada para diferentes cenários de simulação.....	286
Tabela 8-23 – Vazões de entrada para diferentes cenários de simulação.....	287
Tabela 8-24 – Vazões de entrada para a primeira configuração – Vazão de restrição igual a 3600m ³ /s.....	289
Tabela 8-25 – Vazões de entrada para a segunda configuração – Vazão vertida é 80% da vazão afluente e vazão turbinada é 20%.....	289
Tabela 8-26 – Vazões de entrada para os eventos Jan/2016 e Jan/2020.....	289
Tabela 8-27 – Vazões de entrada para diferentes cenários de simulação.....	290
Tabela 8-28 – Vazões de entrada para diferentes cenários de simulação.....	291
Tabela 8-29 – Vazões de entrada para diferentes cenários de simulação.....	293
Tabela 8-30 – Picos de Vazão semelhantes em janeiro e dezembro de 2016 para as estações Fazenda Cachoeira D’Antas, Cachoeira dos Óculos Montante e Belo Oriente.....	302
Tabela 8-31 – Comparação entre os registros de imagens de satélite e manchas de inundação simuladas.....	321
Tabela 8-32 – Comparação entre os resultados das simulações hidrodinâmicas e níveis de água observados nas estações fluviométricas convencionais.....	329
Tabela 8-33 – Comparação entre níveis de água observados e simulados de acordo com levantamento de campo para a cheia de 2020 para o modelo unidimensional.....	330
Tabela 8-34 - Comparação entre níveis de água observados e simulados de acordo com levantamento de campo para a cheia de 2020 para os modelos bidimensionais.....	331
Tabela 9-1 - Comparação entre as premissas básicas dos estudos desenvolvidos relacionados com o Estudo da Mancha de Inundação dos trechos 13 ao 16 (Hidrobr 2021).....	332
Tabela 12-1 –Coordenadas das seções levantadas.....	360

SUMÁRIO EXECUTIVO

O estudo de Modelagem Hidrodinâmica do Rio Doce entre a UHE Risoleta Neves e a foz (trechos 13 a 16), objeto do Contrato nº 4800019842, firmado entre a FUNDAÇÃO RENOVA e a HIDROBR Consultoria LTDA, consiste em um refinamento do Estudo Expedito de Inundação do rio Doce (elaborado pela SRK e HIDROBR), emitido em 29 de abril de 2019.

Esse refinamento foi necessário para sanar uma série de simplificações realizadas no estudo anterior, principalmente em relação aos dados de entrada disponíveis na época do estudo. Nesse refinamento estão sendo considerados novos dados, como: topografia de precisão disponibilizada pela Renova, seções topobatimétricas ao longo de todo trecho para representação da calha menor do rio Doce, batimetria dos reservatórios das três usinas hidrelétricas que se encontram no trecho estudado (Aimorés, Baguari e Mascarenhas), além do estudo de calibração de Manning da calha.

O Plano de Trabalho desse estudo contempla a apresentação das manchas de cheias naturais do rio Doce para os tempos de retorno notáveis de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos e para os eventos das cheias de janeiro de 2016 e janeiro de 2020, nos trechos T13 a T16, obtidas por meio de modelagens hidrodinâmicas bidimensionais. Esse Plano de trabalho foi protocolado junto a CT-GRSA por meio do ofício FR.2020.1174 de 07 de agosto de 2020 e a aprovado pela Nota Técnica CT-GRSA nº 22/2020.

Em função de atrasos alheios à vontade da Fundação Renova, sendo eles ocasionados pela dificuldade na obtenção de autorizações dos municípios (novos protocolos referentes à pandemia do COVID-19), de anuências dos proprietários e das informações das usinas (UHEs), que impactaram significativamente nos prazos das atividades de campo e de elaboração das bases do modelo hidráulico para a simulação das manchas de inundação, a Fundação Renova em 25 de novembro de 2020 protocolou o ofício FR.2020.1943 contendo essas justificativas com as devidas evidências. Além disso, para cumprir o prazo da entrega final, a Fundação Renova também propôs nesse mesmo ofício a alteração de escopo do trabalho, considerando modelagem 1D para o rio Doce, mas mantida a modelagem 2D para as sedes de Ipatinga, Governador Valadares, Aimorés/Baixo Guandu, Colatina e para a região entre Linhares e a foz do rio Doce (Trecho 16). A modelagem 2D para todos os trechos 13 a 16 será desenvolvida, mas com a data de entrega alterada. Dessa forma, no dia 18 de dezembro de

2020 a CT-GRSA e FEAM emitiram o Ofício FEAM/CT-GRSA nº. 62/2020 aceitando essas proposições de datas e de entregas da Fundação Renova.

Atendendo à NT CT-GRSA 22/2020 e ao Ofício FEAM/CT-GRSA nº. 62/2020 foram entregues à CT-GRSA os três primeiros subprodutos acordados, entre dezembro 2020 e fevereiro de 2021. No dia 12 de março de 2021 ocorreu a Reunião Gerencial da CT-GRSA N°4/2021 onde a HIDROBR e a Fundação Renova responderam aos devidos questionamentos e dúvidas desta câmara sobre a análise dos subprodutos. Por fim, a CT-GRSA requereu que todos os esclarecimentos desta reunião gerencial (N° 04/2021), bem como todas e as solicitações da NT CT-GRSA 07/2021 fossem atendidas nesse relatório (subproduto 4), de acordo ainda com os itens 1 e 3¹ da Deliberação CIF nº 497 de 05 de maio de 2021, que por sua vez, revogou o cronograma deste estudo da Deliberação CIF nº 453 de 23 de outubro de 2020.

Portanto, o presente relatório atende ao item nº 1 da Deliberação CIF nº 497, de 05 de maio de 2021, uma vez que apresenta neste relatório as seguintes modelagens hidrodinâmicas realizadas, com entrega acordada em 30/06/21:

- Simulação de fluxo unidimensional abrangendo todo o Trecho T13 a T16;
- Simulação de fluxo bidimensional abrangendo a planície fluvial do rio Doce em Ipatinga;
- Simulação de fluxo bidimensional abrangendo a planície fluvial do rio Doce em Governador Valadares;

¹ Deliberação CIF 497/2021- Item 1: Determinar que a Fundação Renova protocole o relatório final referente ao estudo da mancha de Inundação do rio Doce em 1 D, entre a UHE Risoleta Neves e a Foz no Estado do Espírito Santo (Trechos 13 a 16 do Plano de Manejo de Rejeitos) para os anos de 2016 e 2020 e em 2 D para as sedes de Ipatinga-MG, Governador Valadares-MG, Aimorés-MG, Baixo Guandu-ES, Colatina-ES, Linhares-ES e para a região entre Linhares-ES e a foz do rio Doce, até 30/06/2021.

Deliberação CIF 497/2021- Item 3: Determinar que a Fundação Renova ajuste o relatório final às conclusões e recomendações contidas na Nota Técnica CT-GRSA nº 07/2021 - Avaliação dos subprodutos do estudo de caracterização da mancha de inundação entre os trechos T13 a T16, que avaliou: 1º Subproduto (Atualização dos estudos hidrológicos); 2º Subproduto (Visita de campo e Levantamento topobatimétrico complementar) e 3º Subproduto (Elaboração do Modelo Digital de Terreno).

- Simulação de fluxo bidimensional abrangendo a planície fluvial do rio Doce em Aimorés e Baixo Guandu;
- Simulação de fluxo bidimensional abrangendo a planície fluvial do rio Doce no distrito de Itapina em Colatina (Ofício FEAM/CT - GRSA nº. 62/2020);
- Simulação de fluxo bidimensional abrangendo a planície fluvial do rio Doce em Colatina;
- Simulação de fluxo bidimensional abrangendo a planície fluvial do rio Doce em Linhares e foz (trecho T16).

O processo de elaboração dos modelos hidrodinâmicos integrou diversos estudos descritos neste relatório, sendo estes:

- Análise dos dados disponíveis;
- Visita de campo, para melhor compreensão das características da geometria do rio;
- Levantamento de seções topobatimétricas complementares, para a representação da batimetria do rio.
- Elaboração de modelo digital de terreno (MDT), contemplando a topografia de precisão e os levantamentos de batimetria do rio e dos reservatórios das usinas hidrelétricas Aimorés, Baguari e Mascarenhas;
- Estudos hidrológicos para definição de vazões para cada cenário de simulação.

A análise dos dados básicos apresenta uma comparação e avaliação das topografias disponíveis e de todos os dados disponibilizados para o estudo. Inicialmente, foi disponibilizada para a modelagem a topografia adquirida pela Fundação Renova, a qual trata-se de curvas de nível em formato *shapefile*, de equidistância vertical de 1 metro, referentes ao Modelo Digital de Terreno – MDT elaborado a partir da tecnologia *Light Detection and Ranging* - LiDAR. Em um segundo momento, foi disponibilizado o MDT supracitado datado do ano de 2019, o qual trata-se de arquivo matricial no formato Geotiff com resolução espacial de 1 metro e acurácia vertical da ordem de centímetros, originado da nuvem de pontos do mesmo método LiDAR. Outras topografias disponíveis, de acurácia ou resolução inferior, foram também analisadas, sendo elas: o Modelo Digital de Superfície – MDS disponibilizado pela Agência Nacional de Águas (ANA) que possui resolução espacial de 1 m que contempla as sedes municipais e entornos de 26 municípios elencados pelo Comitê de Bacia do rio Doce e o MDT e

Modelo Digital de Elevação – MDE disponibilizados pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) que possuem resolução espacial de 2 m e abrangem todo o território do estado do Espírito Santo.

Conforme já explicado no parecer técnico enviado no ofício FR.2021.0608 e na 53ª reunião ordinária da CT-GRSA, o MDT originado a partir da interpolação das curvas de nível foi utilizado para as simulações hidrodinâmicas do trecho T13 a T16 unidimensional e simulações bidimensionais dos municípios de: Ipatinga, Governador Valadares, Aimorés/Baixo Guandu e Colatina (sede e distrito de Itapina). Para a simulação bidimensional do trecho T16 situado entre a sede de Linhares e a foz do rio Doce, utilizou-se MDT originado por nuvem de pontos do LiDAR adquirido pela Fundação Renova, que possui acurácia vertical superior ao MDT originado da interpolação das curvas de nível. Neste trecho, além do MDT LiDAR foi necessário utilizar outra topografia para contemplar toda a planície de inundação da região estuarina não abrangida por este.

A partir da análise comparativa realizada entre o MDT IEMA e o MDE IEMA, o último foi selecionado para complementar o MDT LiDAR por representar melhor as formas do relevo da região e continuidade de elevação. Entretanto, o MDE apresenta cotas bastante elevadas em regiões de vegetação densa e de áreas urbanas adensadas, de modo que para sua utilização foi necessário realizar o tratamento desse dado, com a remoção dessas cotas elevadas e a substituição dessas por valores interpolados. Tendo em vista que nas áreas adjacentes à topografia LiDAR esta também foi incorporada como dado de entrada para interpolação, o MDE tratado representa uma transição entre as diferentes topografias de forma mais contínua e suavizada se comparada com a transição entre o MDT LiDAR e o MDT IEMA.

A elaboração do MDT para as simulações hidrodinâmicas contemplou, além das topografias supracitadas, as batimetrias dos reservatórios das UHEs Baguari, Aimorés e Mascarenhas e, ainda, 188 seções topobatimétricas sendo elas:

- 109 seções topobatimétricas levantadas no rio Doce (DC-003 a DC0111) pela empresa Consominas Engenharia LTDA, disponibilizadas pela ANA;

- 8 seções topobatimétricas levantadas nos rios Matipó (MT-0002), Piracicaba (PC-0066), Manhuaçu (MN-0002), Caratinga (CT-0070 a CT-0073) e Santo Antônio (ST-0006) pela empresa Consominas Engenharia LTDA, disponibilizadas pela ANA;
- 25 seções topobatimétricas provenientes dos estudos de Definição da Planície de Inundação de Governador Valadares (CPRM, 2004) e Colatina-ES (CPRM, 2016), sendo 11 seções localizadas em Governador Valadares e 14 seções localizadas em Colatina;
- 6 perfis transversais de medição recente (2019) de estações fluviométricas cujos dados constam no Portal HIDROWEB, disponibilizado pela ANA: Estação Fazenda Cachoeira D'Antas (56420000), Cachoeira dos óculos Montante (56539000), Belo Oriente (56719998), Governador Valadares (56850000), Tumiritinga (56920000) e Colatina (56994500);
- 40 seções topobatimétricas complementares (SC-1 a SC-40) levantadas pelas empresas HIDROGEST, HGT e TOPGEO, referentes ao subproduto 2 do atual estudo.

As seções disponibilizadas pela ANA visaram o detalhamento de manchas urbanas, pontes e travessias, além de alterações bruscas de seção, deixando de lado as ilhas existentes no trecho, as quais compreendem importantes restrições que necessitam de caracterização para construção do MDT final para modelagem. Dessa forma, foram solicitadas 40 seções topobatimétricas complementares no rio Doce para auxiliar nessa lacuna de informação. Além disso, a foz do rio Doce apresenta uma grande complexidade, exigindo, portanto, um maior detalhamento, por isso foram solicitadas algumas seções nessa região.

Para inserção das seções topobatimétricas na topografia foi utilizado o software HEC-RAS v. 5.07 que realiza a interpolação entre seções permitindo a exportação de arquivo Geotiff da superfície interpolada. Em trechos com presença de cachoeiras e quedas de água, a declividade e redução da elevação do talvegue foi representada de acordo com a topografia LiDAR. Foram identificadas a cachoeira dos Óculos, cachoeira da Ruínas da Ponte Queimada em Pingo de água, cachoeira Sant'Ana e cachoeira Escura. As ilhas aluviais e barras arenosas também foram identificadas a partir da topografia LiDAR e inseridas no MDT utilizado nas simulações hidrodinâmicas.

Além do MDT, outro importante dado de entrada das simulações consiste nas vazões calculadas para os diferentes cenários nos pontos ao longo do rio Doce. O estudo hidrológico foi realizado com o

objetivo de cálculo das vazões notáveis de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos de tempo de retorno e das vazões dos eventos de cheias de Jan/2016 e Jan/2020 para os trechos T13 a T16.

Para o estudo de regionalização foi realizada a consistência dos registros diários de vazão das estações fluviométricas que apresentam série histórica superior a 20 anos dentro do período homogêneo de 1986 a 2020, descartando os anos com falhas nos meses de cheia. As estações fluviométricas selecionadas foram Fazenda Cachoeira D'Antas, Cachoeira dos Óculos Montante, Belo Oriente, Governador Valadares, Tumiritinga, Resplendor-Jusante e Colatina. Com o objetivo de caracterizar as contribuições de vazões dos afluentes representativos do rio Doce foram definidos pontos de controle subdividindo o trecho de interesse. Ao todo foram definidos 20 pontos de controle cujas áreas de drenagem foram delimitadas e calculadas.

A análise de frequência contemplou as seguintes distribuições teóricas de probabilidade: Exponencial, Gumbel e Lognormal. Verificou-se que as estações Fazenda Cachoeira d'Antas, Cachoeira dos Óculos Montante e Belo Oriente apresentaram melhor ajuste à distribuição de probabilidade pela curva Exponencial, enquanto para as demais estações em estudo, Governador Valadares, Tumiritinga, Resplendor Jusante e Colatina, um melhor ajuste foi observado para a curva de Gumbel.

O cálculo das vazões notáveis de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos de tempo de retorno nos pontos de controle definidos foi realizado a partir do método de regionalização denominado *index-flood*, ou cheia-índice. Este método assume que, em uma região homogênea, as vazões adimensionais obedecem a uma distribuição de probabilidades única, ou seja, uma mesma distribuição de frequência para os dados avaliados, a partir de um fator de escala local denominado *index-flood* ou fator de adimensionalização. Neste estudo o fator de adimensionalização adotado foi a média das vazões máximas das séries diárias ($Q_{\text{med-máx}}$).

O cálculo das vazões de Jan/2016 e Jan/2020 foi realizado a partir da plotagem das áreas de drenagem das estações *versus* suas respectivas vazões de pico de modo a se obter uma equação representativa para cada cheia. Notou-se que o trecho em estudo possui duas tendências referentes ao comportamento da vazão máxima em relação ao aumento da área de contribuição. O trecho entre as

estações Fazenda Cachoeira D’Antas e Belo Oriente possui reta com inclinação superior à inclinação da reta para o trecho entre as estações Governador Valadares e Colatina. Esta diferença de inclinação resulta em uma diminuição do acréscimo de vazão por aumento de área de contribuição para o trecho mais a jusante. Entre os dois trechos mencionados, encontra-se uma região de transição correspondente ao trecho entre as estações Belo Oriente e Governador Valadares.

Além do modelo digital de terreno e distribuição de vazões para cada cenário, a definição do coeficiente de rugosidade de Manning é um importante dado de entrada considerado nas simulações hidrodinâmicas. No presente estudo foi adotado o coeficiente de rugosidade de Manning do leito fluvial vazante de acordo com os resultados da calibração e distinção de diferentes materiais do leito a partir da observação de imagens de satélite e observações da visita de campo. Deste modo, dividiu-se o rio Doce nos trechos:

- UHE Risoleta Neves à UHE Baguari - Seções SC-1 a DC-0040: neste trecho se encontram as estações fluviométricas Fazenda Cachoeira D’Antas (56425000), Cachoeira dos óculos Montante (56539000) e Belo Oriente (56719998). Os resultados da calibração para estas estações indicaram valor de coeficiente de Manning equivalente a 0,025, valor considerado nas simulações.
- UHE Baguari à Confluência com rio Itabacuri - Seções DC-0041 a DC-0081: neste trecho estão localizadas as estações fluviométricas de Governador Valadares (56850000) e Tumiritinga (56920000). Os resultados da calibração indicaram melhores ajustes ao coeficiente de Manning de 0,04.
- UHE Aimorés à distrito de Itapina (Colatina) - Seções SC-25 a DC-0090: este trecho é caracterizado pela presença de afloramentos rochosos e pedregulhos ao longo do leito fluvial. Especificamente a jusante do barramento da UHE Aimorés, há o TVR-Trecho de Vazão Reduzida onde é possível visualizar grande parte do leito fluvial exposto. Para este trecho adotou-se valor de coeficiente de Manning mais elevado correspondendo a 0,055 em detrimento das características do leito. As simulações hidráulicas bidimensionais realizadas em Aimorés para a vazão de restrição de 3.600

m³/s demonstraram que a área alagada para este valor de coeficiente de Manning se mantém dentro da calha fluvial não atingindo o centro de Aimorés, conforme esperado.

- Distrito de Itapina (Colatina) à Distrito de Barbados (Colatina) - Seções DC-0091 a DC-0099: este trecho é caracterizado pela presença de bancos de areia e nele está localizada a estação fluviométrica de Colatina (56994500). Os resultados da calibração indicam melhores ajustes ao coeficiente de Manning de 0,045.
- Distrito de Barbados (Colatina) à foz do rio Doce - Seções DC-0100 a SC-30: este trecho é caracterizado pela presença de muitos bancos de areias e canais anastomosados e nele está localizada a estação fluviométrica de Linhares (56998000). Os resultados da calibração indicam melhores ajustes ao coeficiente de Manning de 0,024.

Na etapa de calibração os coeficientes de rugosidade de Manning foram ajustados de modo a minimizar a diferença entre os perfis de linhas de água observados e simulados. Este procedimento foi realizado com auxílio do *software* HEC-RAS v. 5.0.7 no qual aplicou-se o método de *Standard Step* para estimar o perfil da linha de água entre as seções transversais levantadas considerando regime de escoamento permanente e fluxo unidimensional. Os valores de coeficiente de rugosidade de Manning obtidos no processo de calibração, ainda que condizentes com os valores da literatura pertinente, estão sujeitos a incertezas referentes principalmente aos valores de nível de água observados para as estações fluviométricas cujos valores de cota zero da régua são desconhecidos. Além disso, o perfil de linha de água simulado está condicionado ao perfil longitudinal do talvegue e, portanto, para estações fluviométricas localizadas em trechos com poucas seções transversais conhecidas, a incerteza sobre os níveis de água simulados aumenta.

Observou-se que as declividades aplicadas para o cálculo da profundidade normal como condição de contorno de montante não interferem no cálculo no nível de água simulado. Já as declividades consideradas para o cálculo da profundidade normal a jusante tem pouca influência sobre os níveis de água simulados, exceto para a estação Colatina. Para as estações Cachoeira dos Óculos Montante, Belo Oriente e Linhares notou-se que os perfis de linha de água simulados são muito sensíveis ao perfil longitudinal do talvegue. No caso das estações Cachoeira dos Óculos Montante e Belo Oriente, a representação de trechos de cachoeiras com a utilização de seções topobatimétricas

interpoladas alteram expressivamente os níveis de água simulados. Já para a estação Linhares, o ajuste do datum vertical da estação também tem efeito expressivo sobre os resultados. O ajuste do datum vertical corresponde ao ajuste vertical dos valores de elevações de modo que o valor de elevação das margens de aproxime do valor identificado na topografia LiDAR.

Com relação à rugosidade da planície de inundação, para o modelo unidimensional que abrange os trechos T13, T14, T15 e T16 considerou-se o valor de rugosidade da planície de inundação equivalente à 0,050, essa é uma simplificação adequada para essa modelagem, pois as vazões que extravasam da calha principal do rio são representadas mais adequadamente pela modelagem bidimensional. Essa modelagem mais refinada será realizada para todo o trecho T13 a T16 na segunda etapa do estudo, de acordo com o item 2² da Deliberação CIF 497/2021. Para a definição do coeficiente de rugosidade de Manning da planície de inundação dos modelos bidimensionais foram utilizados os dados de uso e ocupação do solo com resolução espacial de 10 m da bacia do rio Doce disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2016). As categorias de classificação de uso e ocupação foram simplificadas para: Pastagem, Áreas Agrícolas, Áreas de Vegetação densa, Áreas Urbanas, Lagos e Lagoas. A escolha do valor de coeficiente de Manning adotado para cada categoria foi embasada nos valores propostos por Chow (1959) e Baptista e Lara (2010). Os valores de coeficiente de Manning adotados na planície de inundação são: 0,035 (pastagem e áreas agrícolas), 0,11 (áreas de vegetação densa e áreas urbanas), 0,01 (lagos e lagoas).

Considerando o modelo digital de elevação elaborado, as vazões de entrada calculadas e os valores de coeficientes de rugosidade de Manning definidos, foram realizadas as simulações hidrodinâmicas no software HEC-RAS v 5.0.7 para os oito cenários estabelecidos contemplando: modelo unidimensional que abrange os trechos T13 a T16 e modelos bidimensionais que abrangem separadamente sedes municipais e distritos ao longo do rio Doce (Ipatinga, Governador Valadares, Aimorés/Baixo Guandu, distrito de Itapina, Colatina, Linhares à foz). Todas as simulações foram realizadas em regime de escoamento permanente, sendo que para os modelos bidimensionais foi

² Deliberação CIF 497/2005 - Item 2 - Determinar que a Fundação Renova entregue o relatório completo e mapas, contendo ainda a mancha de inundação com a modelagem em 2D, entre a UHE Risoleta Neves e a Foz no Estado do Espírito Santo (Trechos 13 a 16 do Plano de Manejo de Rejeitos) para os anos de 2016 e 2020 até a data de 30/11/2021;

considerada a equação de Full Momentum, mais adequada para representar perda de carga em contrações laterais de fluxo devido à variação da largura da calha do rio.

Os resultados das simulações hidrodinâmicas foram analisados em conjunto com registros jornalísticos, registros de imagens de satélite, registros de níveis de água em estações fluviométricas e registros de marcas da cheia de 2020. Conforme apresentado no item 8.4, as análises realizadas indicaram que os resultados das simulações se mostraram condizentes com os registros jornalísticos para as cheias de janeiro de 2016 e janeiro de 2020. Além disso, a comparação entre as envoltórias de simulação e áreas alagadas visualizadas em imagens de satélite também indicaram resultados concordantes. Com relação à comparação entre os resultados e níveis de água observados, apresentados no 8.5, foram obtidos maiores valores de discrepância para o modelo unidimensional nas estações Fazenda Cachoeira D'Antas, Cachoeira dos Óculos Montante e Tumiritinga. A comparação dos resultados com as marcas de cheia do evento de 2020 indicaram resultados condizentes, com menores discrepâncias na sede de Governador Valadares.

Com o objetivo de avaliar a metodologia empregada e os resultados apresentados neste estudo foi realizada a comparação entre as principais premissas consideradas no presente estudo e em outros estudos relacionados, elaborados em 2020 pelo Centro de Ciência e Tecnologia LACTEC. Tais estudos consistem em:

- Simulação Hidrodinâmica das Cheias no Rio Doce: Atualização do Modelo Hec-Ras Utilizando um MDT de Alta Resolução, elaborado pelo LACTEC em 2020. Este documento faz parte do “Parecer técnico sobre a área de passagem e deposição dos rejeitos advindos do rompimento da barragem de Fundão ao longo dos rios afetados – APDL 2016 – APÊNDICE B”
- Refinamento da Área de Passagem da Lama (ADPL) Utilizando Simulação Hidrodinâmica 2D, elaborado pelo LACTEC em 2020. Este documento faz parte do “Parecer técnico sobre a área de passagem e deposição dos rejeitos advindos do rompimento da barragem de Fundão ao longo dos rios afetados – APDL 2016 APÊNDICE C”

O estudo da HIDROBR possui como principal objetivo as manchas das cheias naturais no rio Doce, já os estudos do LACTEC apresentam como principal objetivo a atualização da Área de Passagem da Lama (APDL) no rio Doce, ou seja, a área impactada pelo rejeito proveniente da ruptura da barragem de Fundão, em novembro de 2015. Além disso, observou-se que o presente estudo possui uma área de abrangência maior levando em consideração as simulações de escoamento bidimensionais e contempla cenários de simulação de tempos de retorno notáveis não inclusos nos estudos anteriores. Além disso, o presente estudo apresenta geometria bidimensional mais refinada e modelo digital de terreno mais completo por considerar mais seções topobatimétricas no rio e das batimetrias mais atualizadas disponíveis para os três reservatórios das usinas hidrelétricas, além de tratamento do MDE IEMA. Especificamente para as simulações bidimensionais, o presente estudo considera os equacionamentos de Full Momentum, mais adequadas para representação de constrições e estreitamentos na seção hidráulica, como de fato ocorre no trecho em estudo. Destaca-se ainda que, conforme já mencionado, o presente estudo será revisado considerando toda a modelagem bidimensional dos trechos T13 a T16, de acordo com o item 2 da Deliberação CIF 497/2005.

Além da comparação entre as metodologias empregadas, também foi realizada a comparação entre as manchas de inundação referentes ao evento de Jan/2016 elaboradas pelo Centro LACTEC (2020b) e pelo presente estudo. De modo geral, quando comparamos os resultados das manchas de inundação elaboradas pela HIDROBR (2021) referentes às simulações bidimensionais e pelo LACTEC, as manchas da HIDROBR se apresentaram mais coerentes aos registros de notícias, reportagens e imagens de satélite, conforme apresentado no item 9.

Na região da sede municipal de Ipatinga a mancha elaborada pelo centro LACTEC (2020b) apresentou maior área de inundação principalmente no bairro Ilha do Rio Doce no município de Caratinga. Conforme mencionado no item 8.4.2, a busca por registros jornalísticos e imagens de satélite não indicou inundações neste bairro. Portanto, entende-se que a mancha de inundação elaborada pela HIDROBR (2021) se apresenta mais coerente pois não representa inundação no bairro Ilha do rio Doce.

Na sede municipal de Governador Valadares, a mancha elaborada pela HIDROBR (2021) apresenta maior área de inundação nos bairros São Paulo, JK, Universitário e Ilha dos Araújo que não são atingidos pela mancha elaborada pelo centro LACTEC (2020b). Estes bairros foram citados como

atingidos pela inundação no portal de notícias da prefeitura e, portanto, a mancha de inundação elaborada pela HIDROBR (2021) também se apresenta mais coerente.

Nas sedes municipais de Aimorés e Baixo Guandu, a mancha elaborada pela HIDROBR (2021) apresenta maior área de inundação no bairro Barra do Manhuaçu, no distrito de Santo Antônio do rio Doce e em áreas agropastoris. Não há registros jornalísticos de inundações nestes bairros em Jan/2016 e o registro de imagem de satélite não permite identificar inundações nestes locais devido à nebulosidade. Neste caso, considera-se a mancha elaborada pela HIDROBR (2021) mais conservadora por apresentar maior área de inundação.

No município de Colatina, na sede municipal e no distrito de Itapina, as manchas elaboradas pelo centro LACTEC (2020b) e HIDROBR (2021) apresentam muitas semelhanças e estão de acordo com os registros jornalísticos e imagens de satélite.

No município de Linhares, a mancha elaborada pelo Centro LACTEC (2020b) apresenta área de inundação muito superior em relação à mancha elaborada pela HIDROBR (2021), abrangendo toda a planície de inundação alcançando Barra Seca no limite norte e o terminal Barra do Riacho no limite sul. De acordo com os registros de imagens de satélite e vazões de cheias medidas na estação Colatina, a mancha elaborada pelo Centro LACTEC (2020b) superestima as áreas atingidas pois apresenta envoltória semelhante ao evento registrado pelo satélite LANDSAT 8 em 24/12/2013 que possui tempo de retorno semelhante a 100 anos. Dessa forma, entende-se que as manchas geradas pelo atual estudo estão mais adequadas.

1 INTRODUÇÃO

Neste documento é apresentado o relatório consolidado, que corresponde ao 4º subproduto do Estudo de Modelagem Hidrodinâmica do Rio Doce entre a UHE Risoleta Neves e a foz (trechos 13 a 16) com cronograma protocolado (ofício FR.2020.1943) e aprovado (Ofício FEAM/CT - GRSA nº. 62/2020), mas que foi recentemente repactuado pela Deliberação 497/21 e agora corresponde ao relatório final com entrega para 30/06/21, conforme itens 1 e 3 dessa Deliberação. Esse estudo, objeto do Contrato nº 4800019842, firmado entre a FUNDAÇÃO RENOVA e a HIDROBR Consultoria LTDA, consiste em uma revisão do Estudo Expedito de Inundação do rio Doce (elaborado pela SRK e HIDROBR), emitido em 29 de abril de 2019.

A elaboração do projeto consiste no desenvolvimento das seguintes atividades:

- Análise de dados básicos disponibilizados;
- Elaboração do modelo digital de terreno (MDT);
- Atualização do estudo hidrológico;
- Visita de campo;
- Levantamento das seções topobatimétricas complementares;
- Modelagem hidrodinâmica, conforme Ofício FEAM/CT - GRSA nº. 62/2020;
- Elaboração de relatório final (itens 1 e 3 da Deliberação CIF nº 497/2021) e mapas; e
- Apresentação de resultados.

Para melhor compreensão, além deste item introdutório, este documento está dividido da seguinte maneira:

- Item 2: apresenta o objetivo do estudo;
- Item 3: apresenta a análise dos dados básicos;
- Item 4: apresenta a visita de campo
- Item 5: apresenta o levantamento das seções topobatimétricas complementares;
- Item 6: apresenta as etapas da elaboração do MDT;

- Item 7: apresenta o estudo hidrológico;
- Item 8: apresenta a modelagem hidrodinâmica e seus resultados;
- Item 9: apresenta a contextualização e comparação com outros estudos realizados no rio Doce;
- Item 10: apresenta as conclusões e recomendações finais;
- Item 11: apresenta as referências bibliográficas; e
- Item 12: apresenta os apêndices e anexos.

2 OBJETIVO

Este documento tem como objetivo apresentar a definição de manchas de inundação de cheias naturais no rio Doce referentes a tempos de retornos notáveis e eventos de 2016 e 2020, obtidas por meio de modelos hidrodinâmicos. De acordo com o ofício FEAM/CT – GRSA nº. 62/2020 e Nota Técnica da CT-GRSA nº 07/2021, os resultados apresentados neste relatório são: modelo unidimensional que abrange toda a área de estudo (a jusante da UHE Risoleta Neves até a foz – trechos 13 a 16) e modelos bidimensionais que abrangem separadamente sedes municipais e distritos ao longo do rio Doce, sendo eles Ipatinga/MG, Governador Valadares/MG, Aimorés/MG, Baixo Guandu/ES, Itapina/ES, Colatina/ES, região entre Linhares/ES e a foz do rio Doce, considerando também as revisões dos subprodutos conforme NT supracitada.

Diversos estudos que integraram o processo de elaboração dos modelos hidrodinâmicos foram descritos neste relatório, como: a análise dos dados disponibilizados, a elaboração de modelo digital de terreno contemplando levantamentos de batimetria, os estudos hidrológicos para definição de vazões para cada cenário de simulação, a visita de campo para melhor compreensão das características da geometria do rio e o levantamento de seções topobatimétricas complementares para a representação da batimetria do rio.

3 ANÁLISE DOS DADOS BÁSICOS

A primeira etapa do desenvolvimento do estudo de modelagem das cheias naturais no rio Doce consiste no levantamento e análise das informações básicas disponibilizadas referentes aos dados topográficos (LiDAR, IEMA, ANA e usinas hidrelétricas de Baguari, Aimorés e Mascarenhas), além das geometrias dos barramentos e regras operacionais dos reservatórios das referidas UHEs. Nos itens a seguir serão apresentados os documentos e as análises relativas aos mesmos.

3.1 Documentos Disponibilizados

A **Tabela 3-1** apresenta os arquivos disponibilizados pela Fundação Renova para subsidiar o desenvolvimento do estudo de modelagem, além dos dados disponíveis nos portais Geobases e Metadados ANA.

Tabela 3-1 – Documentos e arquivos disponibilizados.

	Nome do Arquivo	Descrição	Mídia	Data
Seções Topobatimétricas Complementares	N000000-F-1RT001_R-02_A-01 [...] N000000-F-1RT001_R-02_A-20	Desenhos das seções topobatimétricas complementares 21 a 40.	.dwg	2021
	N000000-F-1RT001_R-02_A-21	Tabela com dados de distância e elevação das seções topobatimétricas complementares 21 a 40.	.xlsx	2021
	N000000-F-1RT001_R-02B	Geral 00 - PG 23 - Manejo De Rejeitos Geral Projeto Básico – Topobatimetria- Linhares-Es Tumiritinga- MG - Se23199 Relatório - Agrimensura/Cartografia Topografia, Batimetria - Linhares	.pdf	2021
	SB01-RIO DOCE -07-12-2020 [...] SB20- RIO DOCE-10-12-2020	Desenhos das seções topobatimétricas complementares 01 a 20.	.dwg	2021
	RIO DOCE- SB01; S2-RD-TABELA [...] S20-RD-TABELA	Tabela com coordenadas e elevação das seções topobatimétricas complementares 01 a 20.	.xlsx	2021
	Relatório Final Levantamento de SeçõesTopobatimetricas no Rio Doce - HIDROBR	Relatório Técnico Evidências De Lavantamento De Seções Topobatimétrica	.pdf	2021

	Nome do Arquivo	Descrição	Mídia	Data
UHE Baguari	UHBAGUARI_VAZAO_IO-05.036_EXTERNO	UHE Baguari - Instrução para Controle de Vazões	.pdf	2020
	Curva de Descarga	Curva de Descarga UHE Baguari	.pdf	2020
	Curvas_de_Nível_EditadaV10	Isóbatas do reservatório da UHE Baguari	Shapefile	2019
	Area_Seca_Ayra_Topografia	Isóbatas da Área Seca - UHE Baguari	Shapefile	2019
	Vfinal	Arquivo raster da batimetria do reservatório da UHE Baguari	Geotiff	2019
	9_UHE BAGUARI_Dados 2009-2019	Histórico de Operação UHE Baguari	.xlsx	2020
UHE Aimorés	TOPOBATIMETRIA 2019 AIMORES	Arquivo contendo curvas de nível da batimetria do reservatório da UHE	.dwg	2019
	Histórico_AIMORES	Histórico de Operação UHE Aimorés	.xlsx	2020
	UHAIMO_VAZAO_IO-05.019	UHE Aimorés (Eliezer Batista) Instrução para Controle de Vazões	.pdf	2019
UHE Mascarenhas	MO - (1) Introdução Geral	Manual de Operação da UHE Mascarenhas – Introdução Geral	.pdf	2013
	MO - (5) Vertedouro e Reservatório	Manual de Operação da UHE Mascarenhas – Vertedouro e Reservatório	.pdf	2013
	mdt_4m_mask	Arquivo raster da batimetria do reservatório da UHE Mascarenhas com resolução espacial de 4 metros	.mxd	2016
Seções Topobatimétricas - Consominas Engenharia LTDA	Volume 0 - Relatório Final de Levantamento		.pdf	2017-2019
	Volume 1 - Perfis das Seções Topobatimétricas		.pdf	2017-2019
	Volume 2 - Cadastros de Estruturas e Georreferenciamento das Estações Fluviométricas e Marcas de Cheias	Produto 3 - Relatório Final do Levantamento Topobatimétrico	.pdf	2017-2019
	Volume 3 - Memoriais Descritivos dos Marcos das seções		.pdf	2017-2019
	Relatório do Levantamento do Perfil da Linha de água		.pdf	2019
	Relatório do Levantamento do Perfil da Linha de água		.xlsx	2019
	Relatório Final F23-1	Desenho em planta das seções topobatimétricas e marcos topográficos	.dwg	2019
	Relatório Final F24-1		.dwg	2019
	DC-0001 A DC-011, CT-0001 A CT-0073, PC-0001 A PC-0069 [...]	Arquivos Gráficos dos perfis transversais das seções topobatimétricas	.dwg	2019
	RELATÓRIO_FINAL_F23_dwg_Point	Arquivos no formato <i>shapefile</i> das seções topobatimétricas e marcos topográficos	Shapefile	2019
	RELATÓRIO_FINAL_F23_dwg_Polyline		Shapefile	2019
	RELATÓRIO_FINAL_F24_dwg_Point	Arquivos no formato <i>shapefile</i> das seções topobatimétricas e marcos topográficos	Shapefile	2019
	RELATÓRIO_FINAL_F24_dwg_Polyline		Shapefile	2019

	Nome do Arquivo	Descrição	Mídia	Data
Seções Topobatimétricas CPRM	DEFINIÇÃO DA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO DA CIDADE DE GOVERNADOR VALADARES - RELATÓRIO TÉCNICO FINAL	Relatório final sobre a Definição da Planície de Inundação da Cidade de Governador Valadares, que foi precedido pelo relatório técnico parcial denominado Levantamento Topobatimétrico de doze Seções Transversais e Monitoramento do Nível do Rio Doce na Cidade de Governador Valadares.	.pdf	2004
	DEFINIÇÃO DA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO DE COLATINA-ES RELATÓRIO TÉCNICO	Apresenta as informações relevantes levantadas durante o planejamento e elaboração dos estudos de definição da planície de inundação da cidade de Colatina-ES, a descrição das atividades executadas e os resultados obtidos.	.pdf	2016
MDT LiDAR	fundacao_renova_fuso_24S_cn [...]	Arquivos no formato <i>shapefile</i> das curvas de nível de 1 em 1 metro referente ao perfilamento a laser LIDAR	<i>Shapefile</i>	2019
	fundacao_renova_fuso_23S_cn [...]		<i>Shapefile</i>	2019
	fundacao_renova_fuso_24S_mdt [...]	Arquivos no formato Geotiff referente ao perfilamento a laser LIDAR	Geotiff	2019
	fundacao_renova_fuso_23S_mdt [...]		Geotiff	2019
Topografia IEMA	28_784;28_785 [...] 41_783	Modelo Digital de Terreno -MDT do Estado do Espírito Santo com Resolução espacial de 2 metros disponível no portal Geobases	.img, .igw e .rrd	2012-2015
	28_784;28_785 [...] 41_783	Modelo Digital de Elevação -MDE do Estado do Espírito Santo com Resolução espacial de 2 metros disponível no portal Geobases	.img, .igw e .rrd	2012-2015
Topografia ANA	GPX_DEM_10m_Fuso23s; GPX_DEM_10m_Fuso24s	Modelo Digital de Superfície -Modelo Digital de Superfície -MDS da bacia do Rio Doce com resolução espacial de 10 m disponível do portal de Metadados da ANA	Geotiff	2012
	C_Penna_TIFF; Colatina_MDE;Linhares_MDE_TIFF; Aimores_MDE_TIFF[...]	Modelo Digital de Superfície -MDS com resolução espacial de 1 m para os 26 municípios elencados pelo Comitê de Bacia do Rio Doce disponível do portal de Metadados da ANA	Geotiff	2013-2014

3.2 Seções Topobatimétricas

A Agência Nacional de Águas – ANA disponibilizou o levantamento topobatimétrico realizado na bacia do rio Doce, por meio do projeto que foi executado pela Consominas Engenharia LTDA, entre os anos de 2017 e 2019, contratada pelo Instituto BioAtlântica – IBIO e ANA. Esse trabalho contemplou o levantamento de seções fluviais transversais, marcas de cheias, linha de água e georreferenciamento de estações fluviométricas na bacia do rio Doce. Foram disponibilizados todos os volumes do Relatório Final de Levantamento Topobatimétrico e os arquivos gráficos das seções topobatimétricas em diferentes formatos de mídia digital.

As seções levantadas pela Consominas visaram o detalhamento ao longo de manchas urbanas de pontes e travessias, além de alterações bruscas de seção. Ao todo foram levantadas 375 seções, sendo 111 seções no rio Doce, 73 seções no rio Caratinga, 69 seções no rio Piracicaba, 71 seções no rio Piranga, 06 seções no rio Santo Antônio, 02 seções no rio Matipó, 02 seções no rio Manhuaçu e outras 45 seções em outros 12 cursos de água da bacia do rio Doce. As seções topobatimétricas estão dispostas conforme apresentado na **Figura 3-1**.

No trecho entre a UHE Risoleta Neves e a foz do rio Doce e na área de abrangência do MDT da tecnologia LiDAR, encontram-se 109 seções levantadas no rio Doce (DC-0003 a DC-0111), 01 seção levantada no rio Matipó (MT-0002), 01 seção levantada no rio Piracicaba (PC-0066), 01 seção levantada no rio Santo Antônio (ST-0006), 04 seções levantadas no rio Caratinga, (CT-0070 a CT-0073) e 01 seção levantada no rio Manhuaçu (MN-0002), totalizando 117 seções utilizadas nesse estudo.

Além das seções topobatimétricas levantadas pela Consominas, se encontram disponíveis: 25 seções topobatimétricas provenientes dos estudos de Definição da Planície de Inundação de Governador Valadares (CPRM, 2004) e Colatina-ES (CPRM, 2016), sendo 11 seções localizadas em Governador Valadares e 14 seções localizadas em Colatina; 6 perfis transversais de medição recente (2019) de estações fluviométricas cujos dados constam no Portal HIDROWEB, disponibilizado pela ANA: Estação Fazenda Cachoeira D’Antas (56420000), Cachoeira dos óculos Montante (56539000),

Belo Oriente (56719998), Governador Valadares (56850000), Tumiritinga (56920000) e Colatina (56994500).

É importante ressaltar ainda que foi realizado o levantamento de mais 40 seções complementares ao longo do trecho de interesse, as quais aprimoraram o modelo digital de terreno desenvolvido para o estudo. Tal detalhamento se fez necessário principalmente nos trechos que apresentam ilhas fluviais, que compreendem importantes constrições que necessitam de caracterização para construção do MDT final para modelagem. A descrição detalhada do levantamento de tais seções é apresentada no item 5.

A localização de todas as seções topobatimétricas utilizadas nesse estudo estão disponíveis no Apêndice 12.2.

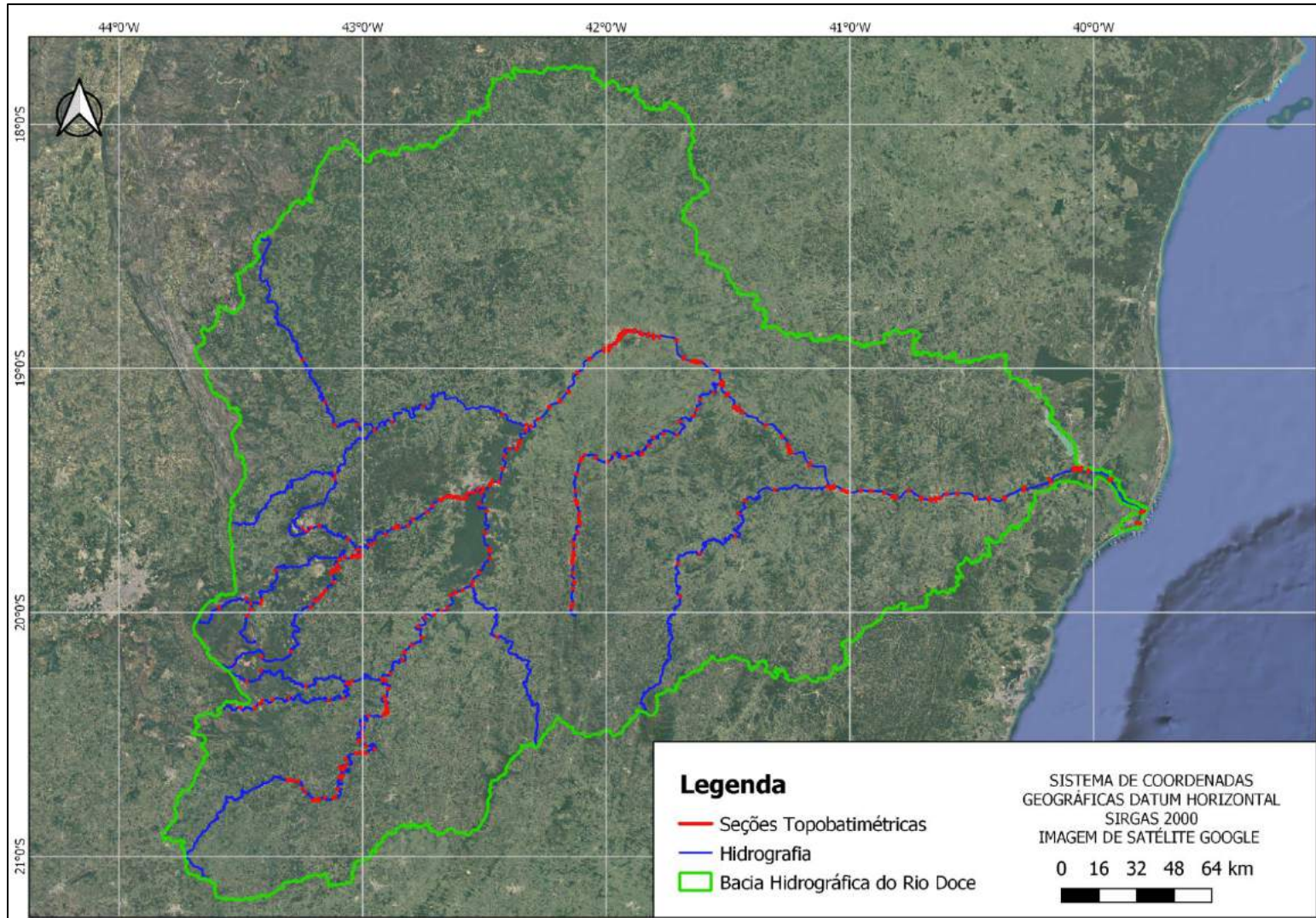


Figura 3-1 – Localização das seções topobatimétricas levantadas pela Consominas Engenharia LTDA.

3.3 Topografia LiDAR

Inicialmente, foi disponibilizada para a modelagem das cheias naturais do rio Doce, no trecho T13 a T16, topografia adquirida pela Fundação Renova, a qual trata-se de curvas de nível em formato *shapefile*, de equidistância vertical de 1 metro, referentes ao Modelo Digital de Terreno – MDT elaborado a partir da tecnologia *Light Detection and Ranging* - LiDAR. Em segundo momento, foi disponibilizado o MDT supracitado datado do ano de 2019, o qual trata-se de arquivo matricial no formato Geotiff com resolução espacial de 1 metro e acurácia vertical da ordem de centímetros, gerado a partir de nuvem de pontos. A **Figura 3-2** apresenta a área abrangida pelas curvas de nível e pelo MDT disponibilizados.

A tecnologia LiDAR é uma forma de detecção remota que utiliza luz emitida por sensores laser para medir a distância do sensor até objetos que são escaneados. O produto bruto dos equipamentos LiDAR são as nuvens de pontos contendo a elevação da superfície. A **Figura 3-3** ilustra o método LiDAR para obtenção dos dados topográficos.

A princípio, as curvas de nível disponibilizadas foram convertidas em arquivo Geotiff de resolução espacial de 1 m e acurácia vertical de 1 metro, com o auxílio do *software* QGIS, utilizando-se a ferramenta de interpolação denominada *r.surf.contour*. Este algoritmo realiza uma interpolação linear entre duas curvas de nível de acordo com a distância entre elas (**Figura 3-4**).

Conforme descrito no item 8.1 deste relatório, o arquivo Geotiff gerado a partir da interpolação das curvas de nível foi utilizado para as simulações hidrodinâmicas do trecho T13 a T16 unidimensional e simulações bidimensionais dos municípios de: Ipatinga, Governador Valadares, Aimorés, Baixo Guandu e Colatina (sede e distrito de Itapina). Para a simulação bidimensional do trecho T16 situado entre a sede de Linhares e a foz do rio Doce, utilizou-se MDT LiDAR adquirido pela Fundação Renova que possui resolução espacial vertical superior ao Geotiff de interpolação das curvas de nível. O Parecer técnico enviado para a CT-GRSA via ofício FR.2021.0608 apresenta os devidos esclarecimentos técnicos sobre o uso desses MDTs no atual estudo. Por fim, estas topografias foram tratadas a partir da inserção das calhas fluviais do rio Doce e principais afluentes, conforme descrito no item 6 deste relatório.

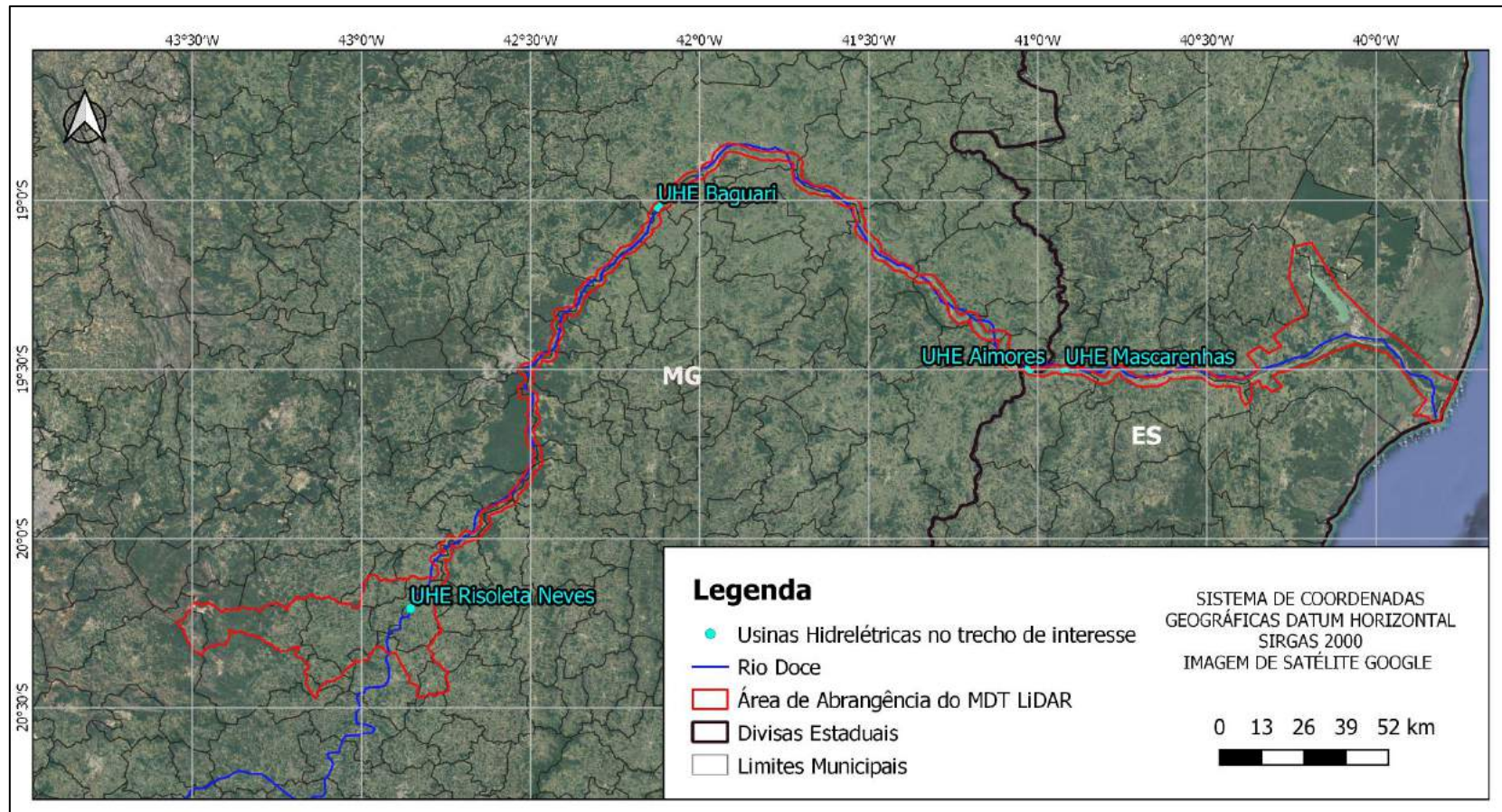


Figura 3-2 – Área abrangida pelo Modelo Digital de Terreno LiDAR.

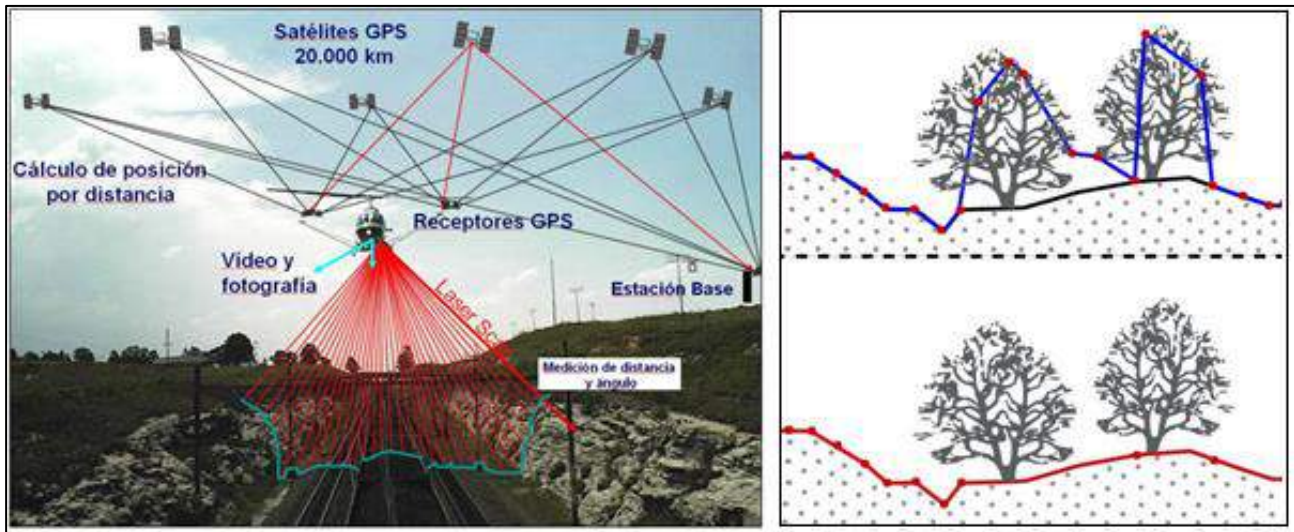


Figura 3-3 – Método LiDAR.

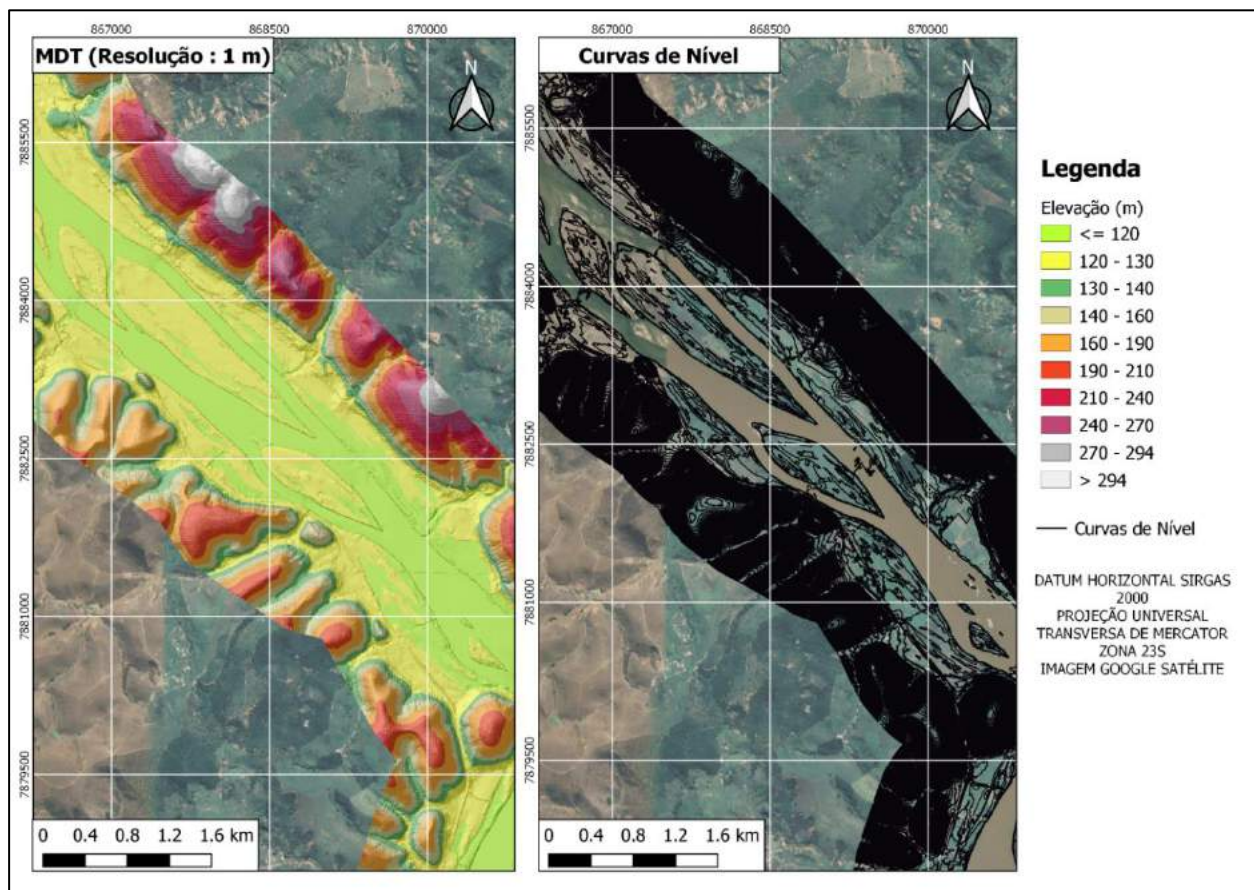


Figura 3-4 – MDT gerado pela interpolação linear entre as curvas de nível disponibilizadas.

3.4 Topografia IEMA

O Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) do estado do Espírito Santo apresenta no portal Geobases (<https://geobases.es.gov.br/>) o mapeamento realizado em todo o Estado do Espírito Santo pela empresa Hiparc Geotecnologia, entre os anos de 2012 e 2015, em escala igual ou melhor a 1:25.000.

Este mapeamento contemplou a realização dos serviços de Levantamento Aerofotogramétrico, Apoio de Campo, Aerotriangulação, Restituição da Hidrografia, geração do Modelo Digital de Elevação (MDE), geração do Modelo Digital de Terreno (MDT), Restituição da Altimetria, elaboração Ortofotomosaicos e Mapeamento da Cobertura Vegetal Nativa e do Uso das Terras.

O MDT gerado pelo método LiDAR, disponibilizado pela Renova, mostrou-se mais adequado que o disponibilizado pelo IEMA, em razão de resolução mais apropriada, já que possui 1 m de resolução enquanto aquela do IEMA possui resolução de 2 m, e em razão da abrangência, pois contempla todo o trecho em análise, enquanto aquela do IEMA contempla apenas parte do trecho dentro do estado do Espírito Santo. A **Figura 3-5** apresenta uma comparação entre os dois Modelos Digitais de Terreno.

O MDE-IEMA, assim como o MDT-IEMA, também possui resolução espacial de 2 m. A diferença principal entre o MDE e o MDT é que último fornece elevações da base do solo de modo que ignora copas de árvores e edificações (**Figura 3-6**). Conforme descrito no item 6.7, o MDT LiDAR não abrange toda a planície de inundação do rio Doce nas proximidades de sua foz. Neste contexto, comparou-se o MDE e MDT disponibilizados pelo IEMA de modo a selecionar a topografia mais adequada para complementar a área de planície de inundação.

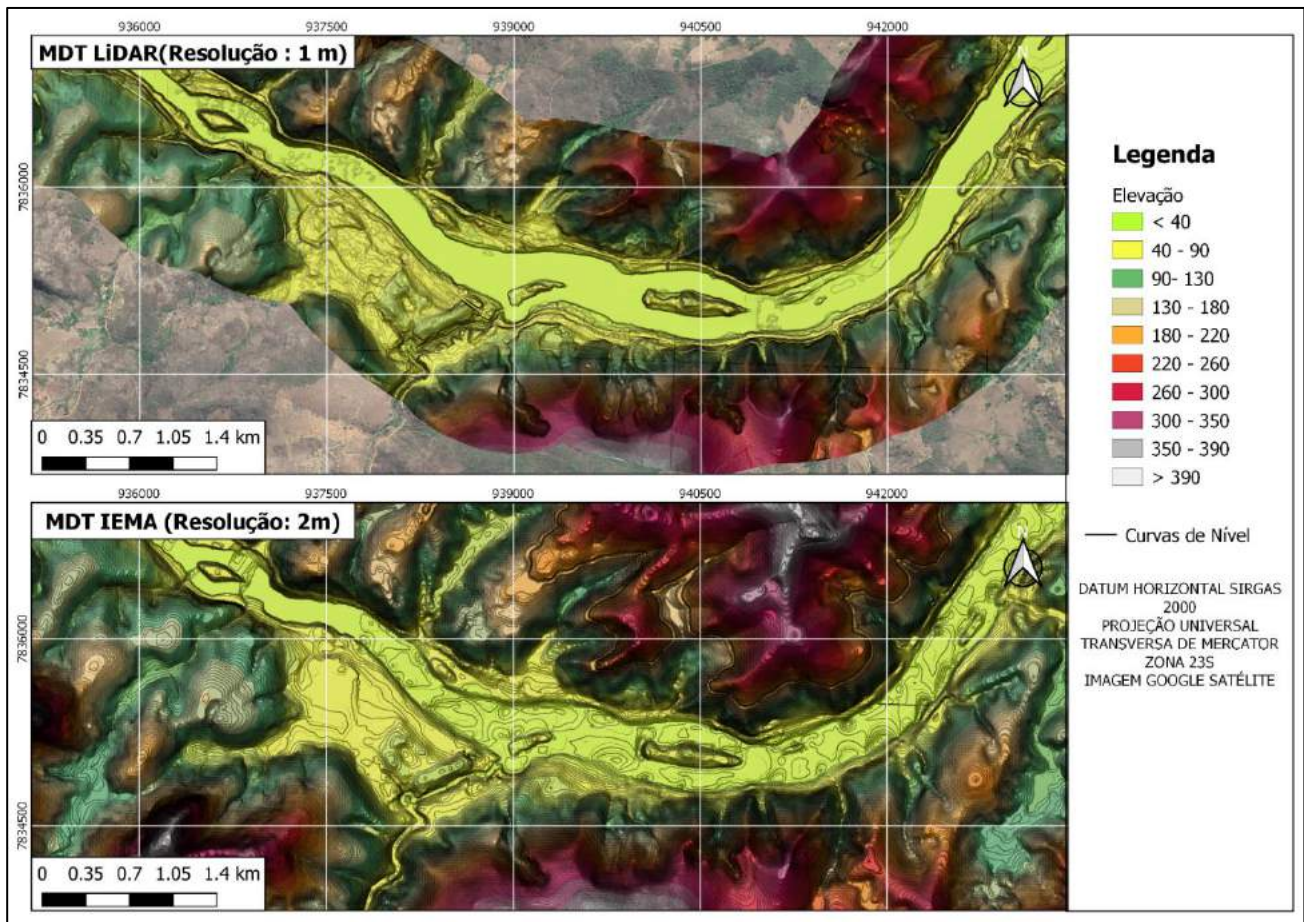


Figura 3-5 – Comparação entre os MDTs.

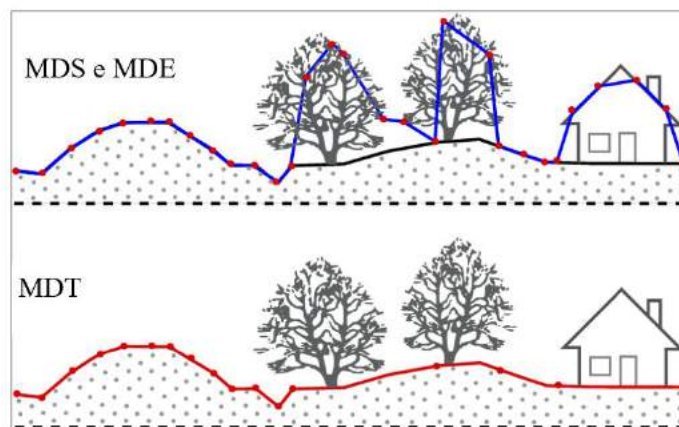


Figura 3-6 – Diferenças entre MDE e MDT.

Notou-se que o MDT-IEMA apresenta topografia em formas geométricas triangulares e retangulares que não representam a geomorfologia da região (**Figura 3-7**) de modo que tais formas ocasionam descontinuidades nas manchas de inundação simuladas. Além disso, observou-se que na região de transição entre o MDT-LiDAR e o MDT-IEMA há discrepâncias relevantes entre os valores de elevação (**Figura 3-8**) o que também confere descontinuidade na mancha de inundação e interfere na vazão extravasada para a planície. Esta descontinuidade pode ser verificada principalmente em regiões de tabuleiros litorâneos (**Figura 3-9** e **Figura 3-10**).

A partir da análise comparativa realizada, o MDE IEMA foi selecionado para complementar o MDT LiDAR. Entretanto, o MDE apresenta cotas bastante elevadas em regiões de vegetação densa e de áreas urbanas adensadas, de modo que para sua utilização foi necessário realizar um tratamento nessas regiões, considerando a remoção dessas cotas elevadas e substituí-las por valores adequados. Este procedimento, chamado de tratamento de topografia, se encontra descrito no item 6.7 deste relatório.

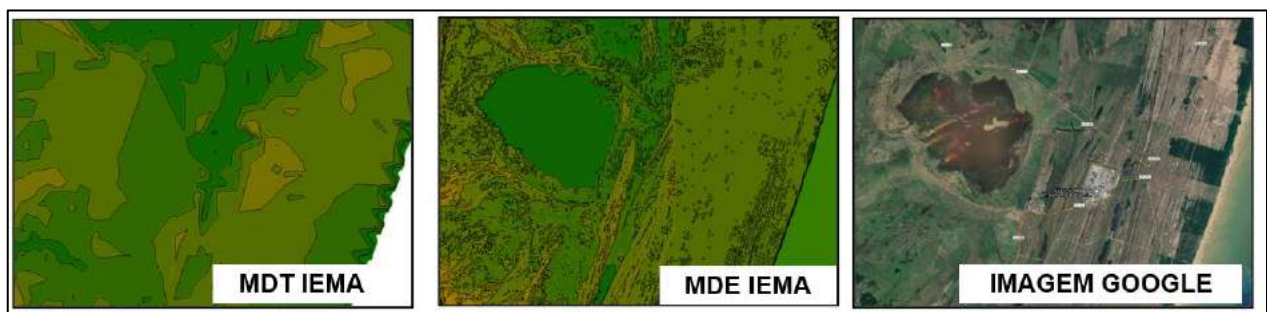


Figura 3-7 – Comparação entre MDT IEMA e MDE IEMA tratado na região da lagoa de Zacarias. Nota-se que o MDE representa melhor as formas de relevo como tabuleiros litorâneos e regiões de lagoas.

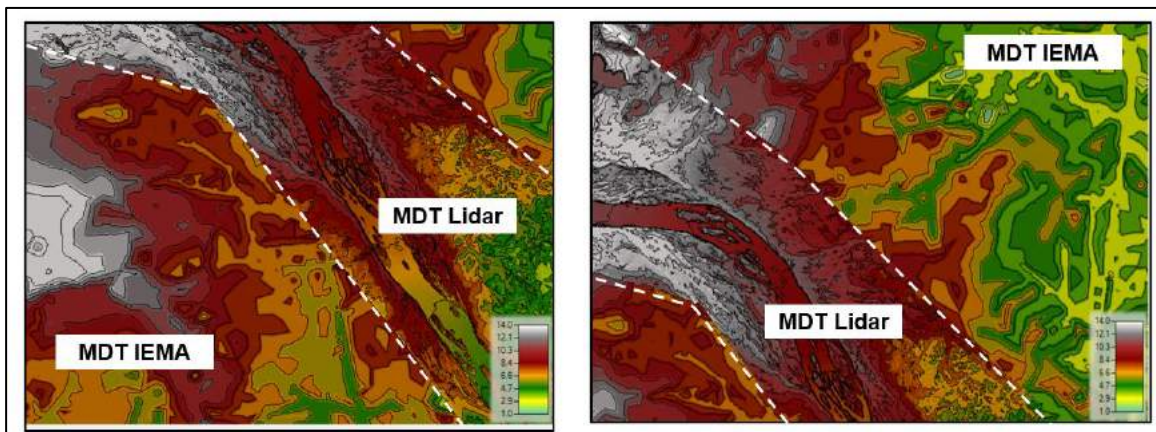


Figura 3-8 – Descontinuidades observadas na transição entre o MDT LiDAR e o MDT IEMA.

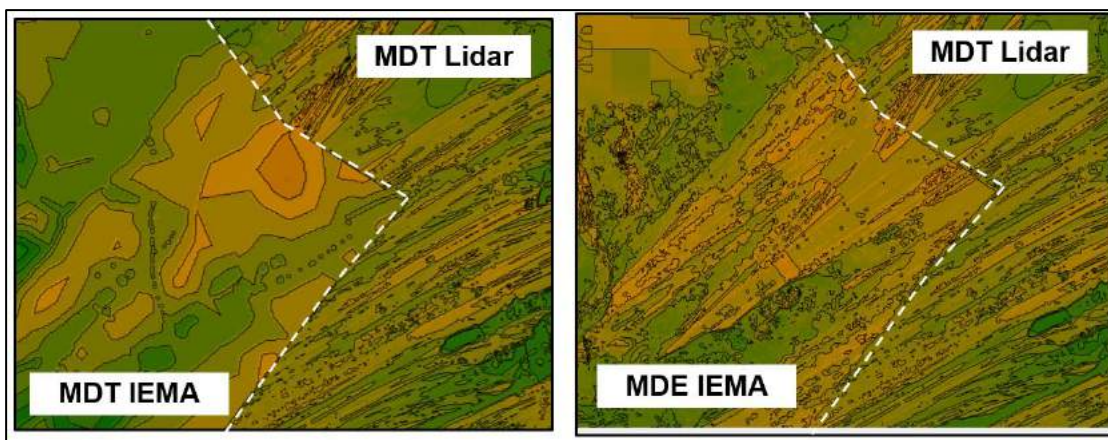


Figura 3-9 - Comparação entre MDT IEMA e MDE IEMA tratado em região de tabuleiros litorâneos na margem direita do rio Doce.

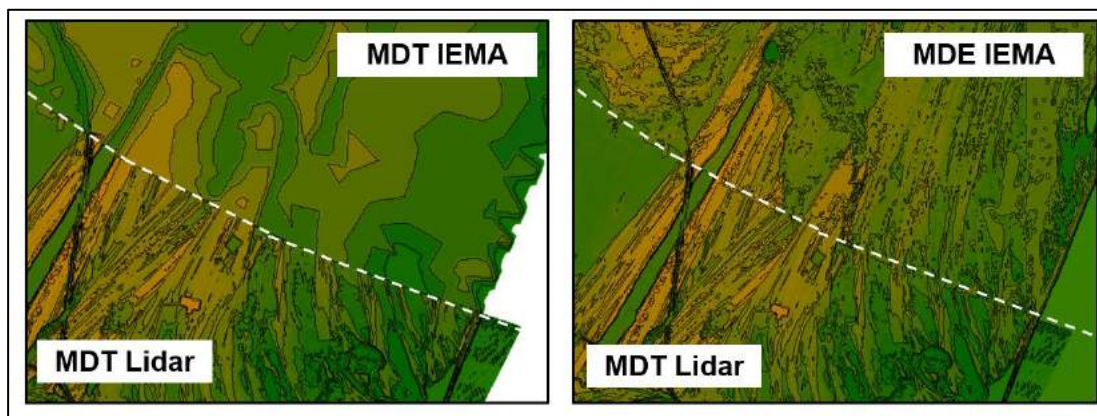


Figura 3-10 - Comparação entre MDT IEMA e MDE IEMA tratado em região de tabuleiros litorâneos na margem esquerda do rio Doce.

3.5 Topografia ANA

A Agência Nacional de Águas - ANA apresenta no portal Metadados (<https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>) dois Modelos Digitais de Superfície – MDS na bacia hidrográfica do rio Doce sendo um de moderada resolução espacial (10 m) e outro de alta resolução espacial (1 m).

O MDS de resolução espacial de 10 m contempla toda a bacia hidrográfica do rio Doce e foi elaborado por meio do método de interpolação *Spline* a partir dos Modelos Digitais de Elevação - MDEs (SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission* - e ASTER GDEM - *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer e Global Digital Elevation Map*) com resolução espacial de 30 e 20m, respectivamente, e pontos com cotas altimétricas para alocação de torres de transmissão de sinal de telefonia celular distribuídos aleatoriamente por toda a área do projeto, aprimorando a acurácia do dado.

O MDS de resolução espacial de 1 m contempla as sedes municipais e entornos de 26 municípios elencados pelo Comitê de Bacia do rio Doce, sendo estes: Porto Firme-MG, Piranga-MG, Guaraciaba-MG, Ponte Nova-MG, Rio Piracicaba-MG, Nova Era-MG, Antônio Dias-MG, Ipatinga-MG, Timóteo-MG, Coronel Fabriciano-MG, Belo Oriente-MG, Caratinga-MG, Santa Bárbara do Leste-MG, Santa Rita de Minas-MG, Ubaporanga-MG, Inhapim-MG, Dom Cavati-MG, Governador Valadares-MG, Tumiritinga-MG, Galiléia-MG, Conselheiro Pena-MG, Resplendor-MG, Aimorés-MG, Baixo Guandu-ES, Colatina-ES e Linhares-ES. Este MDS foi elaborado pelo método de estereoscopia associado a pontos de controle levantados em campo.

A topografia gerada pelo método LiDAR, disponibilizada pela Fundação Renova, mostrou-se mais adequada que as disponibilizadas pela ANA, pois em comparação com o MDS, o MDT é mais adequado para a realização de modelagens hidráulicas de cheias. Além disso, a topografia LiDAR apresenta alta resolução espacial e contempla todo o trecho em análise, enquanto aquela da ANA contempla todo o trecho com moderada resolução espacial ou contempla apenas parte do trecho com alta resolução espacial.

3.6 Dados das usinas hidrelétricas

A usinas hidrelétricas Baguari, Aimorés e Mascarenhas encontram-se no trecho de interesse do projeto, conforme ilustra a **Figura 3-11**, e devem ser representadas nas modelagens para melhor representar a realidade fluvial do trecho.

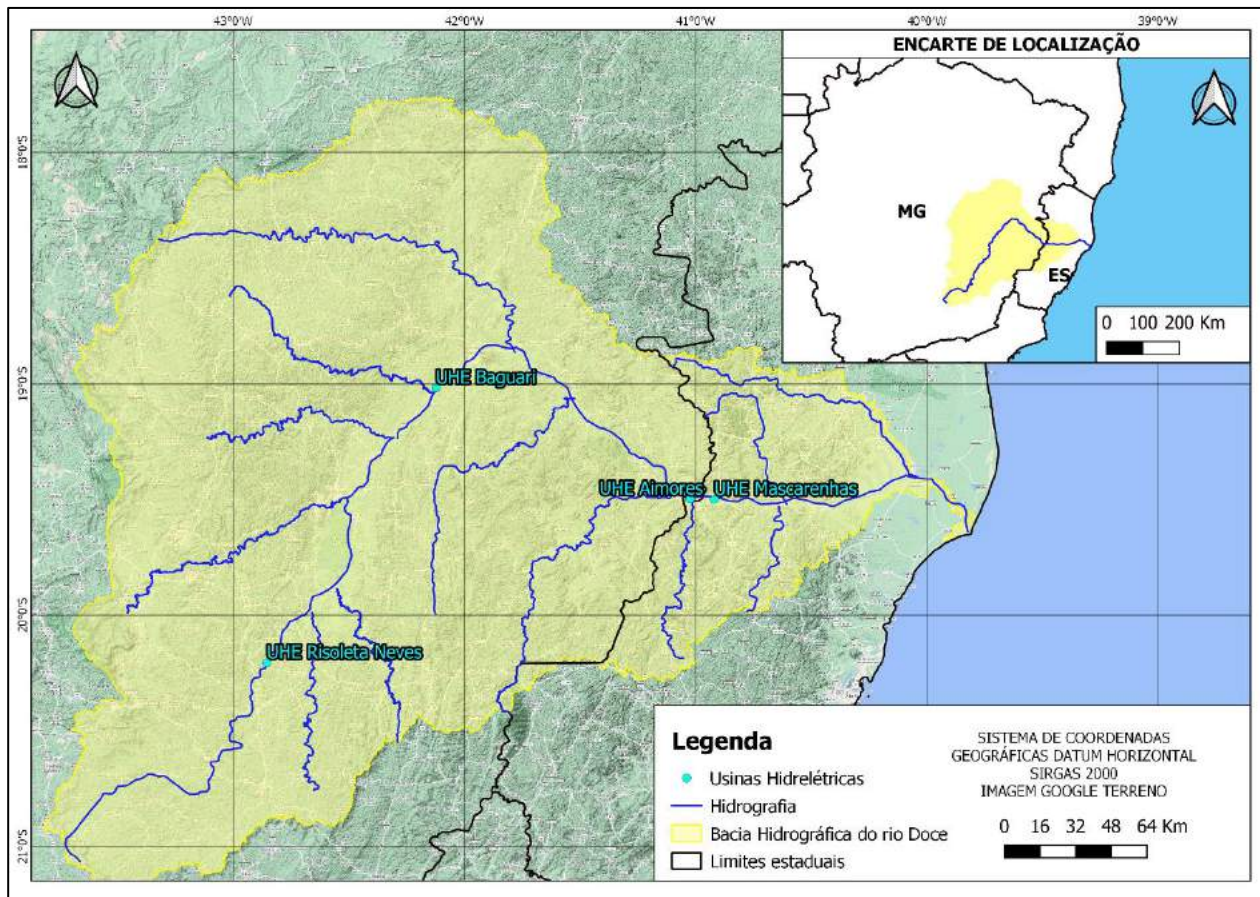


Figura 3-11 - Localização das UHE's no trecho de interesse.

No dia 29 de julho de 2020 ocorreu a Reunião Gerencial 14/2020 da Câmara Técnica de Gestão de Rejeitos e Segurança Ambiental (CT-GRSA) para solicitação dos dados das usinas. Nessa reunião foi decidido que as três usinas disponibilizariam os dados solicitados em até 30 dias corridos, a partir do recebimento do Ofício FEAM/CT - GRSA n°. 52/2020, encaminhado em 14 agosto de 2020. O envio de dados pelas usinas foi finalizado no dia 16 de novembro de 2020, além disso também foram

disponibilizados para a CT-GRSA através do ofício FR.2020.0053, de maneira a atender o encaminhamento 50.7 da reunião ordinária nº 50. Os dados disponibilizados são descritos a seguir:

- UHE Baguari: informações sobre a batimetria levantadas em 2019 que incluem relatórios técnicos, arquivos no formato *shapefile* das isóbatas e das curvas de nível da área seca e arquivo Geotiff da batimetria do reservatório. Outras informações: manual de operações (2020) e histórico de operação detalhado entre 01/09/2009 e 31/12/2019.
- UHE Aimorés: dados de topobatimetria de diferentes datas entre 2014 e 2020. O dado da topobatimetria de 2019, selecionado para o presente estudo, corresponde a curvas de nível e isóbatas no formato DWG. Outras informações: manual de operações (2019) e histórico de operação detalhado entre 01/01/2014 e 26/10/2020.
- UHE Mascarenhas: arquivo no formato *.mxd que representa a batimetria do reservatório (2016) e manual de operações (2013).

4 VISITA DE CAMPO

A visita de campo foi realizada pela HIDROBR no final do mês de agosto de 2020, em que foram visitados pontos ao longo do rio Doce para melhor compreensão das características da geometria do rio Doce, levantamento das características do leito e de ocupação das planícies de inundação, além de registros das marcas de enchentes. A visita contemplou pontos a partir do município de São Domingos do Prata no estado de Minas Gerais, até o distrito de Regência, na foz do rio Doce, no estado do Espírito Santo. A **Tabela 4-1** apresenta as coordenadas dos principais pontos avaliados durante a visita de campos, já a **Figura 4-1** ilustra os pontos ao longo do rio Doce.

Tabela 4-1 – Pontos avaliados.

Nº do ponto	Coordenadas		Município
	Este (°)	Norte (°)	
1	-42,744584	-20,014293	São Domingos do Prata/MG
2	-42,421631	-19,335757	Belo Oriente/MG
3	-42,355446	-19,284060	Belo Oriente/MG
4	-42,095597	-18,985786	Governador Valadares
5	-41,980416	-18,901637	Governador Valadares/MG
6	-41,540529	-19,007443	Galiléia/MG
7	-41,466769	-19,166628	Conselheiro Pena/MG
8	-41,240968	-19,345332	Resplendor/MG
9	-41,100209	-19,459230	Aimorés/MG
10	-41,070240	-19,492146	Aimorés/MG
11	-40,914798	-19,503225	Baixo Guandu/ES
12	-40,856242	-19,510014	Baixo Guandu/ES
13	-40,602919	-19,515400	Colatina/ES
14	-40,561848	-19,509905	Colatina/ES
15	-40,065578	-19,410743	Linhares/ES
16	-39,925748	-19,480664	Linhares/ES
17	-39,817307	-19,652281	Linhares/ES

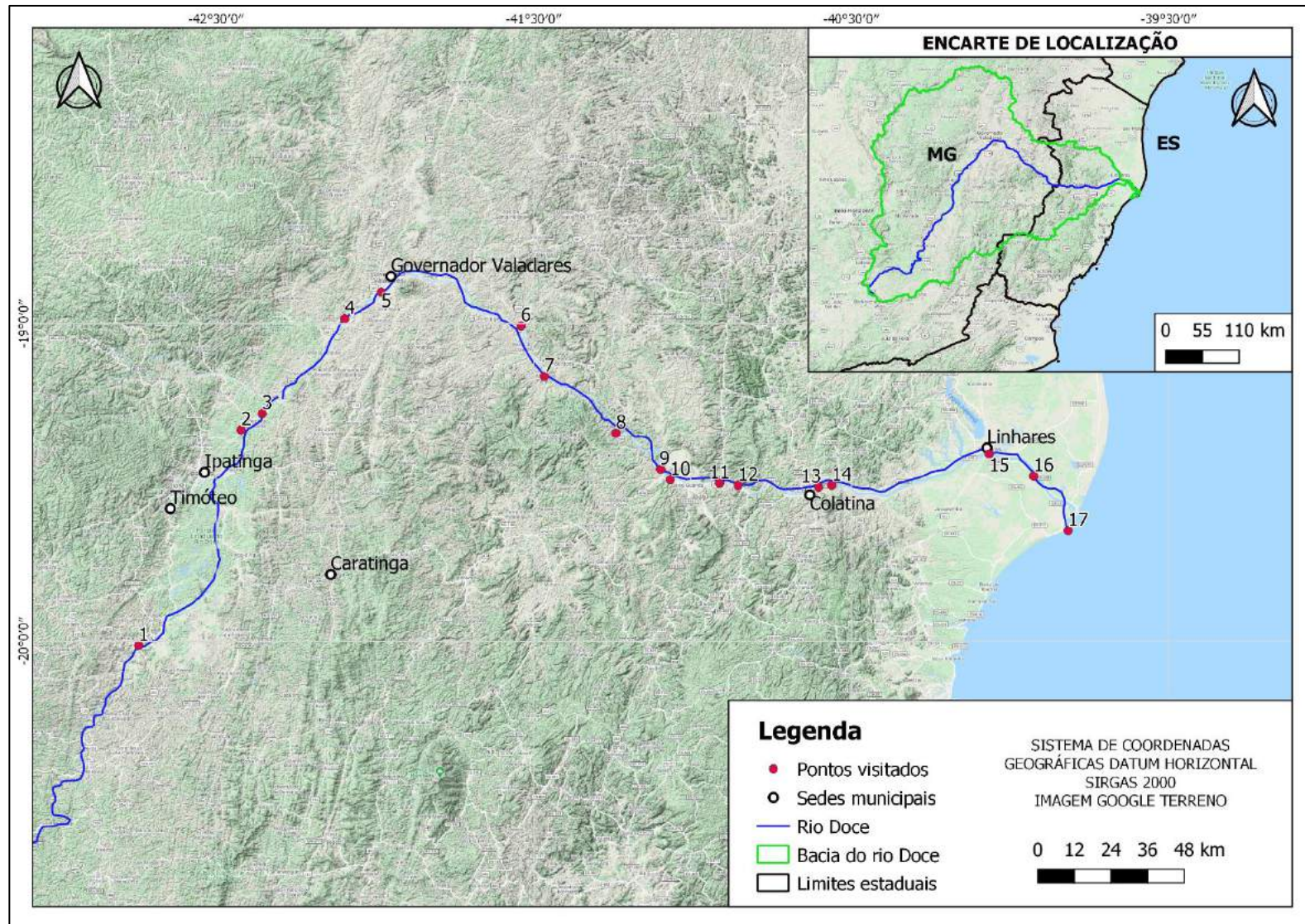


Figura 4-1 – Localização dos pontos visitados.

4.1 Ponto 1

O ponto 1 está localizado no município de São Domingos do Prata, próximo à divisa com Rio Casca, no entorno de onde está localizada a seção topobatimétrica complementar SC-03, conforme ilustra a **Figura 4-2**.

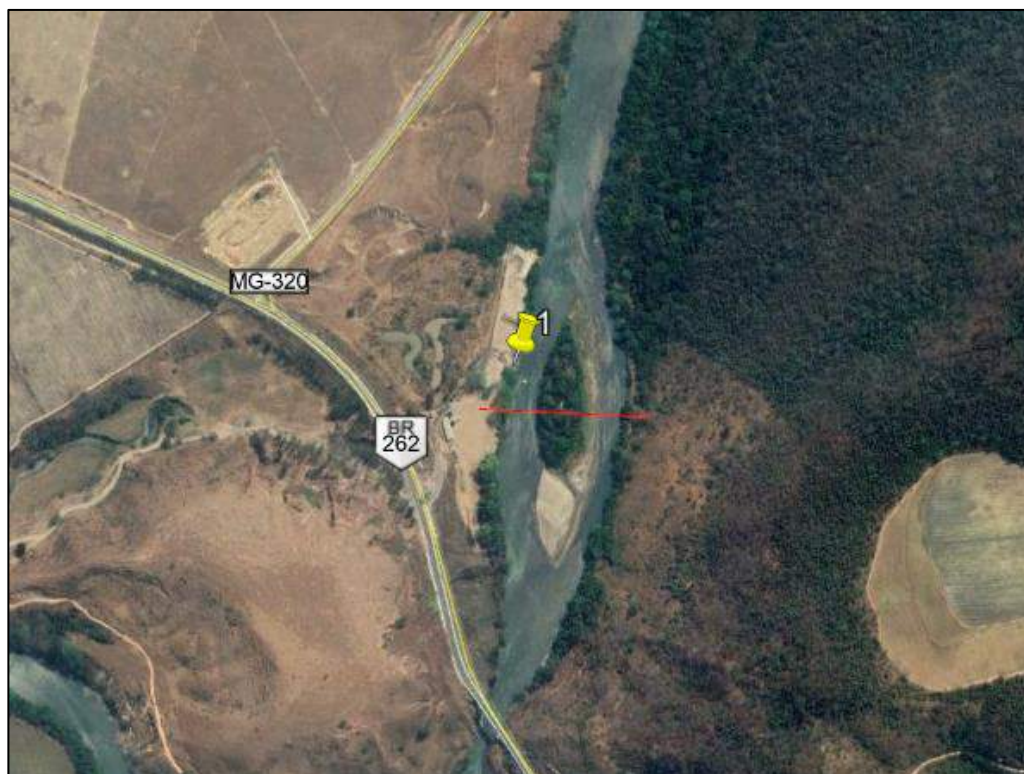


Figura 4-2 – Localização do Ponto 1.

Nesse local encontra-se instalada a estação RDO 03, do tipo FPDQT³, ilustrada na **Figura 4-3**. Essa faz parte da rede de monitoramento da bacia do rio Doce, do Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático de Água e Sedimentos – PMQQS.



Figura 4-3 – Estação RDO 03 – PMQQS.

Nesse ponto foi possível notar a presença de uma ilha fluvial, muito comum ao longo do rio Doce, além de margens mais íngremes, ou seja, sem planície de inundação. Visualmente, a diferença de altura entre a calha e o nível de água aparentava estar próxima de 4,0 m. A **Figura 4-4** apresenta uma vista de montante e de jusante do rio Doce no ponto 1.

³ FPDQT = (F) Nível, (P) Precipitação, (D) Descarga Líquida, (Q) Qualidade de Água e Sedimento e (T) Telemetria.



Figura 4-4 – Vista de jusante e montante do rio Doce no ponto 1.

4.2 Ponto 2

O ponto 2 encontra-se no município de Belo Oriente, próximo à divisa com Santana do Paraíso e Ipaba. A **Figura 4-5** ilustra a localização desse ponto em relação ao rio Doce.

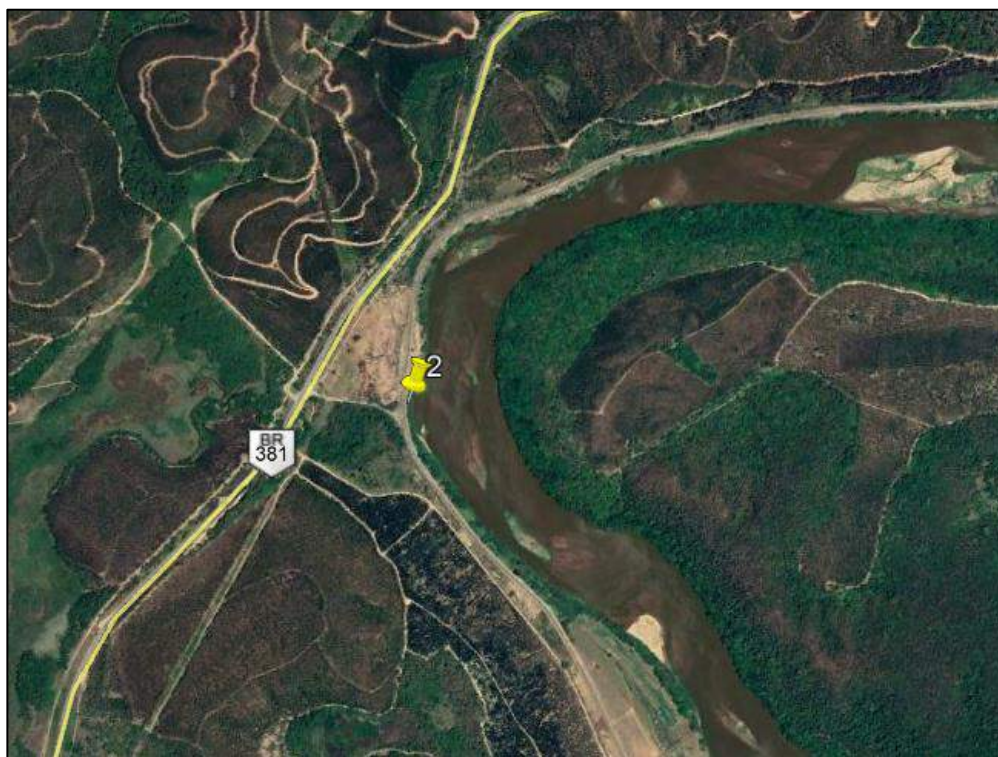


Figura 4-5 – Localização do Ponto 2.

Essa região ainda apresenta margens íngremes, porém mais suaves em relação ao apresentado no ponto 1. Ademais, foi possível notar, além de uma pequena ilha na região a montante do ponto, também existe bancos de areia nessa região, conforme ilustra a **Figura 4-6**.



Figura 4-6 – Vista de montante e jusante do rio Doce no Ponto 2.

4.3 Ponto 3

O ponto 3 está localizado no município de Belo Oriente, próximo à divisa com Bugre, no entorno de onde está localizada a seção topobatimétrica complementar SC-12, conforme ilustra a **Figura 4-7**.



Figura 4-7 – Localização do Ponto 3.

A região do ponto 3 apresenta margens menos íngremes e grandes meandros. A **Figura 4-8** apresenta uma vista de montante e de jusante do rio Doce no ponto 3, onde é possível notar a grande ilha fluvial existente no ponto.



Figura 4-8 – Vista de montante e jusante do ponto 3.

4.4 Ponto 4

O ponto 4 está localizado no município de Governador Valadares, próximo à divisa com Alpercata, a jusante da Usina Hidrelétrica de Baguari e no entorno de onde está localizada a seção topobatimétrica complementar SC-17, conforme ilustra a **Figura 4-9**.



Figura 4-9 – Localização do Ponto 4.

A região onde encontra-se o ponto 4 já apresenta margens mais aplainadas, em que foi possível visitar a beira do rio, ou seja, a região já indica uma planície de inundação, conforme a **Figura 4-10** ilustra. Nesse ponto também é possível notar a presença de afloramentos rochosos.



Figura 4-10 – Vista de montante e jusante do ponto 4.

4.5 Ponto 5

O ponto 5 encontra-se no município de Governador Valadares, próximo à divisa com Alpercata. A **Figura 4-9** ilustra a localização desse ponto em relação ao rio Doce.

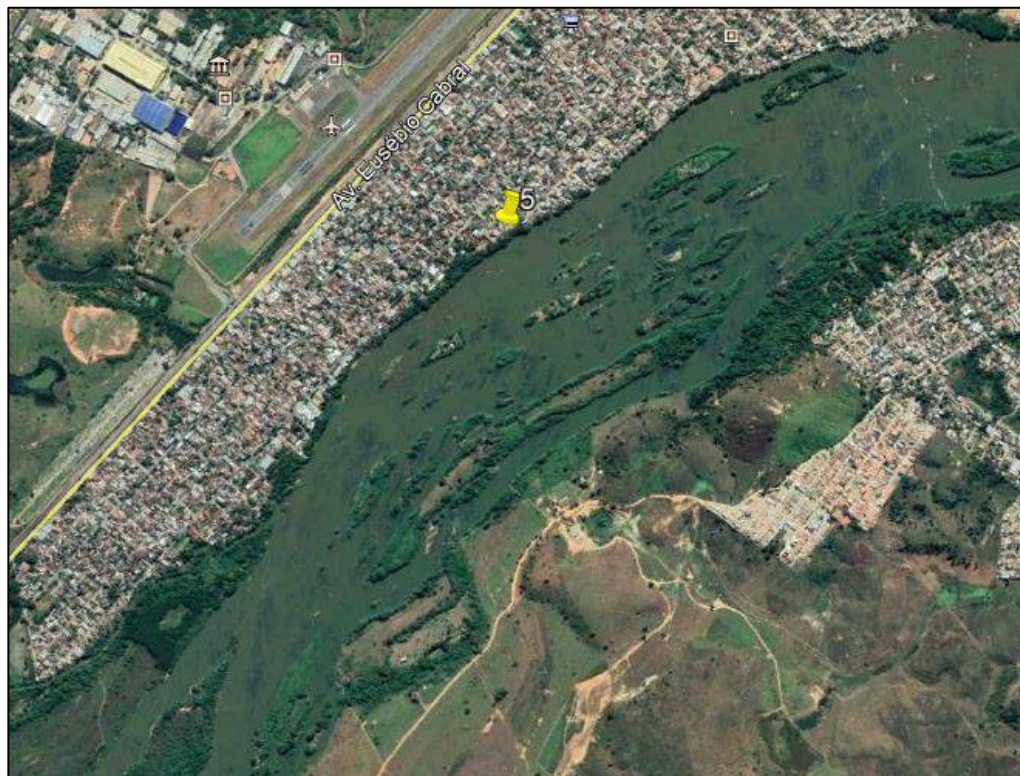


Figura 4-11 – Localização do Ponto 5.

Essa região indica similaridade com a do ponto anterior, apresentando margens mais aplainadas, conforme ilustra a **Figura 4-12**. Essa região conta também com pequenas ilhas fluviais e afloramentos rochosos. É possível notar pelas fotos, que no dia da visita estava ocorrendo a dragagem do rio nesse trecho.



Figura 4-12 – Vista de montante e jusante do ponto 5.

Outra observação interessante a respeito desse ponto, foi a visualização da marca de inundação deixada no muro de uma residência, por uma das cheias ocorrida no rio Doce, ilustrada na **Figura 4-13**, onde também é possível visualizar o rio Doce em uma cota mais baixa no momento da visita, aproximadamente a 5 metros de distância do muro. Como não havia nenhum morador no local, não foi possível realizar questionamentos sobre a cheia.



Figura 4-13 – Marca da cheia no muro.

4.6 Ponto 6

O ponto 6 encontra-se no município de Galiléia, próximo à divisa com Tumiritinga. A **Figura 4-14** ilustra a localização desse ponto em relação ao rio Doce.

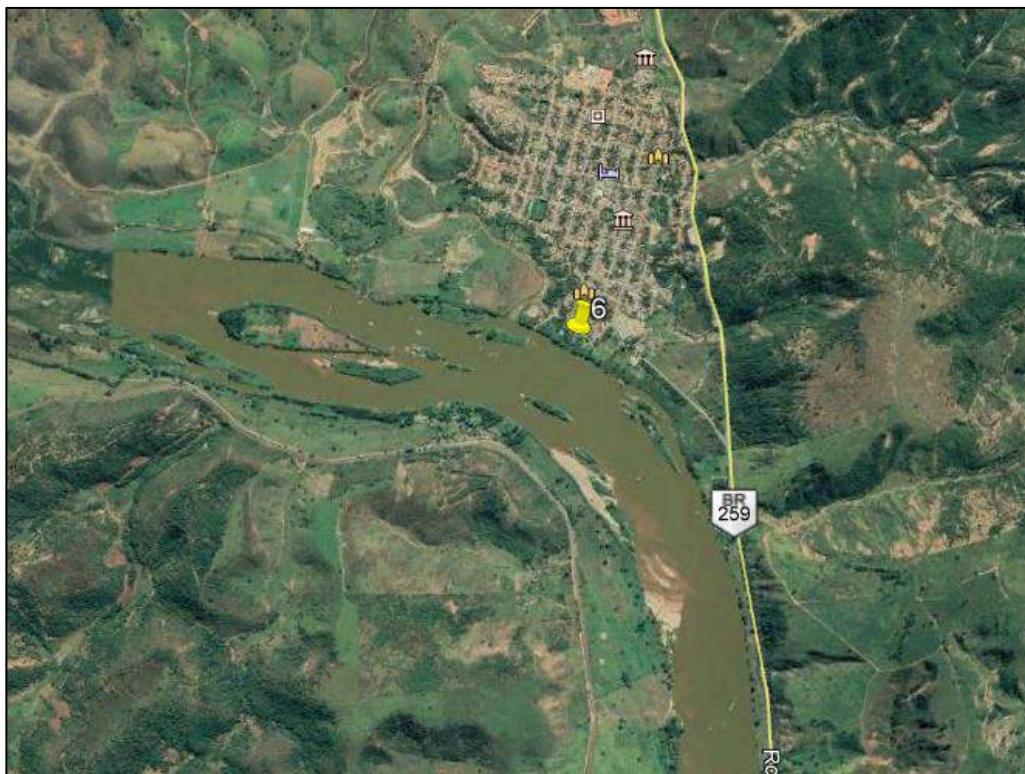


Figura 4-14 – Localização do ponto 6.

Na região do ponto 6 o rio Doce apresenta margens aplainadas, além do próprio leito apresentar baixa declividade e água calmas. A **Figura 4-15** ilustra a vista de montante e jusante do rio Doce nesse ponto.



Figura 4-15 – Vista de montante e jusante do ponto 6.

4.7 Ponto 7

O ponto 7 encontra-se no município de Conselheiro Pena, a **Figura 4-16** ilustra a localização desse ponto em relação ao rio Doce. Como pode ser visto, o ponto está sobre uma ponte que atravessa o rio Doce, passando por uma ilha.

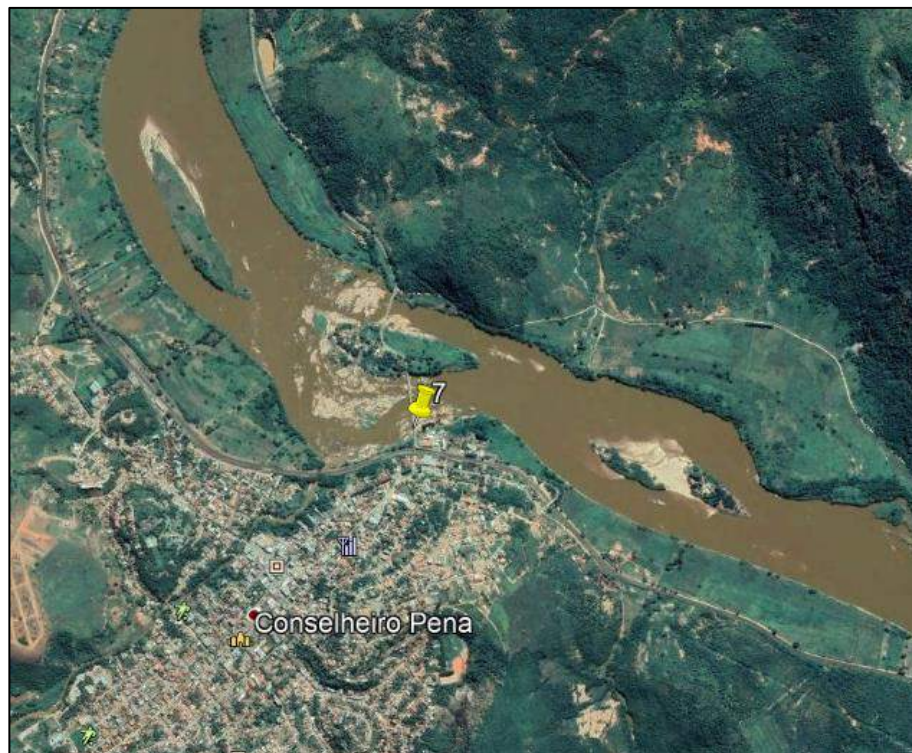


Figura 4-16 – Localização do ponto 7.

Essa região apresenta muitos afloramentos rochosos, além de bancos de areia e ilhas fluviais. A **Figura 4-17** ilustra a vista de montante e de jusante desse ponto, indicando que a vazão não fica dividida igualmente entre os dois lados da ilha.



Figura 4-17 – Vista de montante e jusante do ponto 7.

4.8 Ponto 8

O ponto 8 encontra-se no município de Resplendor próximo à divisa com Itueta. A **Figura 4-18** ilustra a localização desse ponto em relação ao rio Doce.



Figura 4-18 – Localização do ponto 8.

Esse ponto está localizado a montante do reservatório da Usina Hidrelétrica de Aimorés, a aproximadamente 25 km da barragem, dessa forma, acredita-se que esse ponto já sofra influência do remanso do reservatório da usina. A **Figura 4-19** apresenta uma vista a montante e outra a jusante do ponto 8, ilustrando as águas calmas da região.



Figura 4-19 – Vista de montante e jusante do ponto 8.

4.9 Ponto 9

O ponto 9 está localizado no município Aimorés, próximo à barragem da Usina Hidrelétrica de Aimorés, no entorno de onde está localizada a seção topobatimétrica complementar SC-25, conforme ilustra a **Figura 4-20**.

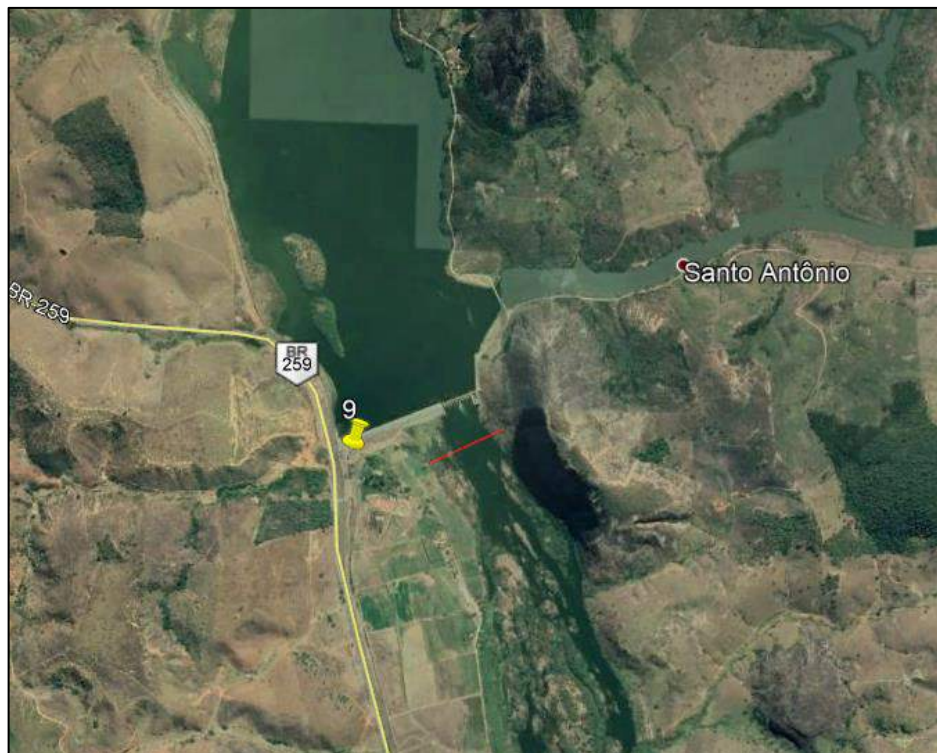


Figura 4-20 – Localização do ponto 9.

A Usina Hidrelétrica Eliezer Batista, ou Usina de Aimorés, foi inaugurada em 05 de maio de 2006 e pertence a empresa Aliança Energia. Essa tem potencial de geração de 330 MW com 181,9 MW de energia média assegurada em operação. A **Figura 4-21** ilustra a vista do paramento de jusante da barragem, não foi possível visualizar o rio Doce nesse ponto, uma vez que era uma região cercada e com necessidade de autorização para visitar.



Figura 4-21 – Paramento de jusante da Barragem de Aimorés.

4.10 Ponto 10

O ponto 10 encontra-se no município de Aimorés em Minas Gerais próximo à divisa com Baixo Guandu no Espírito Santo, a jusante do reservatório Usina Hidrelétrica de Aimorés e no entorno de onde está localizada a seção topobatimétrica complementar SC-26. A **Figura 4-22** ilustra a localização desse ponto em relação ao rio Doce. Este ponto do rio faz parte do trecho de vazão reduzida (TVR) ocasionado pelo barramento da UHE de Aimorés.

A **Figura 4-23** ilustra os afloramentos rochosos na planície de inundação do rio Doce nessa região. Nesse local não foi possível visualizar a calha menor do rio, pela distância até onde era permitido o acesso.

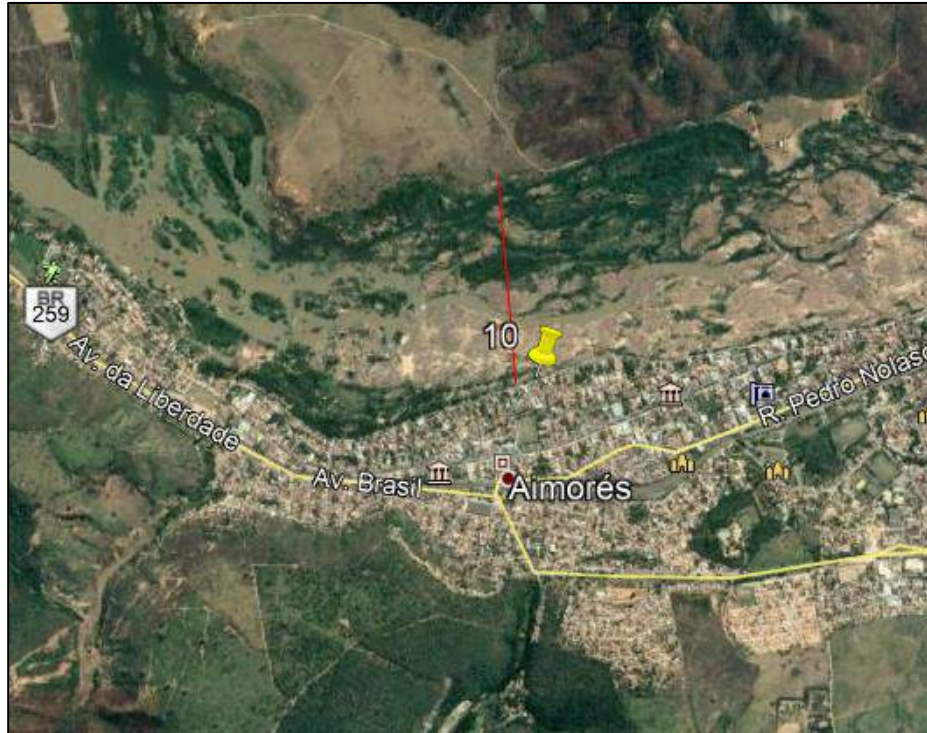


Figura 4-22 – Localização do ponto 10.



Figura 4-23 – Localização do ponto 10.

4.11 Ponto 11

O ponto 11 encontra-se no município de Baixo Guandu, a jusante da barragem da Usina Hidrelétrica de Mascarenhas. A **Figura 4-24** ilustra a localização desse ponto em relação ao rio Doce.



Figura 4-24 – Localização do ponto 11.

Da mesma forma que o ponto anterior, essa região também apresenta afloramentos rochosos, conforme ilustra a **Figura 4-25**, porém, nesse caso, foi possível visualizar a calha menor do rio. Nessa mesma imagem, é possível visualizar o vertedouro da barragem com suas comportas, além da grande proximidade de uma residência do rio. Dessa forma, o ponto visitado faz parte do trecho de vazão reduzida (TVR) relativo ao barramento da UHE Mascarenhas.



Figura 4-25 – Vista de montante e jusante do ponto 11.

4.12 Ponto 12

O ponto 12 encontra-se no município de Baixo Guandu, próximo à divisa com Colatina. A **Figura 4-26** ilustra a localização desse ponto em relação ao rio Doce.



Figura 4-26 – Localização do ponto 12.

A região em que esse ponto está localizado no rio Doce já possui um vale um pouco mais encaixado, do que nos pontos anteriores, conforme ilustra a **Figura 4-27**, em que mostra vista de jusante da ponte.

A partir desse ponto já é possível notar um aumento significativo na quantidade de bancos de areia ao longo do rio Doce, sugerindo o início de uma zona de deposição.



Figura 4-27 – Vista de jusante do ponto 12.

4.13 Ponto 13

O ponto 13 encontra-se no município de Colatina, a **Figura 4-28** ilustra a localização desse ponto em relação ao rio Doce. Esse ponto está posicionado sobre uma ponte, ilustrada na **Figura 4-29**.

Conforme mencionado no item anterior a presença de banco de areias é intensificada. Sendo possível notar a presença desses bancos, tanto a montante, quanto a jusante do ponto 13. A **Figura 4-30** ilustra as vistas de montante e jusante do ponto.

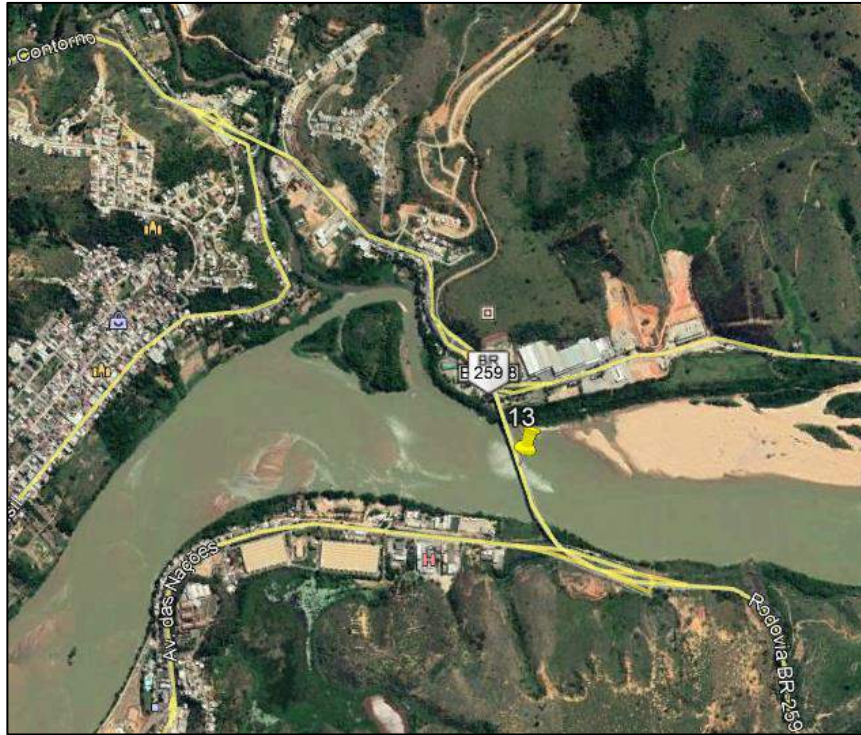


Figura 4-28 – Localização do ponto 13.



Figura 4-29 – Vista da ponte no ponto 13.



Figura 4-30 – Vista de montante e jusante do ponto 13.

4.14 Ponto 14

O ponto 14 encontra-se no município de Colatina, próximo à divisa com Marilândia. A **Figura 4-31** ilustra a localização desse ponto em relação ao rio Doce.



Figura 4-31 – Localização do ponto 14.

A **Figura 4-32** ilustra a vista de montante e de jusante do ponto, em que pode ser visualizada a presença dos bancos de areia, ratificando a zona de deposição, além de uma ilha fluvial. A jusante desse ponto é intensificada a presença de bancos de areia no leito do rio.



Figura 4-32 – Vista de montante e jusante do ponto 14.

4.15 Ponto 15

O ponto 15 está localizado no município de Linhares, no entorno de onde estão localizadas as seções topobatimétricas complementares SC-31 e SC-32, conforme ilustra a **Figura 4-33**. Nessa figura é possível visualizar uma grande mancha urbana na margem esquerda do rio Doce. Com a modelagem hidrodinâmica será possível avaliar se esse centro urbano é inundado com as cheias naturais desse rio.

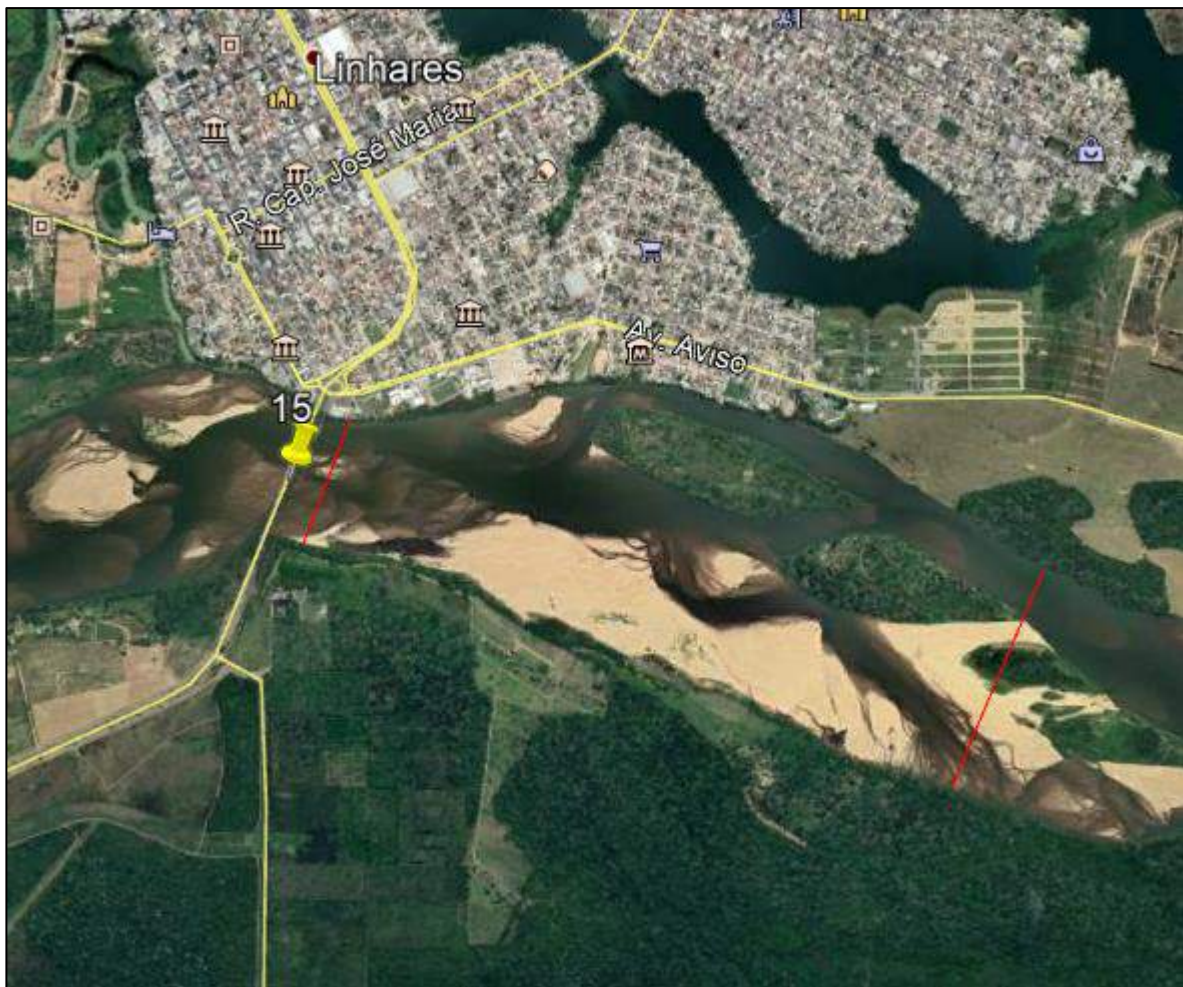


Figura 4-33 – Localização do ponto 15.

Tanto a **Figura 4-34**, que ilustra as vistas de montante e jusante do ponto 15, quanto a figura de localização (**Figura 4-33**), apresentam os vários bancos de areia nessa região.



Figura 4-34 – Vista de montante e jusante do ponto 15.

4.16 Ponto 16

O ponto 16 está localizado no município de Linhares, no entorno de onde estão localizadas as seções topobatimétricas complementares SC-37 e SC-38, conforme ilustra a **Figura 4-35**.



Figura 4-35 – Localização do ponto 16.

O rio Doce, na região do ponto 16, apresenta margens muito planas, além de muitos bancos de areia e ilhas fluviais. Acredita-se que esse local já tenha influência das marés, pela proximidade ao oceano, que se encontra a aproximadamente 25 km. A **Figura 4-36** ilustra as vistas de montante e jusante do ponto.



Figura 4-36 – Vista de montante e jusante do ponto 16.

4.17 Ponto 17

O ponto 17 está localizado no município de Linhares, na foz do rio Doce, no entorno de onde está localizada a seção topobatimétrica complementar SC-30, solicitadas ao estudo, conforme ilustra a **Figura 4-37**. Já a **Figura 4-38** ilustra a placa indicativa da foz.



Figura 4-37 – Localização do ponto 17.



Figura 4-38 – Placa de identificação da foz do rio Doce.

A **Figura 4-39** ilustra a chegada do rio ao oceano, onde foi possível ratificar a complexidade da inserção dessa região no modelo hidrodinâmico.



Figura 4-39 – Vista da foz no ponto 17.

5 LEVANTAMENTO DAS SEÇÕES TOPOBATIMÉTRICAS COMPLEMENTARES

Para o desenvolvimento do estudo de modelagem hidrodinâmica para definição das manchas de inundação para as cheias de 2016 e 2020 e tempos de retorno notáveis é necessária a elaboração de um Modelo Digital de Terreno (MDT) contendo informações do levantamento topográfico de precisão, disponibilizado pela Fundação Renova, representando as planícies de inundação, além das seções topobatimétricas disponibilizadas pela ANA e pelo CPRM, descritas no 3.2, que permitem a implantação da calha menor do rio.

As seções disponibilizadas pela ANA visaram o detalhamento de manchas urbanas, pontes e travessias, além de alterações bruscas de seção, deixando de lado as ilhas existentes no trecho, as quais compreendem importantes constrições que necessitam de caracterização para construção do MDT final para modelagem. Dessa forma, foram solicitadas 40 seções topobatimétricas complementares no rio Doce para auxiliar nessa lacuna de informação. Além disso, a foz do rio Doce apresenta uma grande complexidade, exigindo, portanto, um maior detalhamento, por isso foram solicitadas algumas seções nessa região. A **Figura 5-1** ilustra a localização das 40 seções complementares solicitadas, além disso, o apêndice 12.1.1 apresenta a localização das seções a partir dos arquivos *shapefile* e o *Keyhole Markup Language* (kml) da localização das seções, enquanto o apêndice 12.1.6 apresenta as coordenadas das seções.

É importante ressaltar que, em trechos de corredeiras e cachoeiras não foi possível realizar o levantamento de seções complementares pela questão da dificuldade de obtenção de anuências de proprietários para realização do serviço de campo que foi devidamente apresentada e justificada no ofício FR.2020.1943 (Anexo 2) e pela periculosidade da atividade, tendo em vista que levantamento foi realizado em período de cheia. Nestes trechos a declividade e redução da elevação do talvegue foi representada de acordo com a topografia LiDAR, uma vez que esta foi desenvolvida em período de seca. A metodologia aplicada para inserção de batimetria em trechos de corredeiras e cachoeiras é detalhada no item 6.4.1 deste relatório.

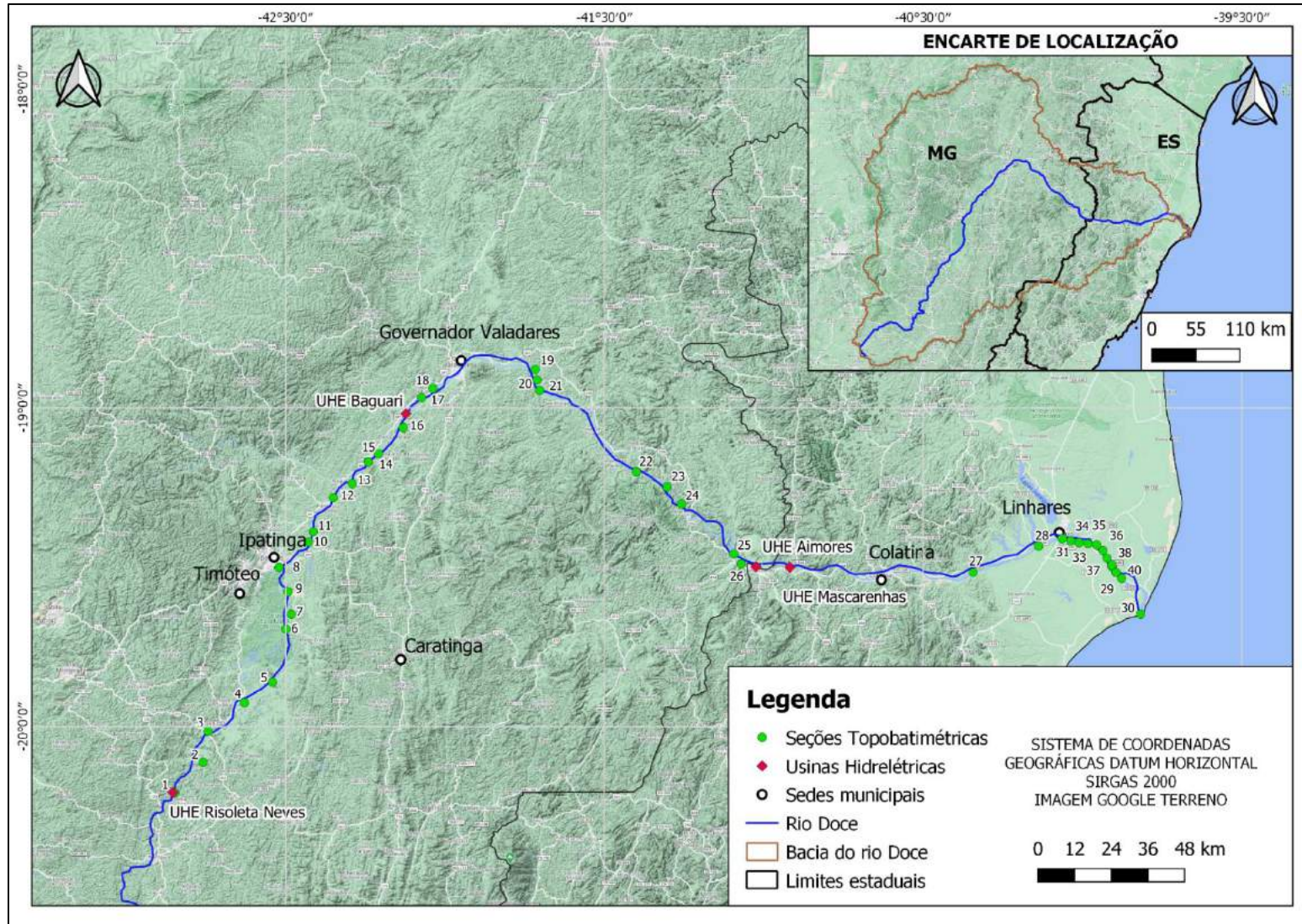


Figura 5-1 – Localização das seções topobatimétricas complementares.

5.1 Metodologia para Levantamento das Seções

As 40 seções topobatimétricas complementares solicitadas no rio Doce para o desenvolvimento do estudo foram levantadas entre os meses de novembro e dezembro de 2020, pelas empresas HIDROGEST (seções 1 a 20 – entre Santa Cruz do Escalvado/MG e Tumiritinga/MG), HGT (seções 21 a 26 - entre os municípios de Tumiritinga/MG e Aimorés/MG) e TOPGEO (seções 27 a 40 - município de Linhares/ES).

Para o desenvolvimento dos trabalhos de campo, a partir da localização das seções solicitadas, foram traçadas as diretrizes com base em mapas, cartas oficiais disponíveis, imagens aéreas e pesquisa no Google Earth, identificando-se a área de estudo e acessos, e foram pesquisados a existência de marcos geodésicos implantados na área de interesse. A seguir encontra-se detalhada a metodologia utilizada para o levantamento das seções complementares.

Devido à falta de dados pretéritos confiáveis nas áreas de estudo, decidiu-se pela determinação das coordenadas geodésicas e cotas altimétricas de Pontos de Referência por meio do rastreamento estático com pós processamento do serviço online PPP do IBGE, essas coordenadas denominadas de absolutas foram extraídas de arquivo RINEX, gerado a partir do rastreamento realizado com RTK Base.

O rastreamento estático teve duração mínima de 2 horas em cada localidade, atendendo as recomendações para levantamentos relativo estático – GPS do IBGE, com um intervalo de coleta de dados de um segundo. Foi empregado um receptor/antena geodésicos Hyper.

Neste método de posicionamento foram necessários apenas os dados brutos, gravados a cada um segundo, e convertidos no formato RINEX. Esses arquivos foram enviados online para o serviço IBGE- PPP, o qual disponibiliza um relatório com informações sobre a observação processada, órbitas dos satélites empregadas, máscara de elevação, intervalo do processamento, modelo e altura da antena, coordenadas em SIRGAS2000, com seus desvios padrão, altitude ortométrica e ondulação geoidal.

A saída do PPP é um relatório resumido sobre o processamento, contendo duas sessões. Na primeira sessão são apresentadas as informações mais relevantes utilizadas no processamento, tais como: o identificador da estação, data e hora do início e término dos dados processados, modo de

operação (estático ou cinemático), observações encontradas nos dados (código ou código e fase), o modelo da antena segundo identificação adotada pelo IGS, tipo de órbita IGS utilizada no processamento (precisa ou rápida), observável processada, intervalo utilizado no processamento, desvio padrão da pseudodistância e portadora em metros, altura da antena em metros e os resíduos da pseudodistância e portadora em metros. Já na segunda sessão são apresentadas as coordenadas SIRGAS2000, em duas épocas distintas, ou seja, na data de referência do Sistema SIRGAS2000 e na data que foi realizado o levantamento (época tomada no início do rastreamento), assim como o desvio padrão destas coordenadas, apresentando também a ondulação.

Definidas as cotas e coordenadas dos Pontos de Referência, utilizando um rover RTK GNSS onde realizou-se a transferência para as seções a serem levantadas. O rover RTK tem um alcance de até 2 km, assim se a distância a ser levantada for superior ao limite, novo Ponto de Referência é rastreado e determinado. Os arquivos de processamento estão disponíveis no item 12.1.3.

O levantamento topobatimétrico consiste na medição de pontos topográficos na parte seca do terreno e profundidade em corpos de água. O serviço de batimetria compreende somente o levantamento do leito submerso. A determinação dos pontos de início e fim das seções é efetuada através de levantamento geodésico. Para o levantamento das seções topobatimétricas tanto na parte seca quanto a molhada foi utilizado o método convencional utilizando Estação Total e GPS RTK. Para as seções com maior extensão foi utilizado o Ecobatímetro HD-380 HITAGET.

Na realização do serviço de campo foram desenvolvidas as seguintes etapas:

- Todo o levantamento foi referenciado e amarrado planialtimetricamente ao Sistema Geodésico Brasileiro, coordenadas UTM, considerando o datum horizontal SIRGAS 2000 e o datum vertical marégrafo de Imbituba, SC;
- A distância máxima entre os pontos de medição (batimetria) foi desenvolvida de forma a apresentar todas as variações bruscas de elevação ao longo da seção, como por exemplo; afloramentos rochosos, massas de água, etc;
- Foram identificados e preparados os pontos de apoio topográficos ao longo do trecho de interesse;

- Foi realizado o rastreamento com um par de GPS RTK para transporte de cotas e coordenadas nos pontos de apoio nos locais da realização dos levantamentos das seções topobatimétricas;
- Em seguida, foi realizado o levantamento topobatimétrico das seções indicadas até uma cota acima da NA.

Não foi necessário um maior detalhamento do levantamento topobatimétrico, ou seja, apresentação de um menor distanciamento entre os pontos levantados. As informações disponíveis são suficientes para demonstrar toda a representatividade das seções do rio Doce, já contemplando todas as variações bruscas de elevação do fundo do rio. Apresentar o levantamento topobatimétrico de metro em metro não traria maior excelência ao estudo.

Os levantamentos topobatimétricos foram realizados com base no datum SIRGAS 2000, com altitudes do plano geográfico, sendo o meridiano central 45° WGr e fusos 23 e 24 Sul. Os equipamentos e softwares utilizados estão descritos no item 12.1.5.

5.2 Resultados

Nesse capítulo serão apresentados os resultados dos serviços de campo de levantamento das 40 seções complementares solicitadas, que serão utilizadas para a elaboração do Modelo Digital de Terreno (MDT) utilizado no estudo de modelagem hidrodinâmica das cheias naturais do rio Doce entre a UHE Risoleta Neves e a foz. O registro fotográfico de cada uma das seções encontra-se no item 12.1.7.

As figuras a seguir ilustram as 40 seções transversais complementares (SC), pelos gráficos de elevação *versus* distância. Nesses gráficos são apresentados os seguintes elementos: a calha do rio Doce, que será inserida no levantamento topográfico de precisão disponibilizado pela Fundação Renova para elaboração do modelo digital de terreno (MDT) final utilizado na modelagem, além do nível de água no dia do levantamento e a indicação da margem esquerda e margem direita.

Os valores de altitude apresentados são ortométricos. As altitudes geométricas, proporcionadas pelo gps, possuem apenas significado matemático (referenciadas ao elipsóide de referência), no entanto, as altitudes ortométricas são efetivamente utilizadas no estudo. Portanto, as seções

topobatimétricas complementares possuem valores de altitude adequados para utilização em conjunto com o MDT LiDAR e a análise de todas as seções em relação ao MDT é apresentada no item 6.3 deste relatório.

No item 12.1.2 foram disponibilizadas para cada seção, uma tabela, em planilha eletrônica, das cotas e distâncias de cada ponto determinado. Além disso, o item 12.1.4 apresenta os desenhos em planta e perfil das seções em arquivos pdf e dwg. As **Figura 5-2** a **Figura 5-40** ilustram os perfis das seções levantadas.

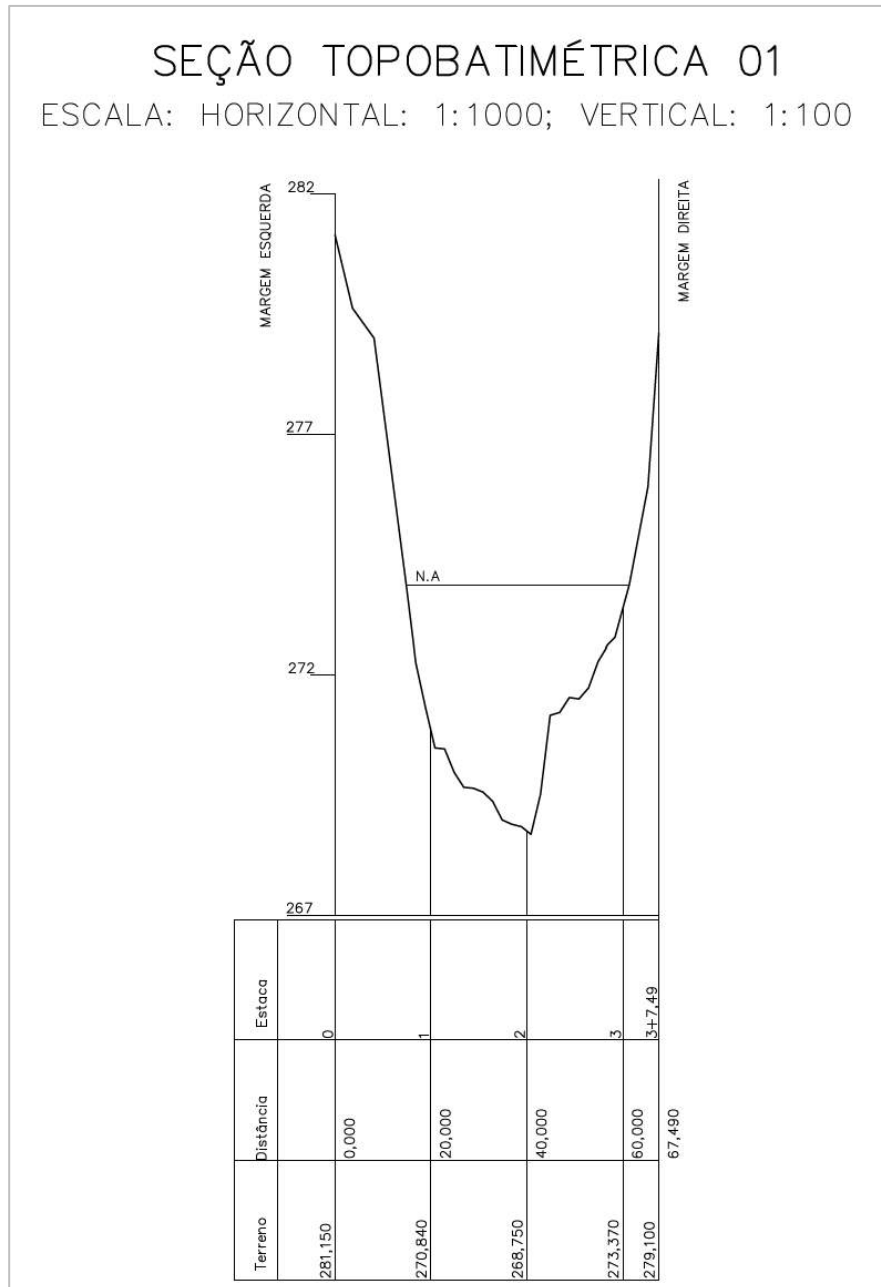


Figura 5-2 – SC-01.

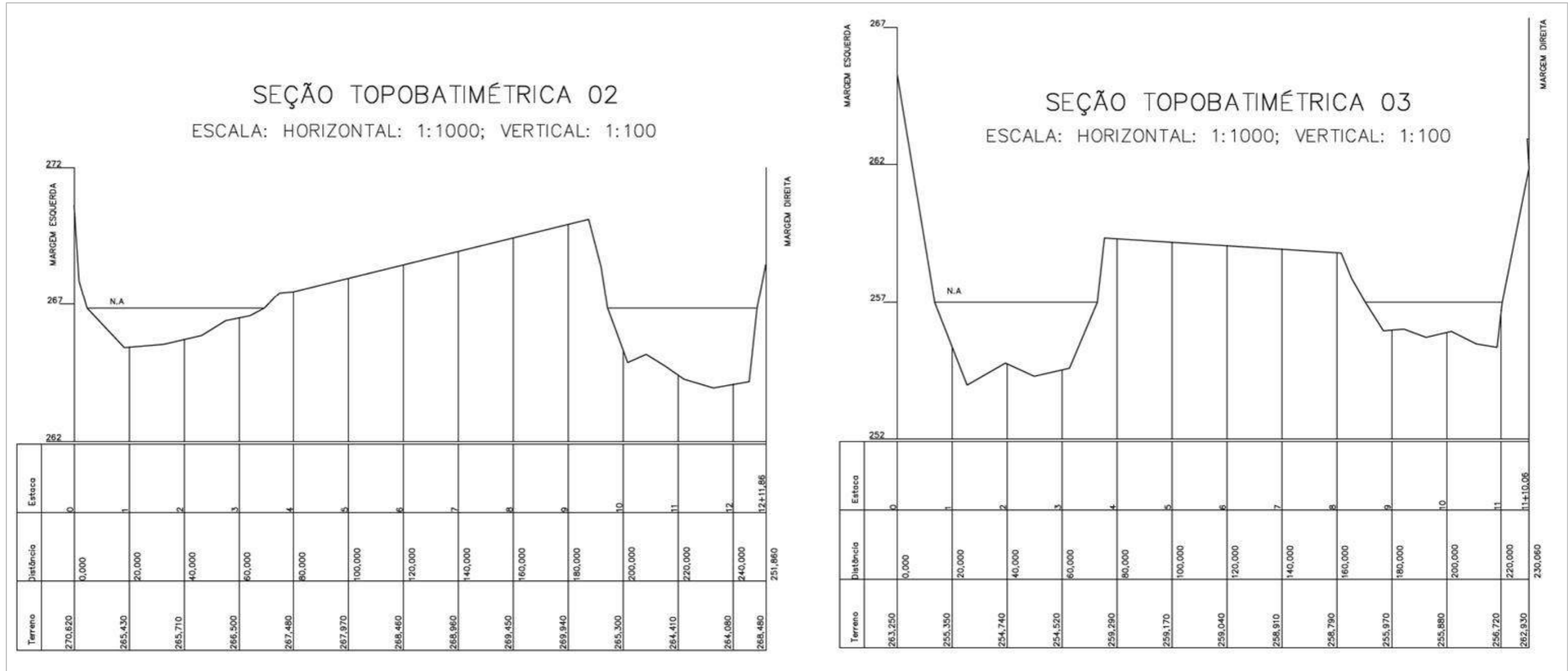


Figura 5-3 – SC-02 e SC-03.

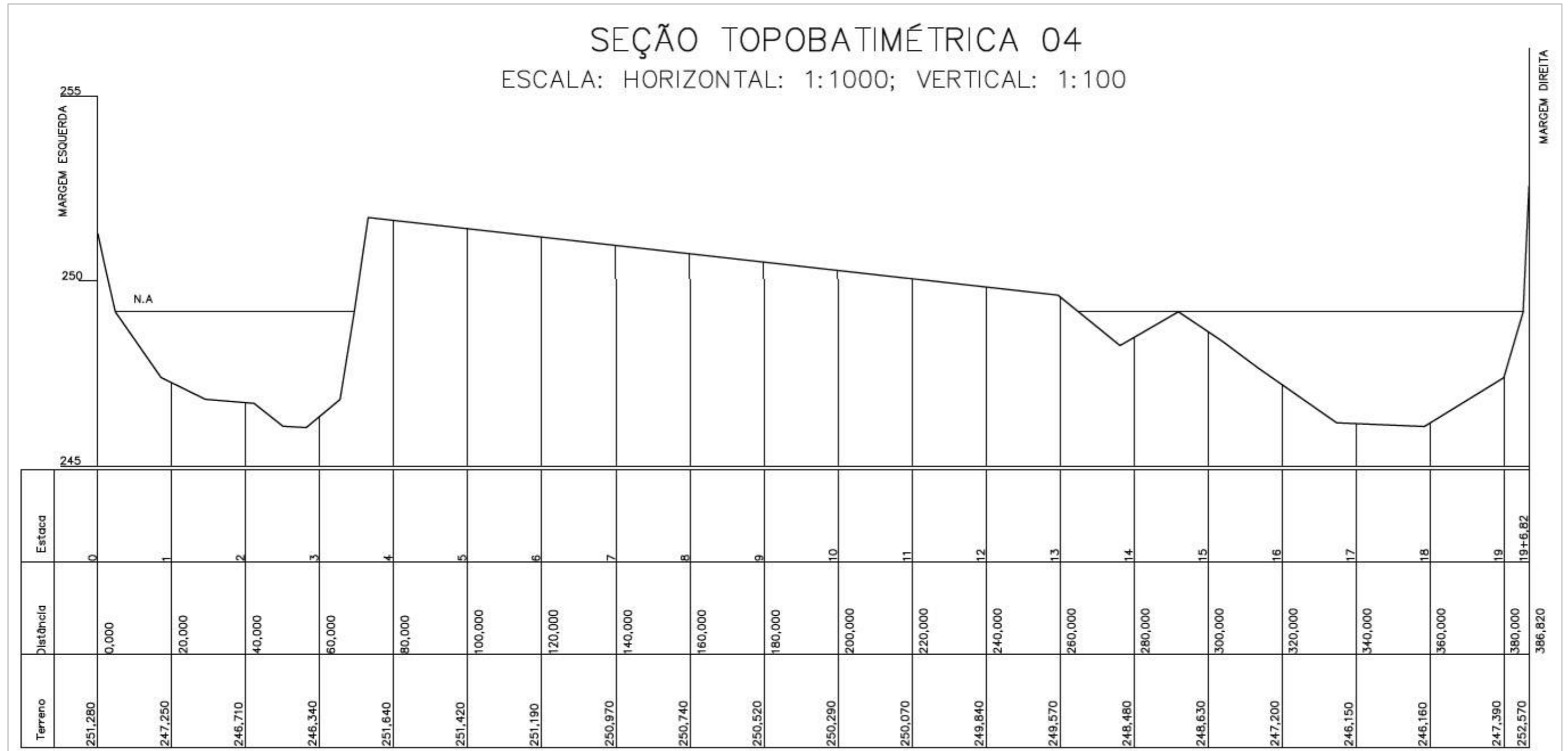


Figura 5-4 – SC-04.

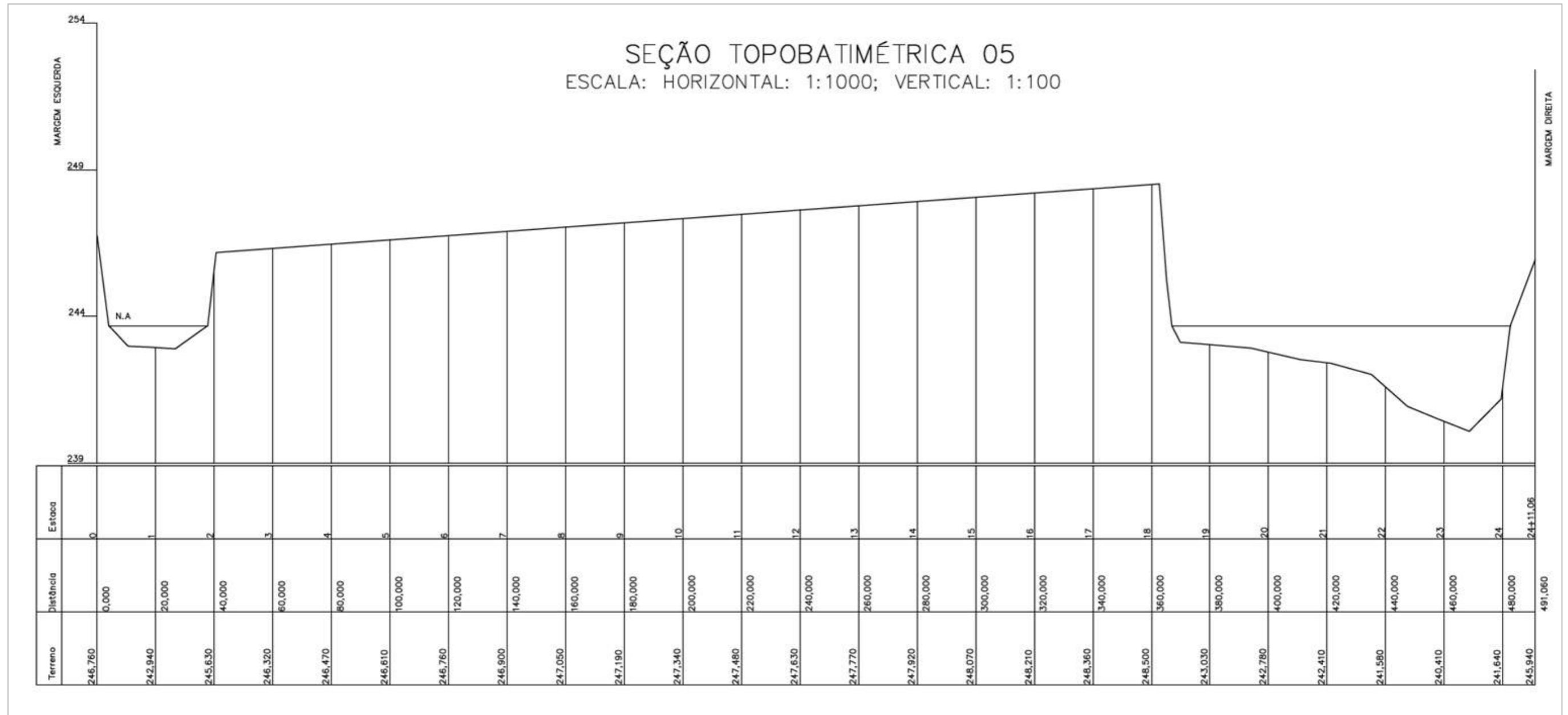


Figura 5-5 – SC-05.

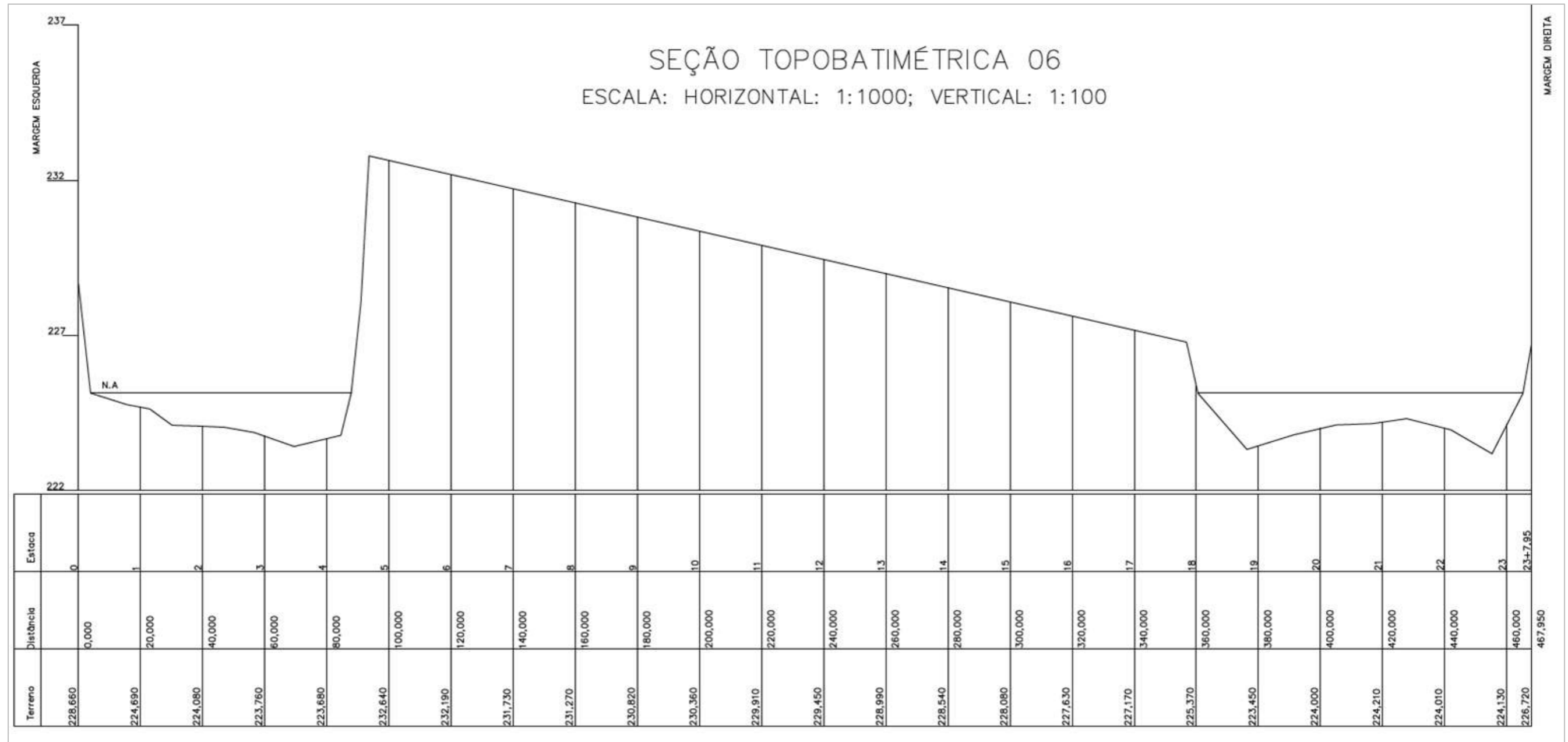


Figura 5-6 – SC-06.

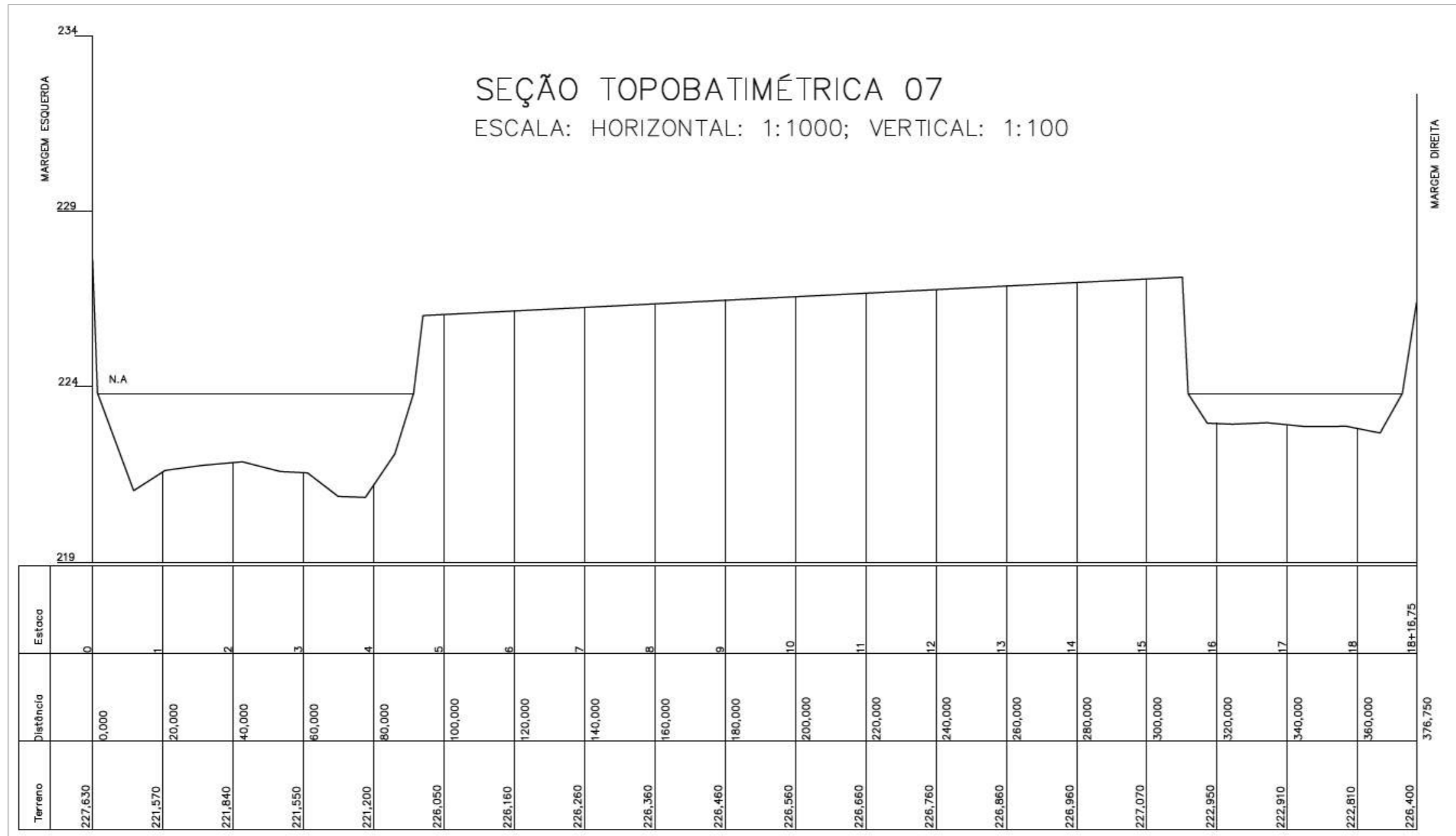


Figura 5-7 – SC-07.

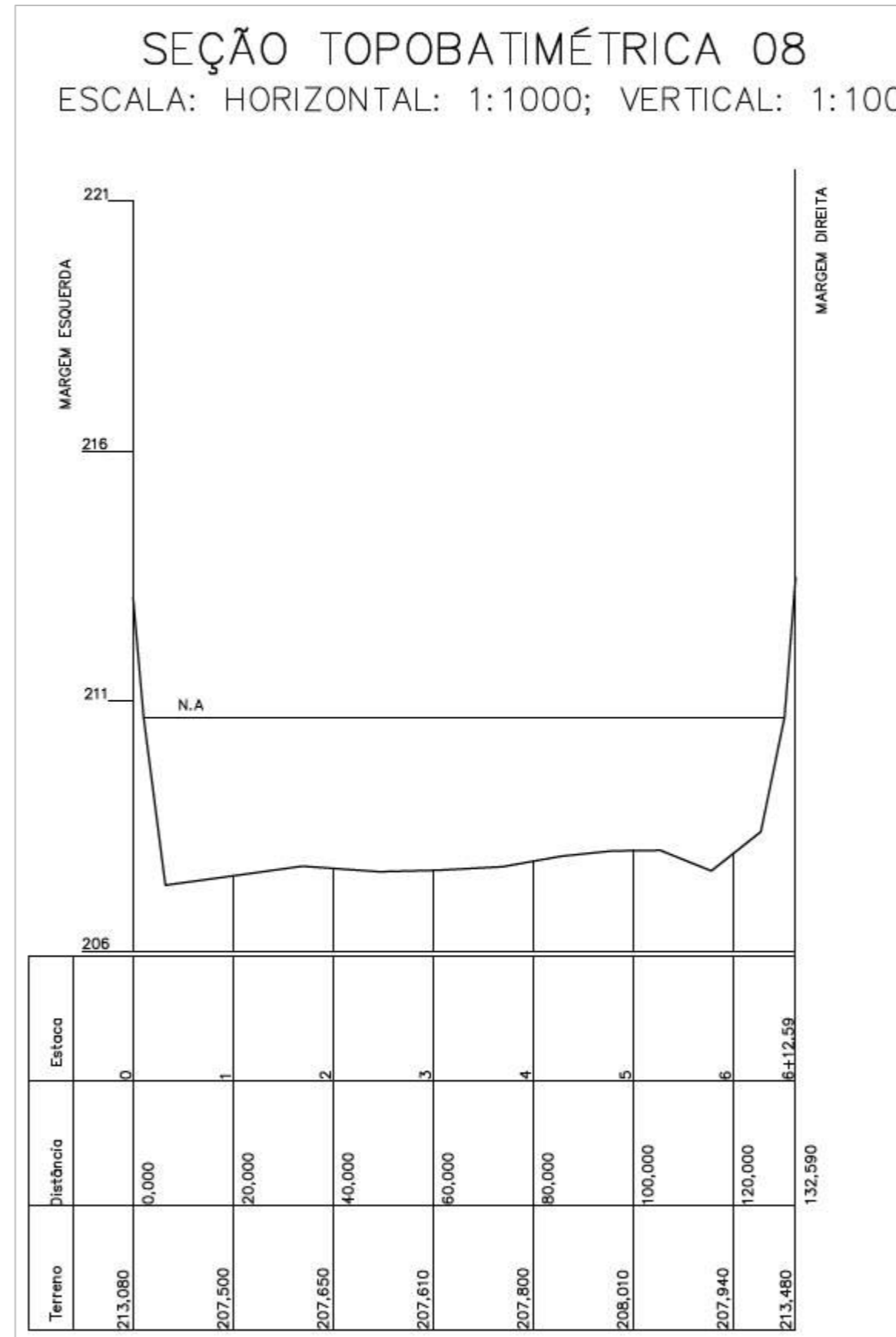


Figura 5-8 – SC-08.

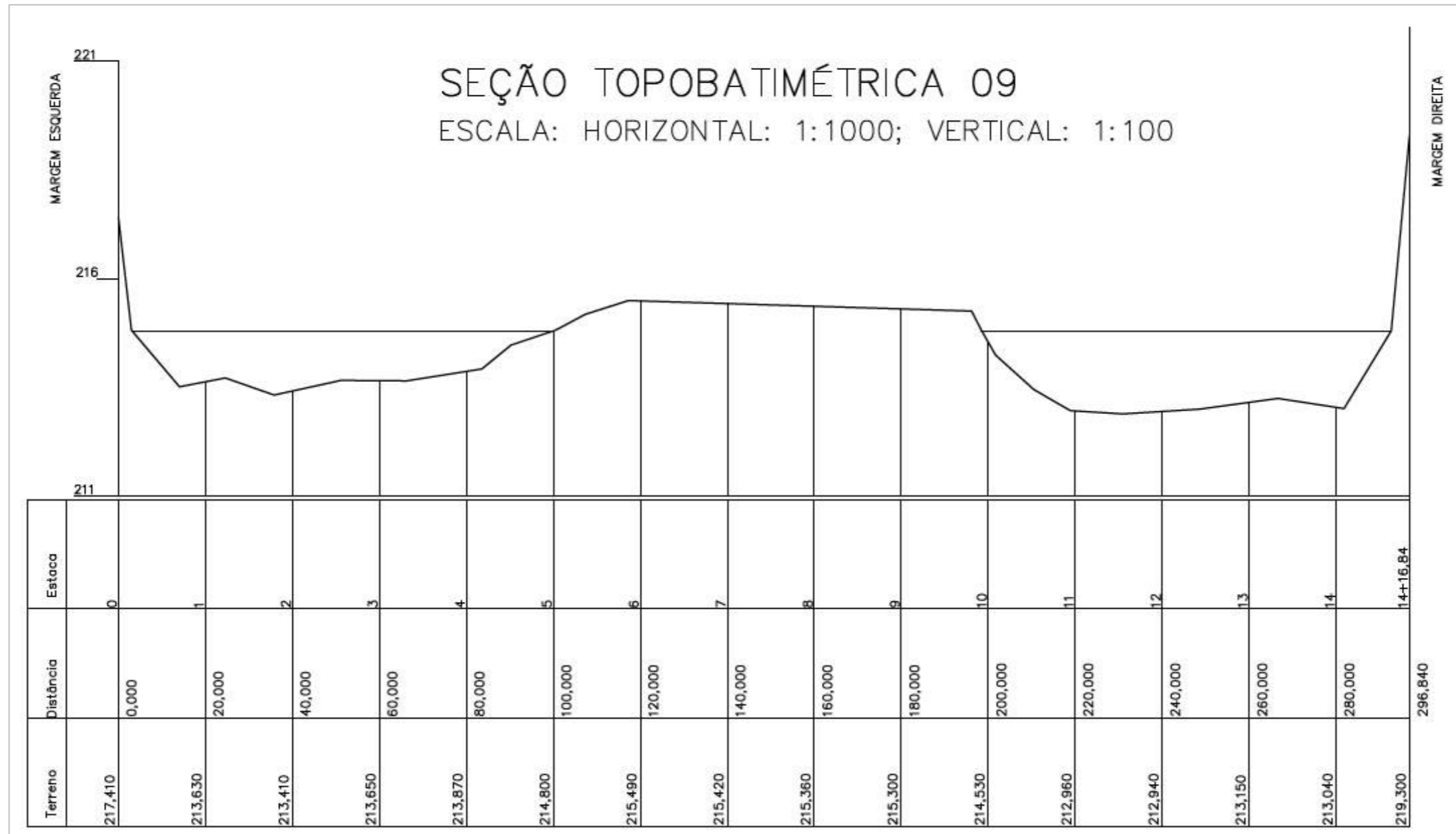


Figura 5-9 – SC-09.

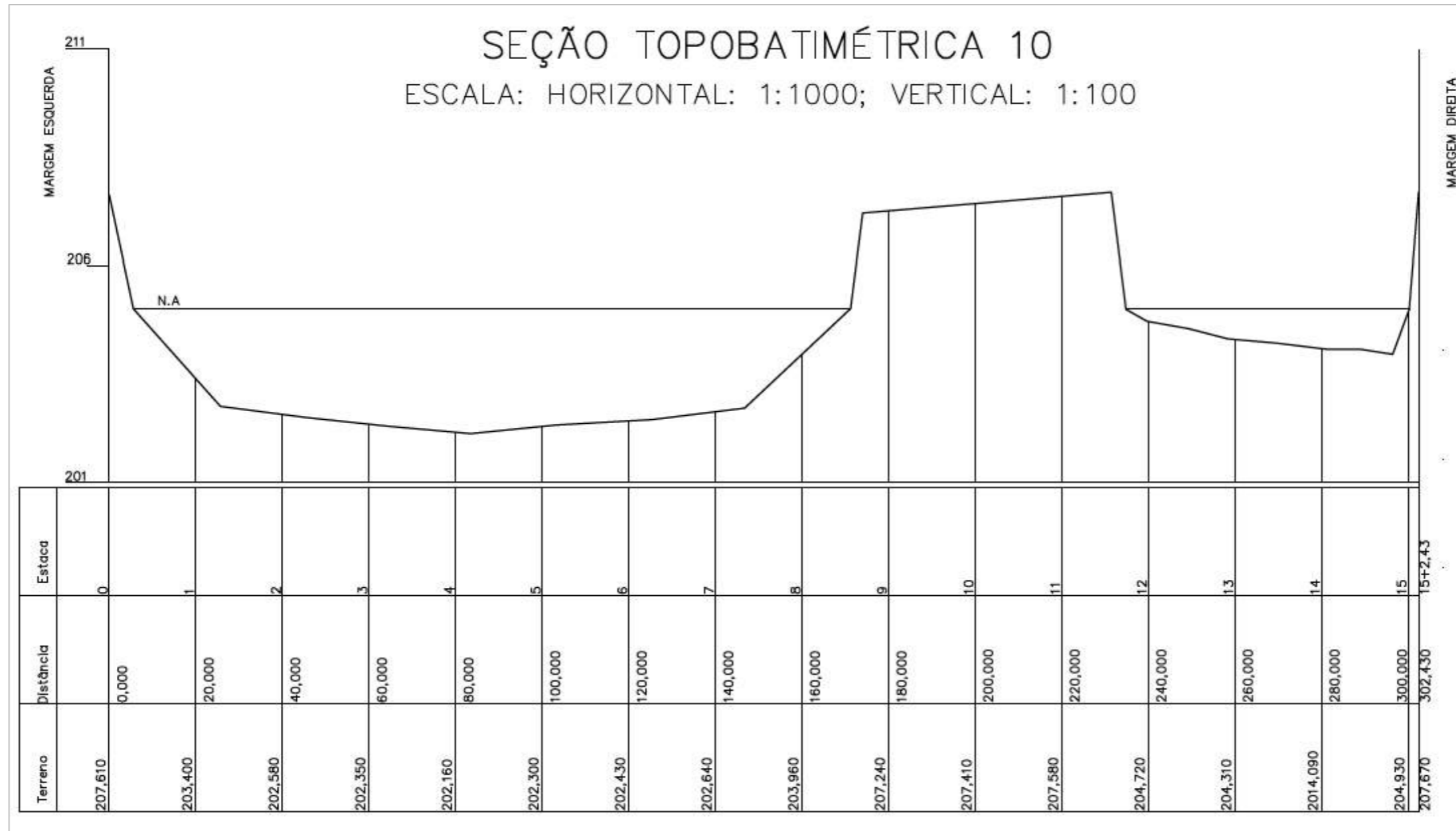


Figura 5-10 – SC-10.

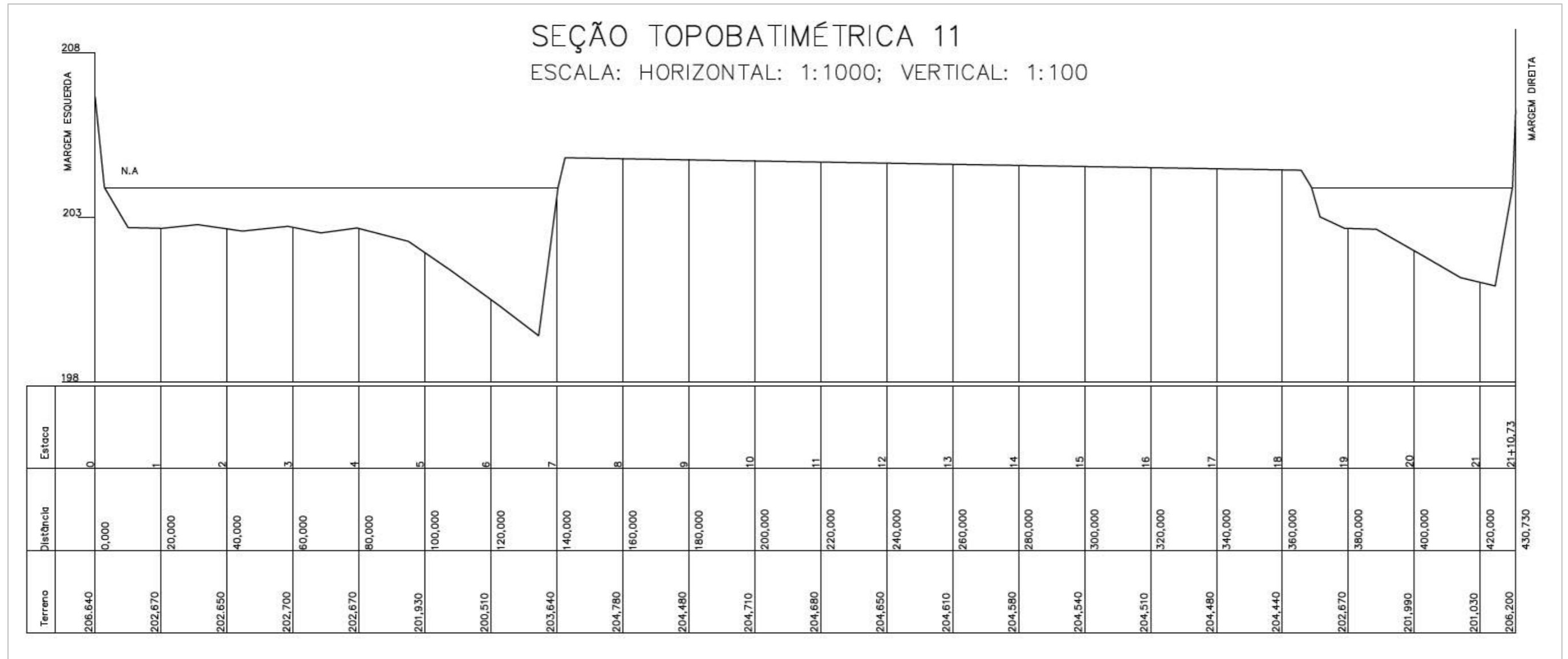


Figura 5-11 – SC-11.

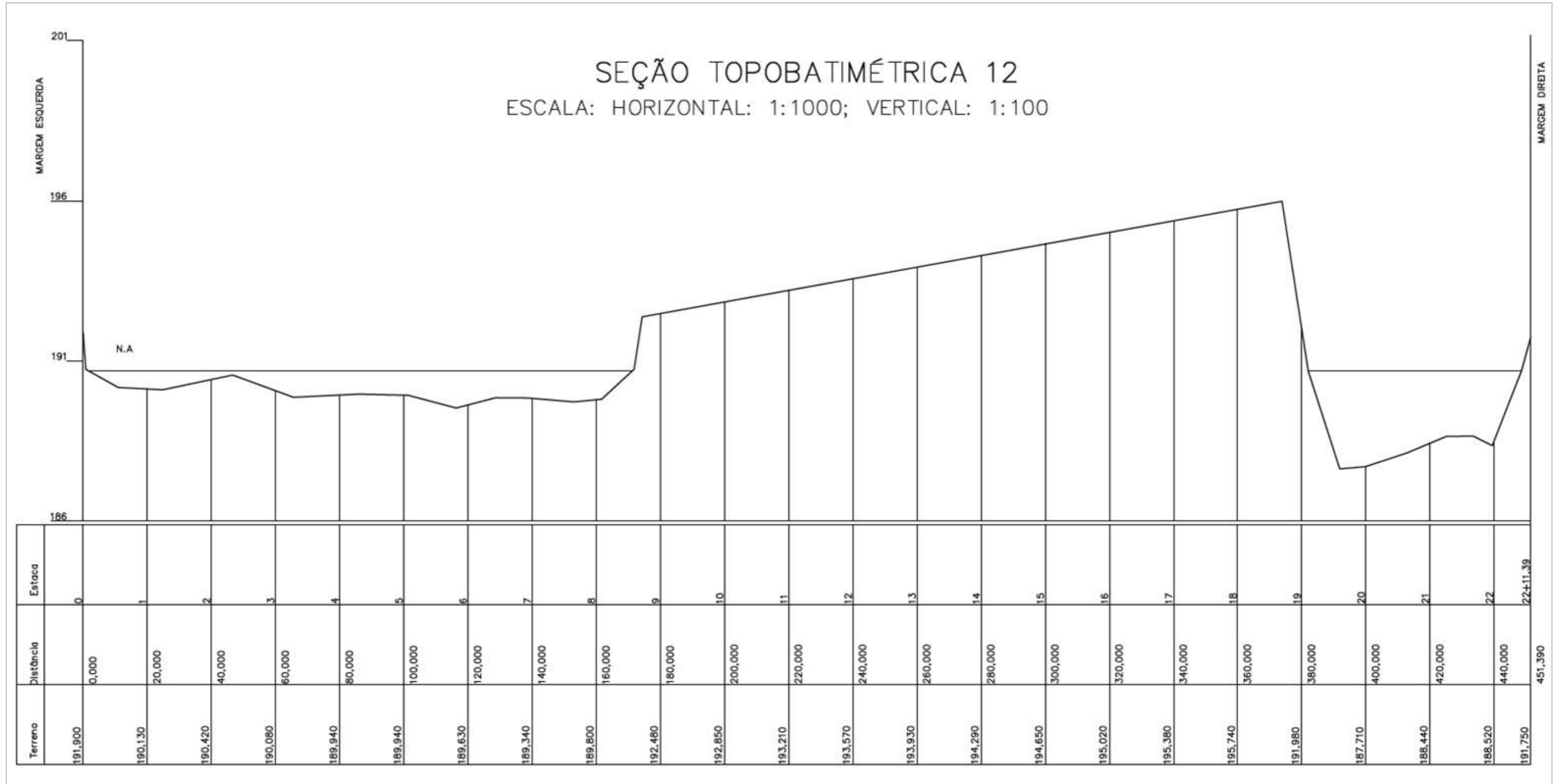


Figura 5-12 – SC-12.

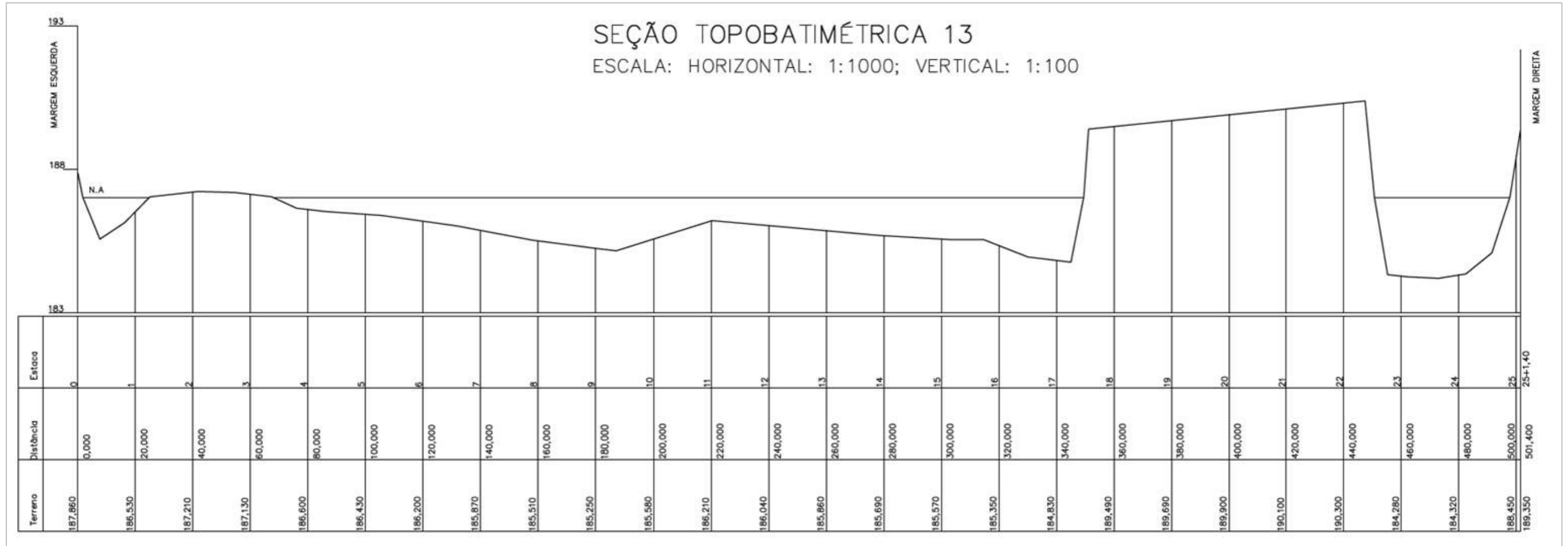


Figura 5-13 – SC-13.

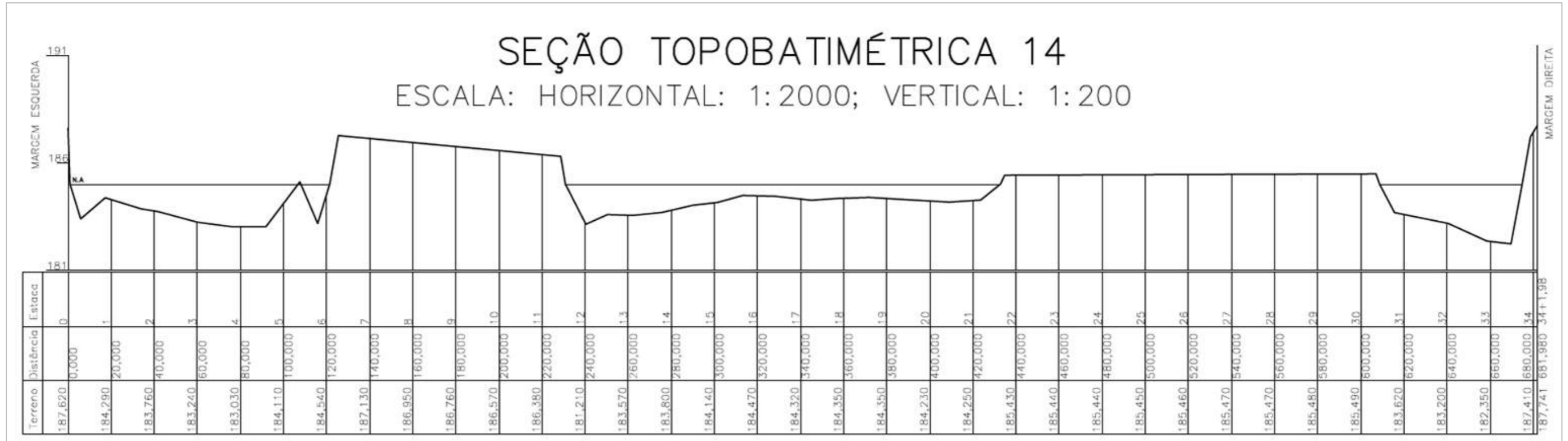


Figura 5-14 – SC-14.

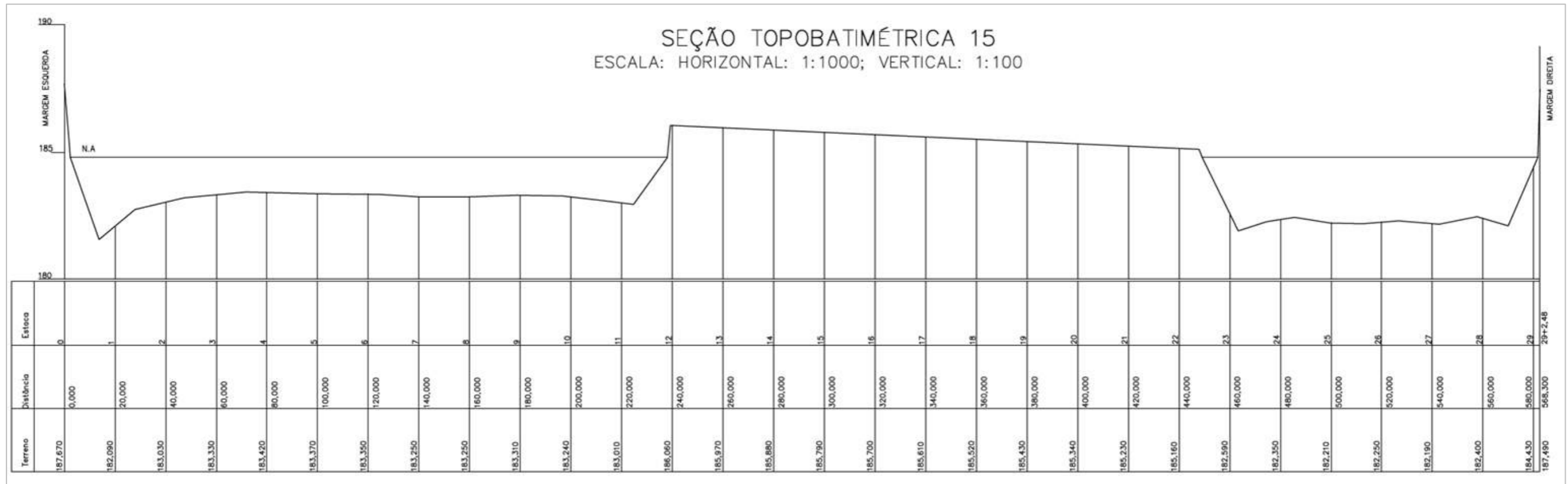


Figura 5-15 – SC-15.

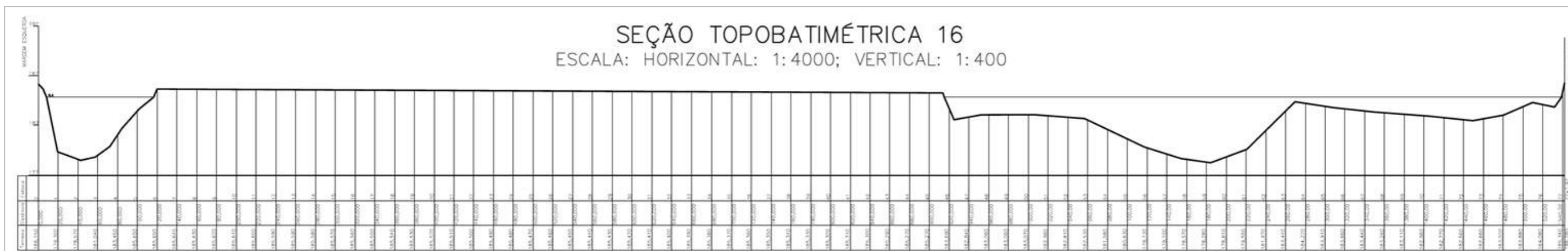


Figura 5-16 – SC-16.

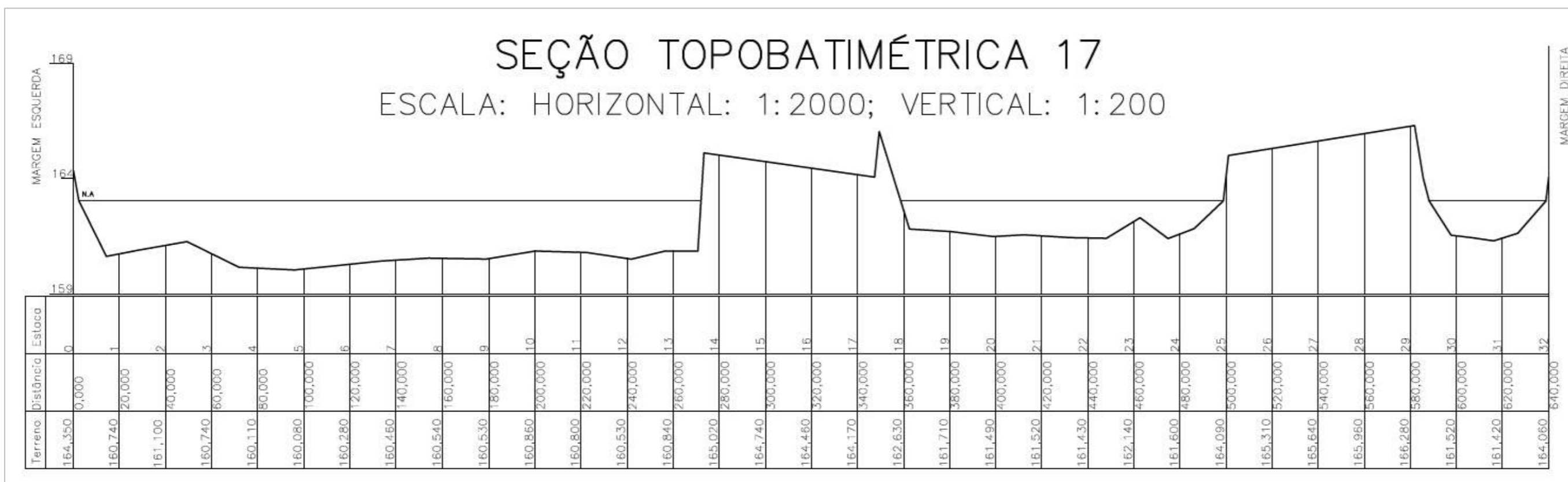


Figura 5-17 – SC-17.

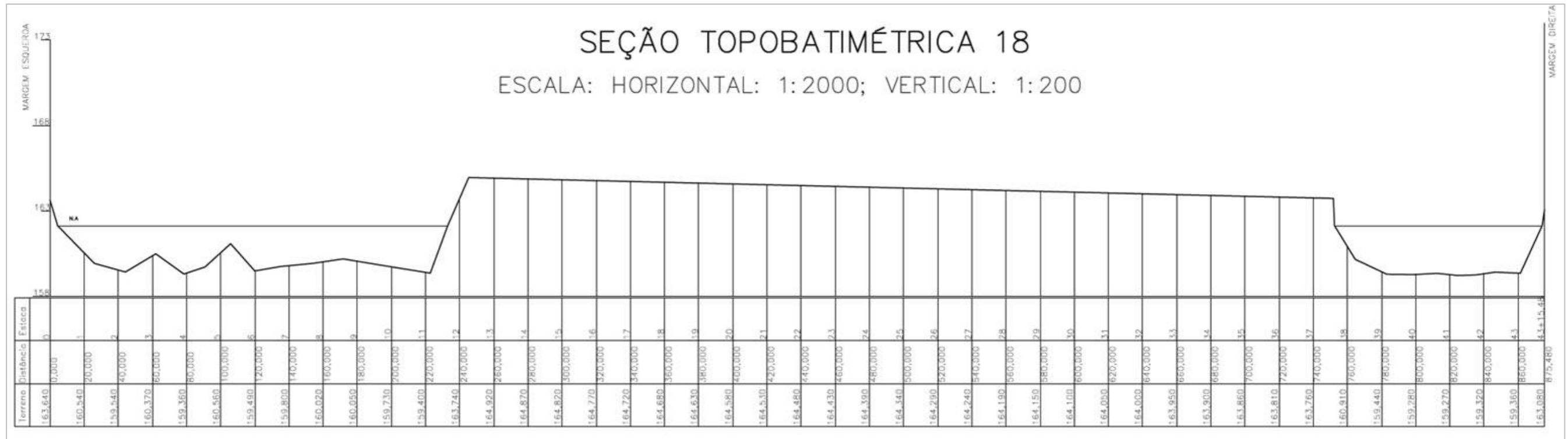


Figura 5-18 – SC-18.

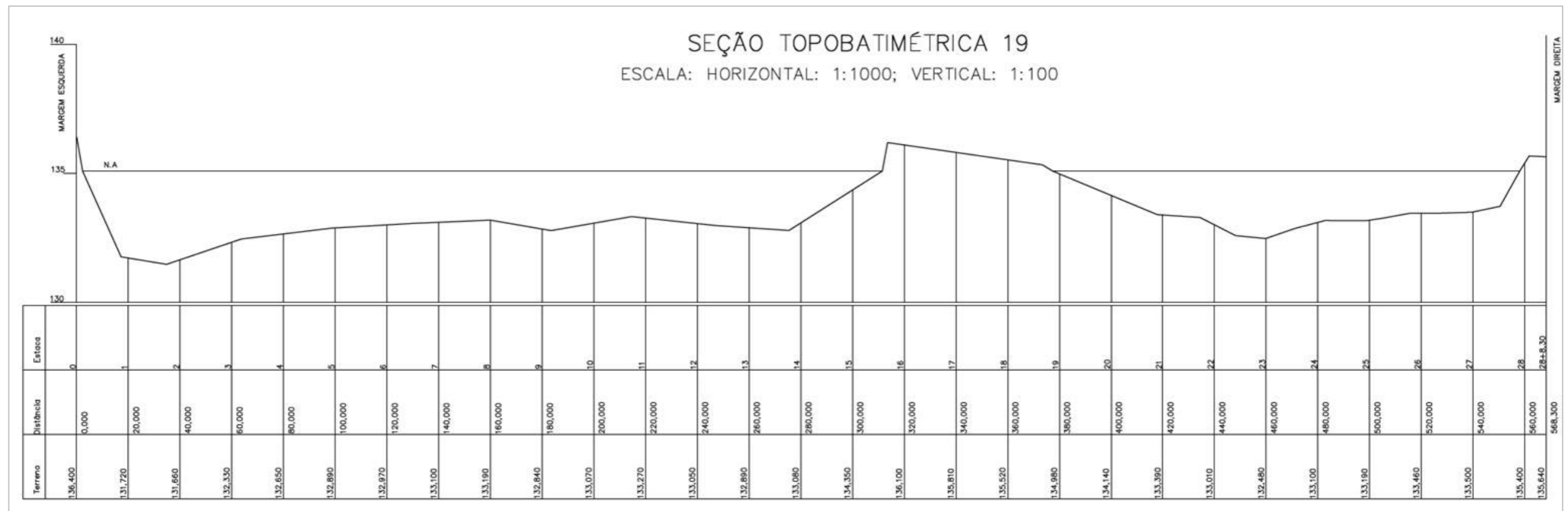


Figura 5-19 – SC-19.

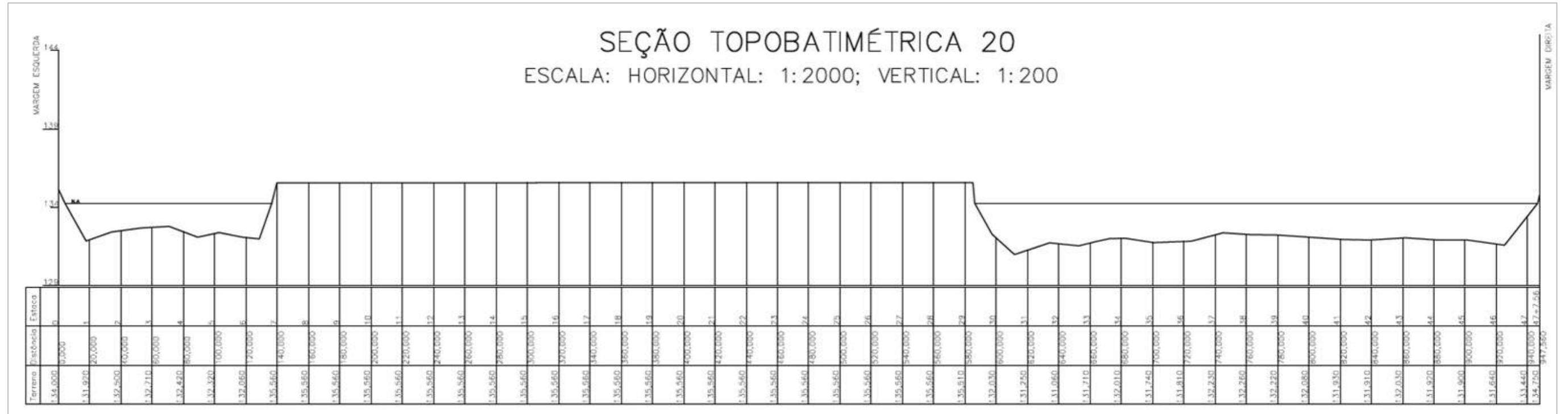


Figura 5-20 – SC-20.

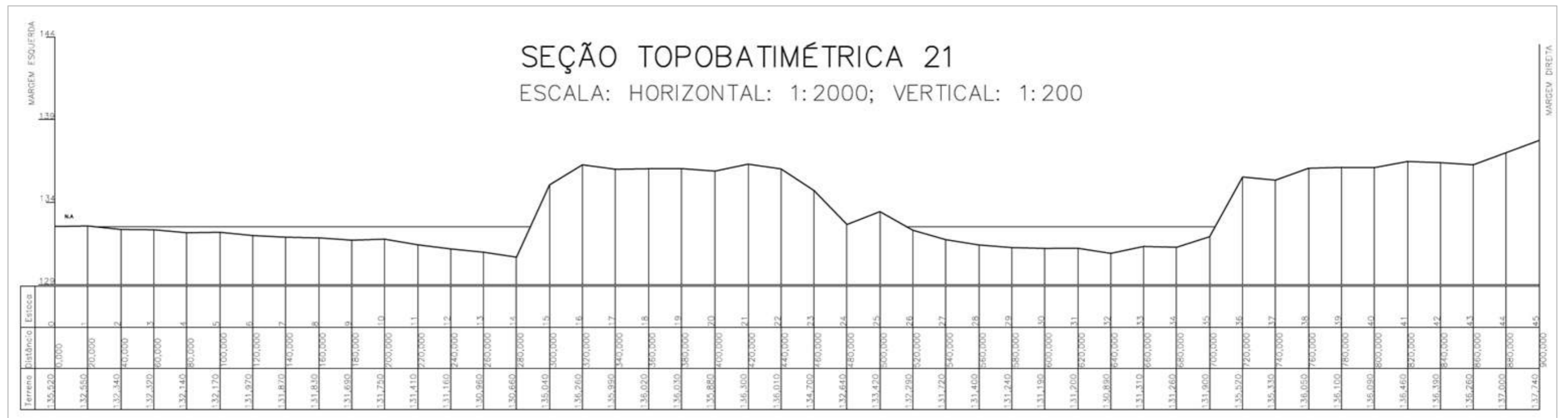


Figura 5-21 – SC-21.

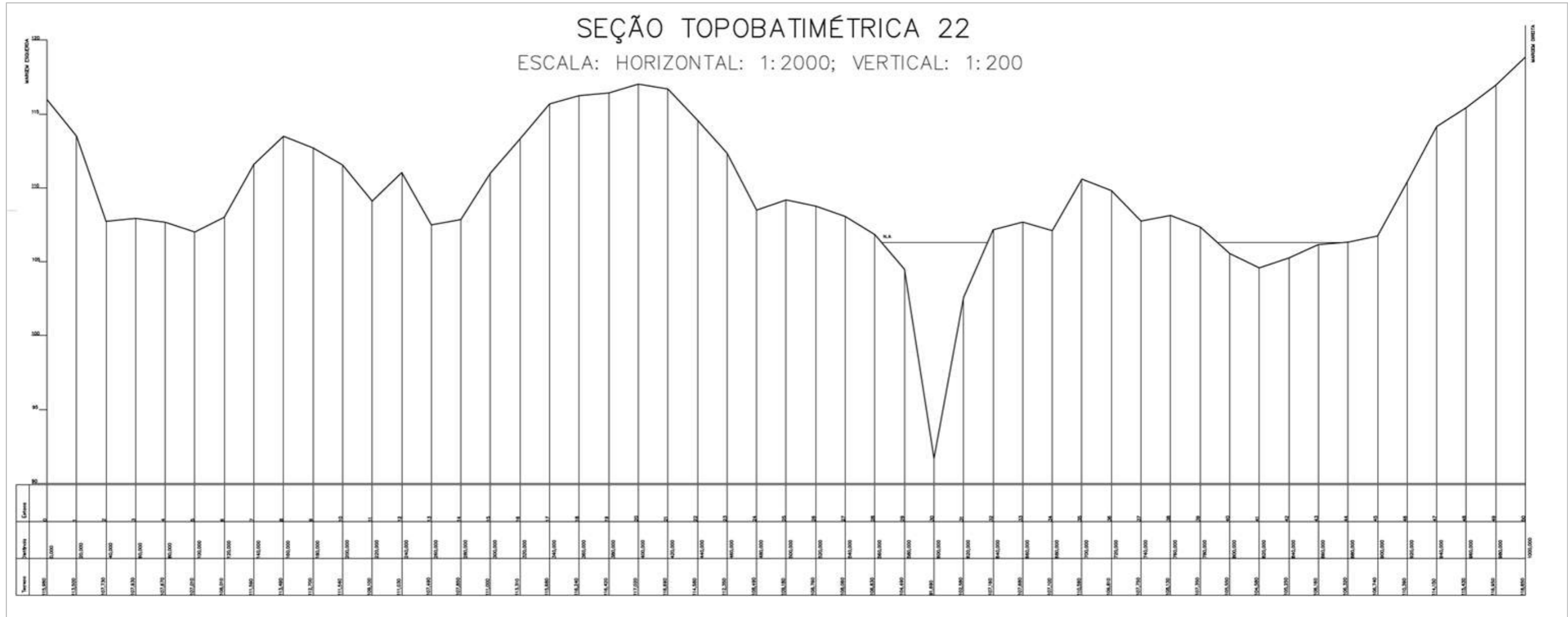


Figura 5-22 – SC-22.

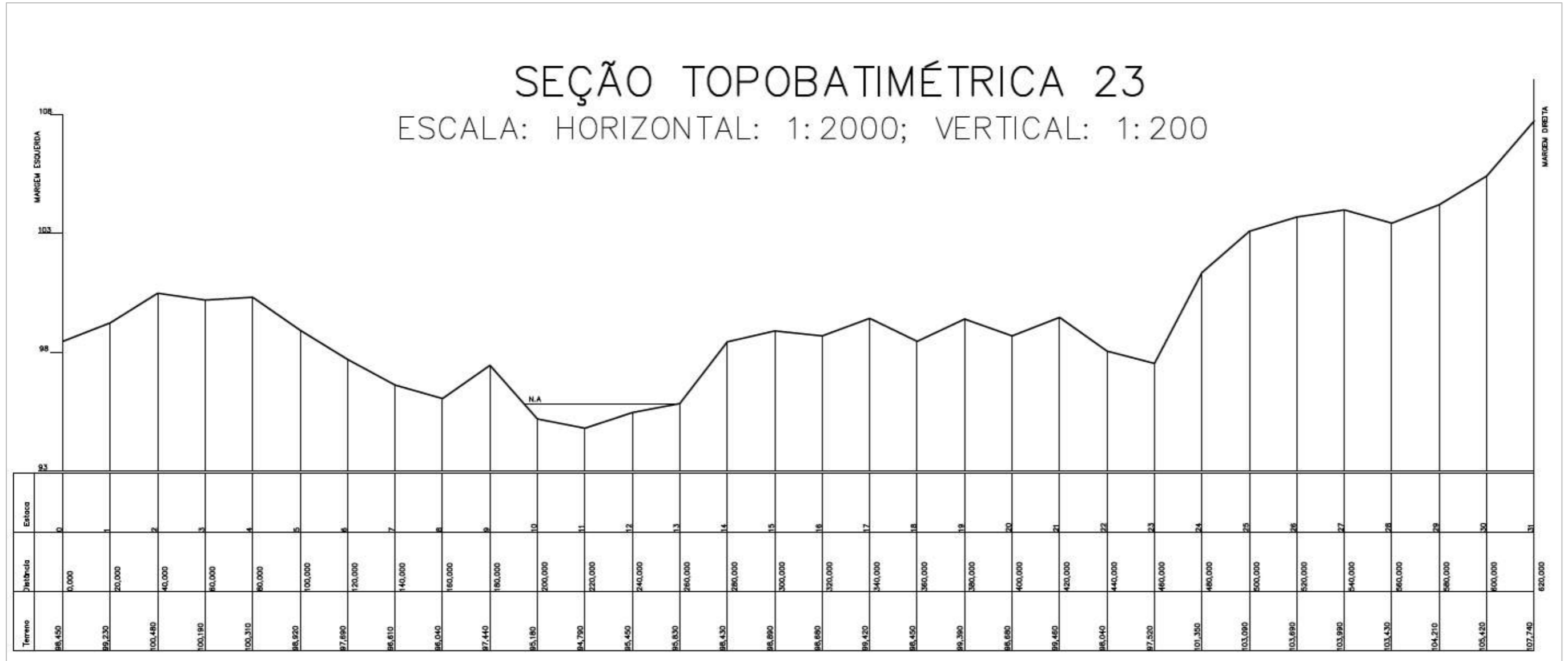


Figura 5-23 – SC-23.

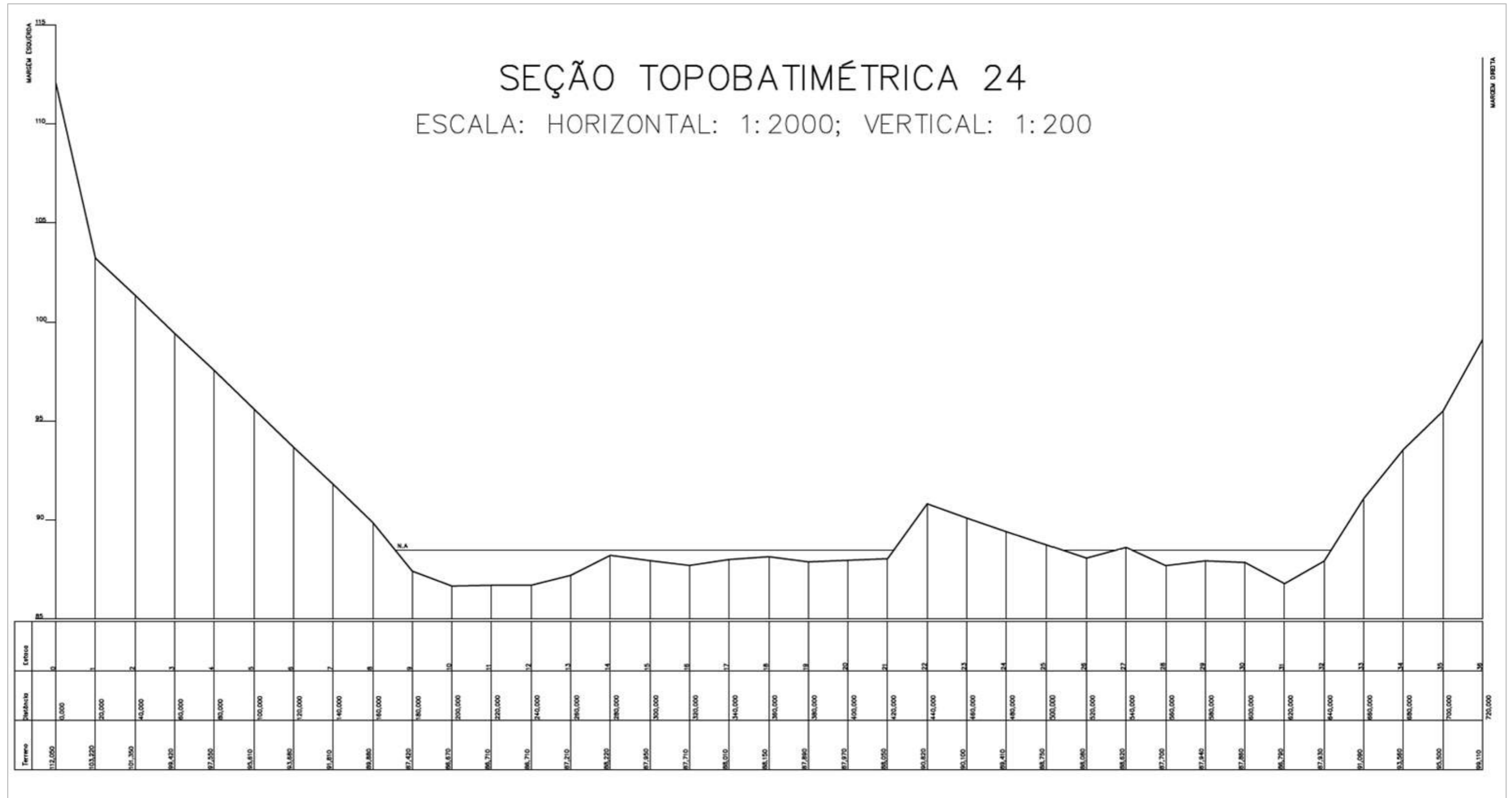


Figura 5-24 – SC-24.

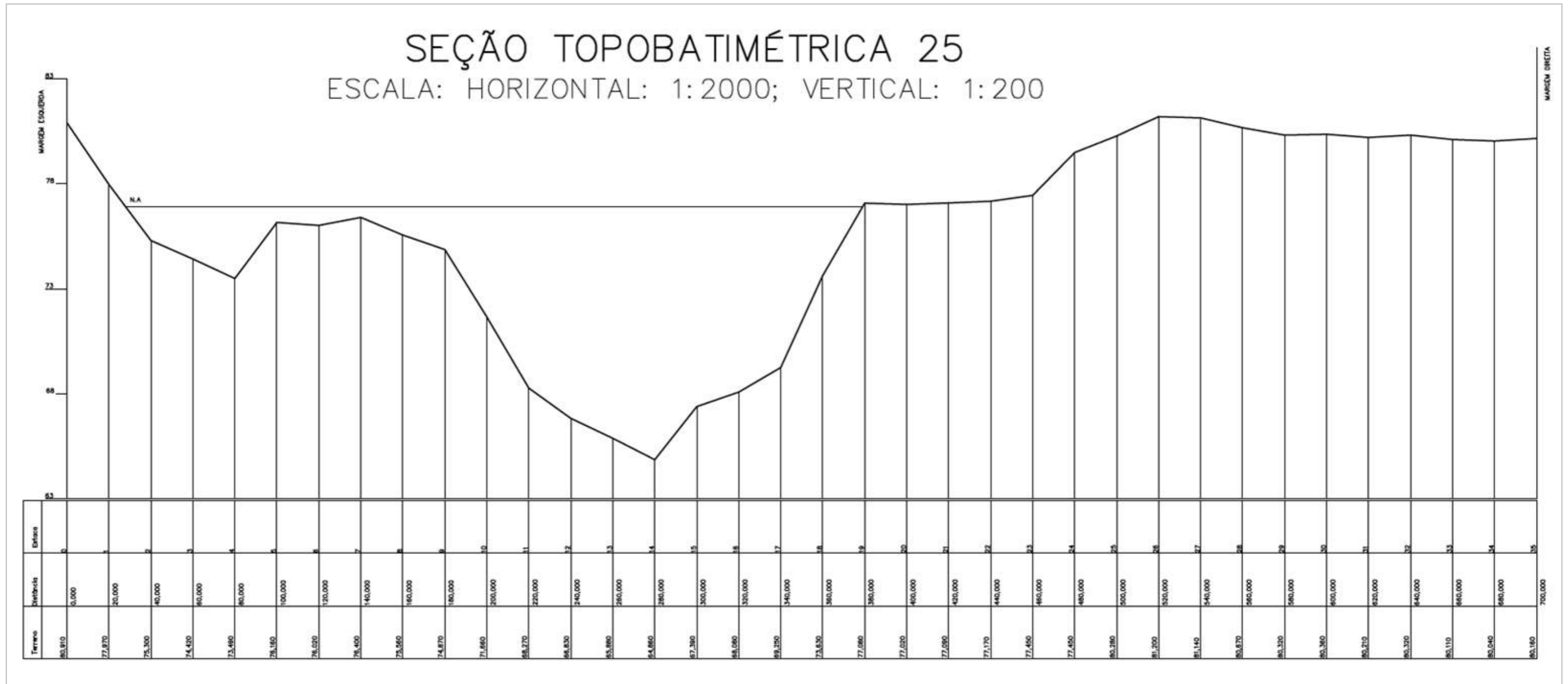


Figura 5-25 – SC-25.

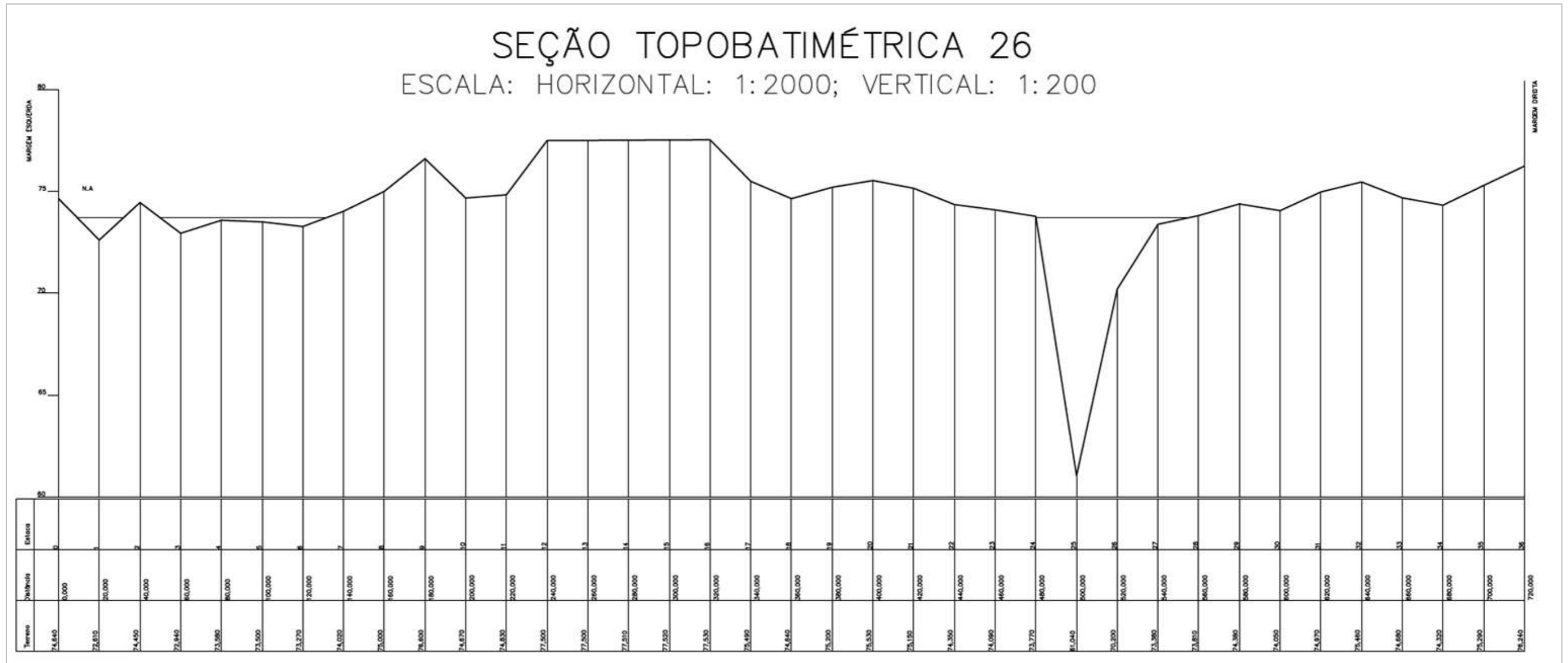


Figura 5-26 – SC-26.

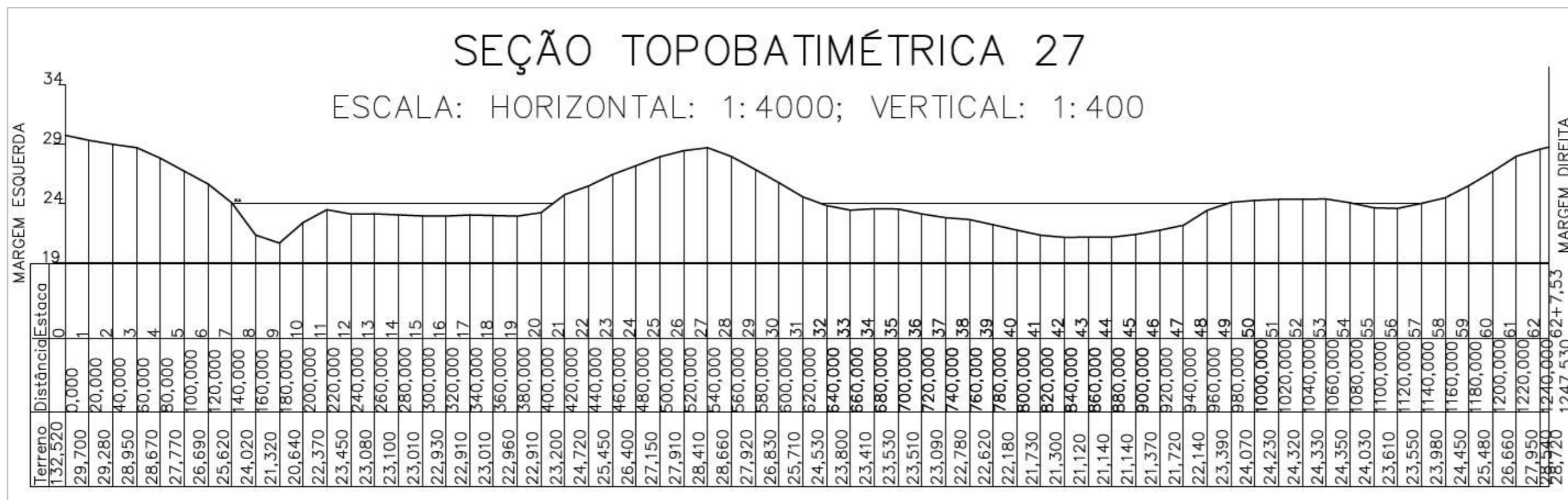


Figura 5-27 – SC-27.

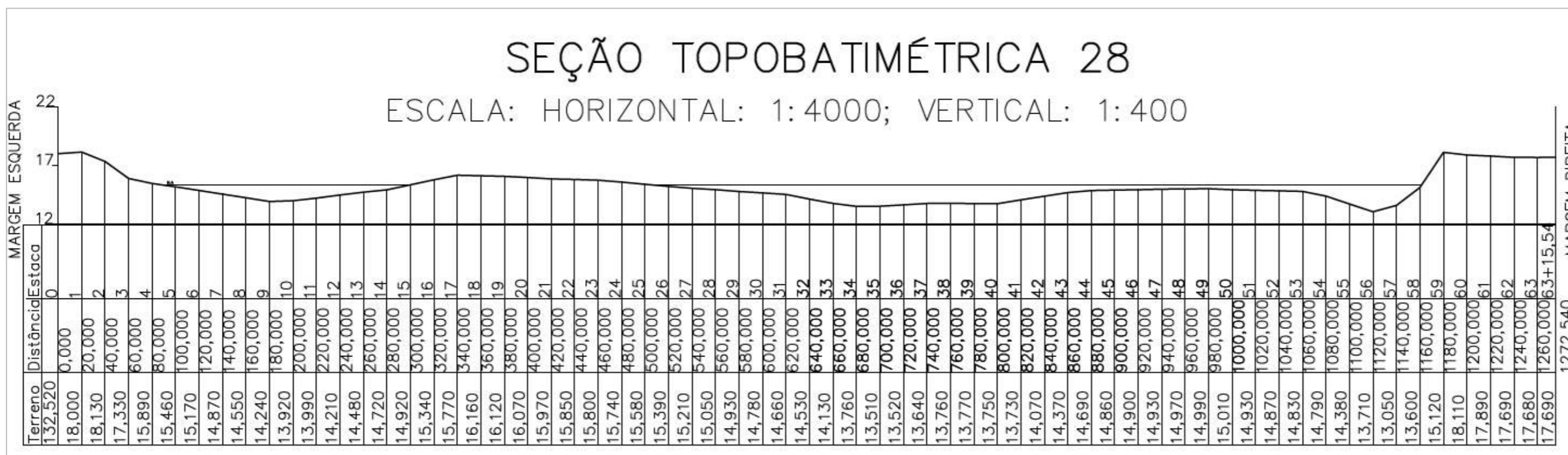


Figura 5-28 – SC-28.

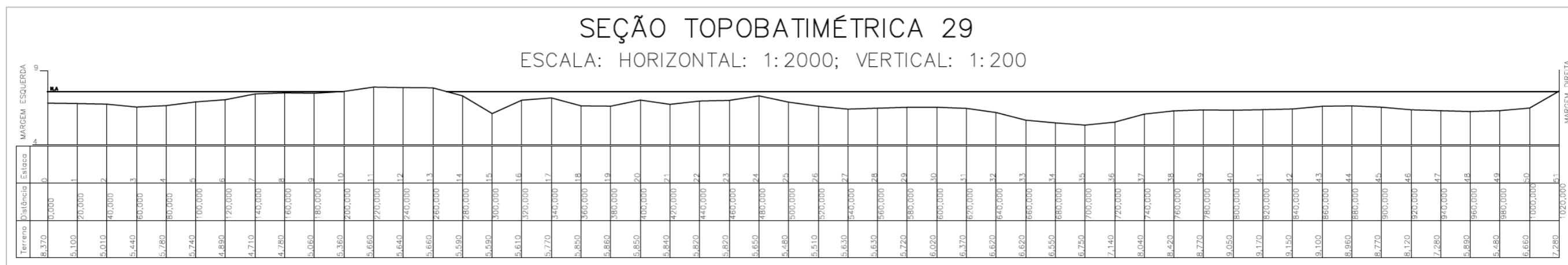
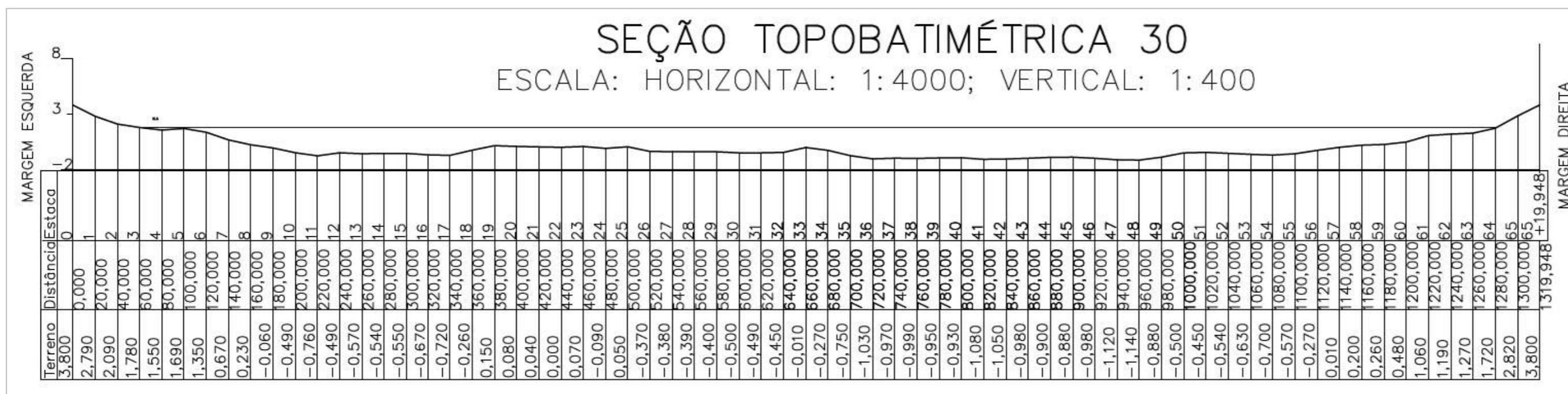


Figura 5-29 – SC-29.



* Essa seção apresenta elevações negativas, pois encontra-se à beira-mar.

Figura 5-30 – SC-30.

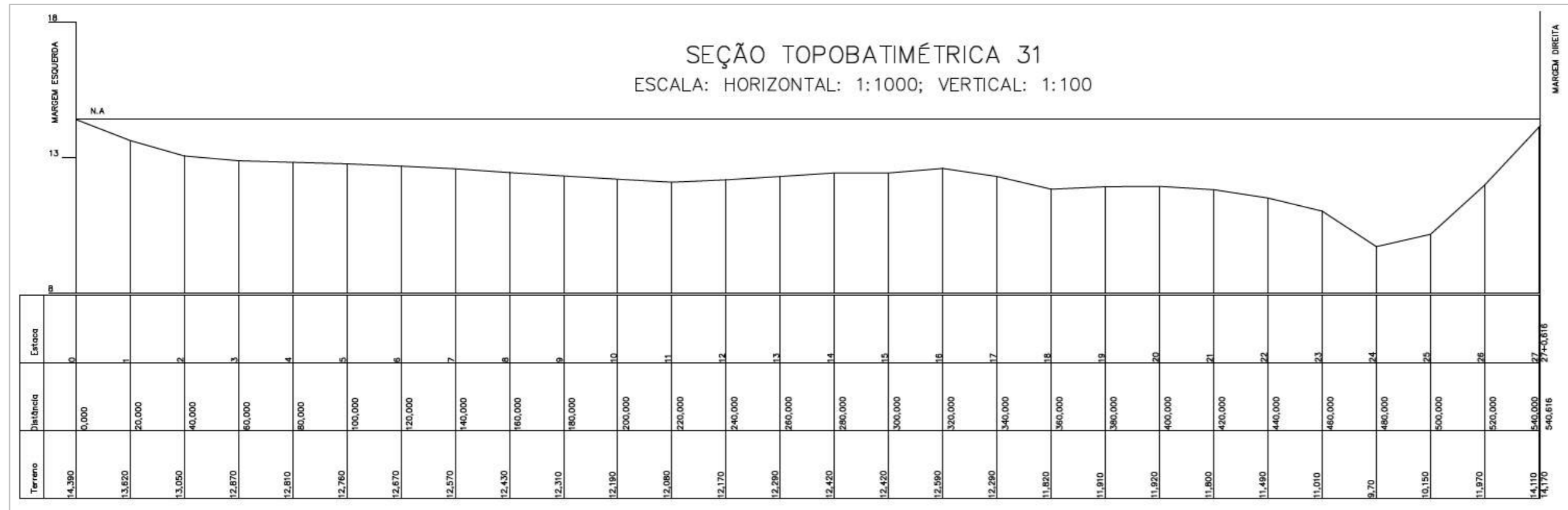


Figura 5-31 – SC-31.

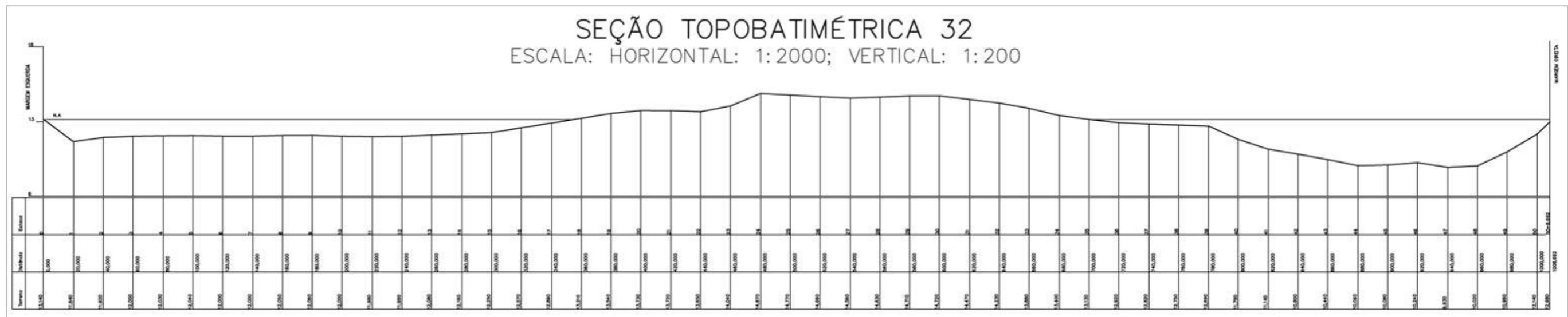


Figura 5-32 – SC-32.

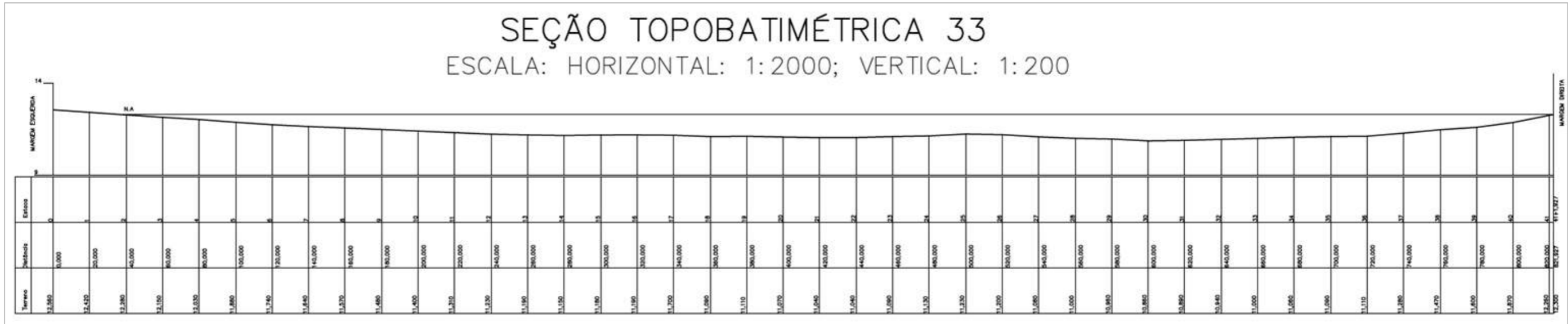


Figura 5-33 – SC-33.



Figura 5-34 – SC-34.

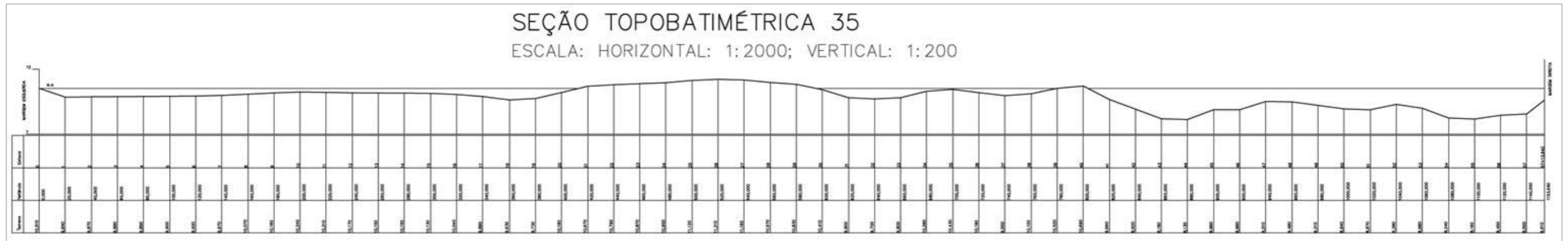


Figura 5-35 – SC-35.

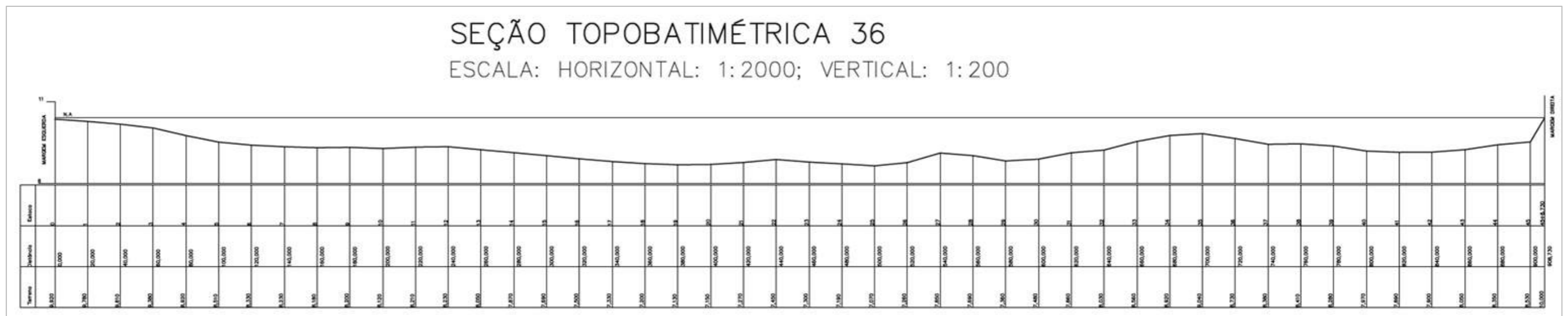


Figura 5-36 – SC-36.

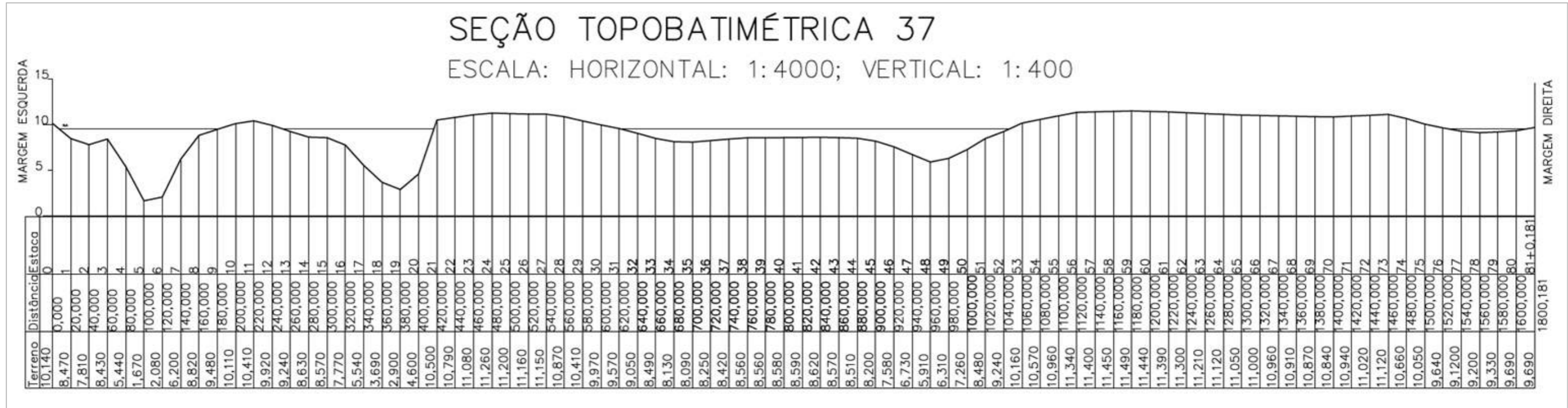


Figura 5-37 – SC-37.

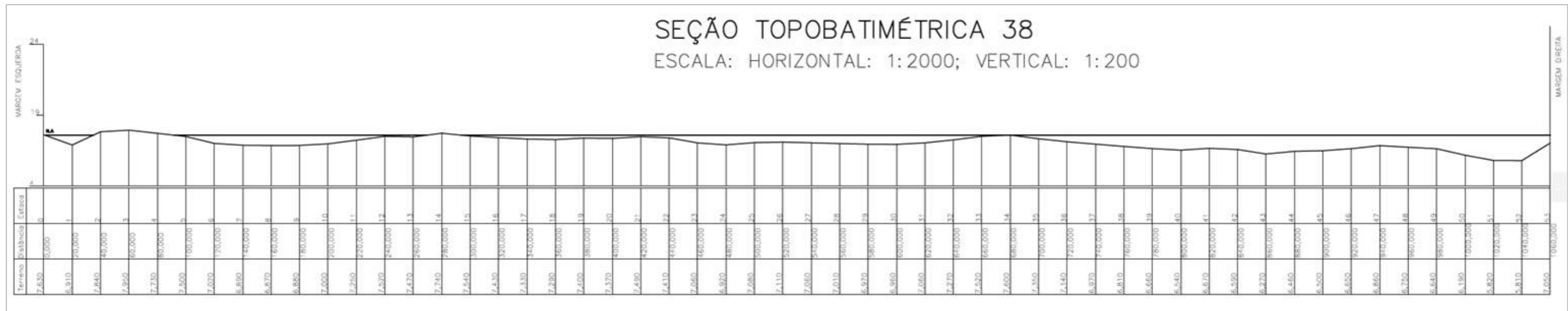


Figura 5-38 – SC-38.

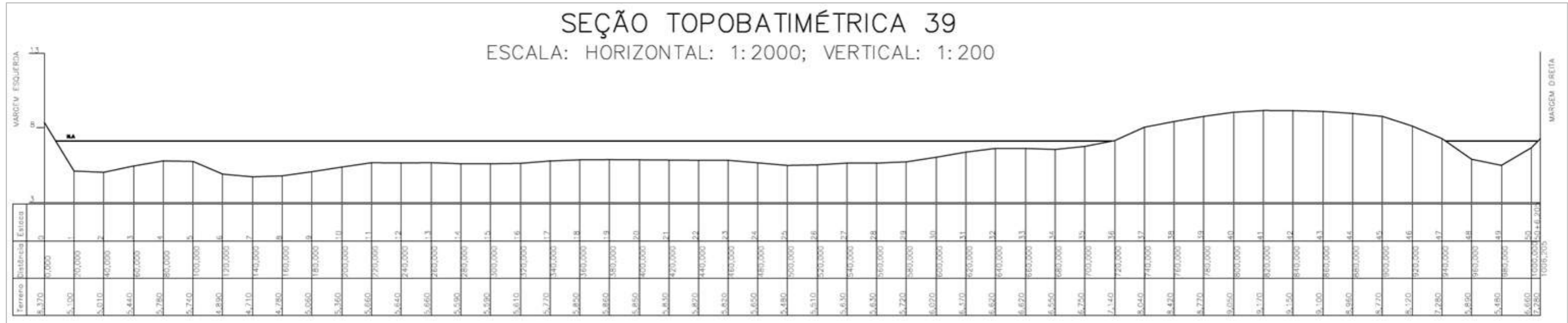


Figura 5-39 – SC-39.

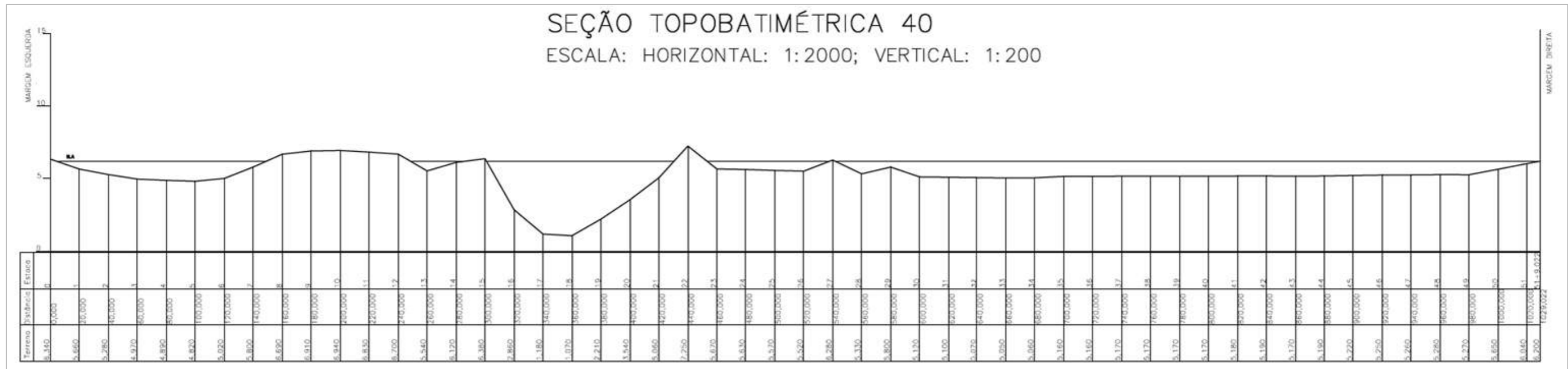


Figura 5-40 – SC-40.

5.2.1 Comparação entre os níveis de água medidos nas seções complementares e níveis de água observados nas estações fluviométricas próximas

Com o objetivo de se avaliar o levantamento das seções topobatimétricas complementares foi realizada a análise comparativa entre os níveis de água medidos nas seções complementares e níveis de água observados nas estações fluviométricas próximas (**Tabela 5-1**). Conforme esperado, para as seções complementares localizadas a jusante de uma estação fluviométrica, o nível de água medido nesta seção é inferior ao NA medido na estação, sendo que o inverso ocorre quando as seções estão localizadas a montante das estações. Esta elevação ou rebaixamento do nível de água se relaciona diretamente com as cotas de fundo das seções sendo que o NA reduz e aumenta de modo proporcional à redução ou aumento da cota do talvegue.

Tabela 5-1 - Comparação entre os níveis de água medidos nas seções complementares e níveis de água observados nas estações fluviométricas próximas

Seção	Data do Levantamento	Estação Fluviométrica	Localização da Estação	NA Seção (m)	NA Estação Fluviométrica Convencional (m)	Dif. (m)	NA Estação Fluviométrica Telemétrica - média diária (m)	Dif. (m)	Cota de Fundo Seção Complementar (m)	Cota de Fundo Estação Fluviométrica (m)	Dif. (m)
SC-3	17/11/2020	Fazenda Cachoeira d'Antas	13,3 km a jusante da seção complementar	257,0	251,2	5,7	-	-	254,0	249,7	4,3
SC-4	18/11/2020	Fazenda Cachoeira d'Antas	11,8 km a montante da seção complementar	249,2	251,4	-2,2	-	-	246,0	249,7	-3,6
SC-5	23/11/2020	Cachoeira dos Óculos Montante	13,3 km a jusante da seção complementar	243,7	236,8	6,8	236,9	6,8	240,1	235,1	4,9
SC-6	25/11/2020	Cachoeira dos Óculos Montante	11,4 km a montante da seção complementar	225,1	236,8	-11,6	236,8	-11,6	223,2	235,1	-11,9
SC-11	26/11/2020	Belo Oriente	10,3 km a jusante da seção complementar	203,9	200,4	3,5	200,3	3,6	199,4	198,4	1,0
SC-12	30/11/2020	Belo Oriente	9,0 km a montante da seção complementar	190,7	200,3	-9,6	200,2	-9,5	187,6	198,4	-10,7

Seção	Data do Levantamento	Estação Fluviométrica	Localização da Estação	NA Seção (m)	NA Estação Fluviométrica Convencional (m)	Dif. (m)	NA Estação Fluviométrica Telemétrica - média diária (m)	Dif. (m)	Cota de Fundo Seção Complementar (m)	Cota de Fundo Estação Fluviométrica (m)	Dif. (m)
SC-18	19/12/2020	Governador Valadares	11,9 km a jusante da seção complementar	162,1	-	-	153,7	8,4	159,2	152,1	7,1
SC-19	10/12/2020	Governador Valadares	28,4 km a montante da seção complementar	135,1	-	-	154,2	-19,1	131,5	152,1	-20,6
SC-21	2/12/2020	Tumiritinga	7,3 km a jusante da seção complementar	132,5	-	-	-	-	130,7	127,3	3,3
SC-22	4/12/2020	Tumiritinga	41,9 km a montante da seção complementar	106,3	-	-	-	-	91,7	127,3	-35,6
SC-26	11/12/2020	Colatina	51,9 km a jusante da seção complementar	73,7	33,0	40,8	33,3	40,4	61,0	30,6	30,5
SC-27	6/12/2020	Colatina	33,4 km a montante da seção complementar	24,0	32,1	-8,1	32,4	-8,4	20,6	30,6	-9,9

6 ELABORAÇÃO DO MODELO DIGITAL DE TERRENO-MDT

A partir dos dados da topografia LiDAR, disponibilizada pela Fundação Renova, topografia do IEMA, das batimetrias dos reservatórios das usinas hidrelétricas e das seções topobatimétricas mencionadas nos itens acima elaborou-se o modelo digital de terreno (MDT) que foi utilizado na modelagem das cheias naturais do rio Doce.

O processo de elaboração do modelo digital de terreno (MDT) consiste em 9 etapas:

1. Conversão dos arquivos vetoriais de curvas de nível da topografia LiDAR, disponibilizadas pela Fundação Renova, em arquivos matriciais do tipo Geotiff (exceto para a modelagem bidimensional do trecho 16);
2. Consolidação dos dados de distância e elevação das seções das seções topobatimétricas;
3. Compatibilização entre topografia LiDAR e seções topobatimétricas;
4. Inserção da batimetria do rio Doce com auxílio do software HEC-RAS v. 5.07;
5. Inserção da batimetria dos reservatórios das usinas hidrelétricas Baguari, Aimorés e Mascarenhas;
6. Identificação das ilhas fluviais e barras arenosas presentes no trecho;
7. Tratamento do Modelo Digital de Elevação disponibilizado pelo Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo – IEMA;
8. Análise dos canais de drenagem e lagoas no trecho compreendido entre a sede municipal de Linhares e foz;
9. Elaboração de um modelo digital de terreno único com a junção das topografias LiDAR, IEMA, batimetrias do rio e reservatórios em questão.

Para a simulação unidimensional do trecho T13 a T16 e simulações bidimensionais dos municípios de Ipatinga, Governador Valadares, Aimorés, Baixo Guandu e Colatina (sede e distrito de Itapina), o MDT elaborado contemplou as etapas 1 a 6 e etapa 9. Para a simulação bidimensional do trecho T16 (entre Linhares e a foz do rio Doce), o MDT elaborado contemplou as etapas 2 a 9, já que neste caso partiu-se diretamente do arquivo matricial tipo Geotiff originado de nuvem de pontos do mesmo método LiDAR.

6.1 Etapa 1 - Conversão de curvas de nível em arquivos Geotiff

A topografia que será utilizada na modelagem foi disponibilizada pela Fundação Renova, datada de 2019, com resolução espacial aproximada de 1 metro, gerada a partir da tecnologia *Light Detection and Ranging* – LiDAR. Esse dado foi considerado o mais apropriado ao estudo em razão tanto da resolução, quanto da abrangência, uma vez que possui alta resolução espacial em todo trecho estudado.

As curvas de nível inicialmente disponibilizadas foram convertidas em arquivos Geotiff com o auxílio do *software* QGIS v. 3.12.2. Primeiramente, as curvas foram rasterizadas com a execução do algoritmo *Rasterize* incluso no *software* *System for Automated Geoscientific Analyses* - SAGA. Este processo converte os arquivos vetoriais em arquivos matriciais com a resolução espacial definida pelo usuário. No caso de arquivos vetoriais de linhas não há preenchimento dos espaços vazios entre as linhas.

As curvas rasterizadas foram então convertidas em arquivos Geotiff por meio do algoritmo *r.surf.contour* incluso no *software* *Geographic Resources Analysis Support System* – GRASS. Este algoritmo preenche os espaços entre as curvas de nível a partir da interpolação linear. O procedimento de conversão das curvas de nível em MDT é exemplificado na **Figura 6-1**. Estes procedimentos de conversão foram realizados no trecho de interesse situado entre a UHE Risoleta Neves e a foz do rio Doce, em que foram gerados arquivos Geotiff de resolução espacial de 1 metro.

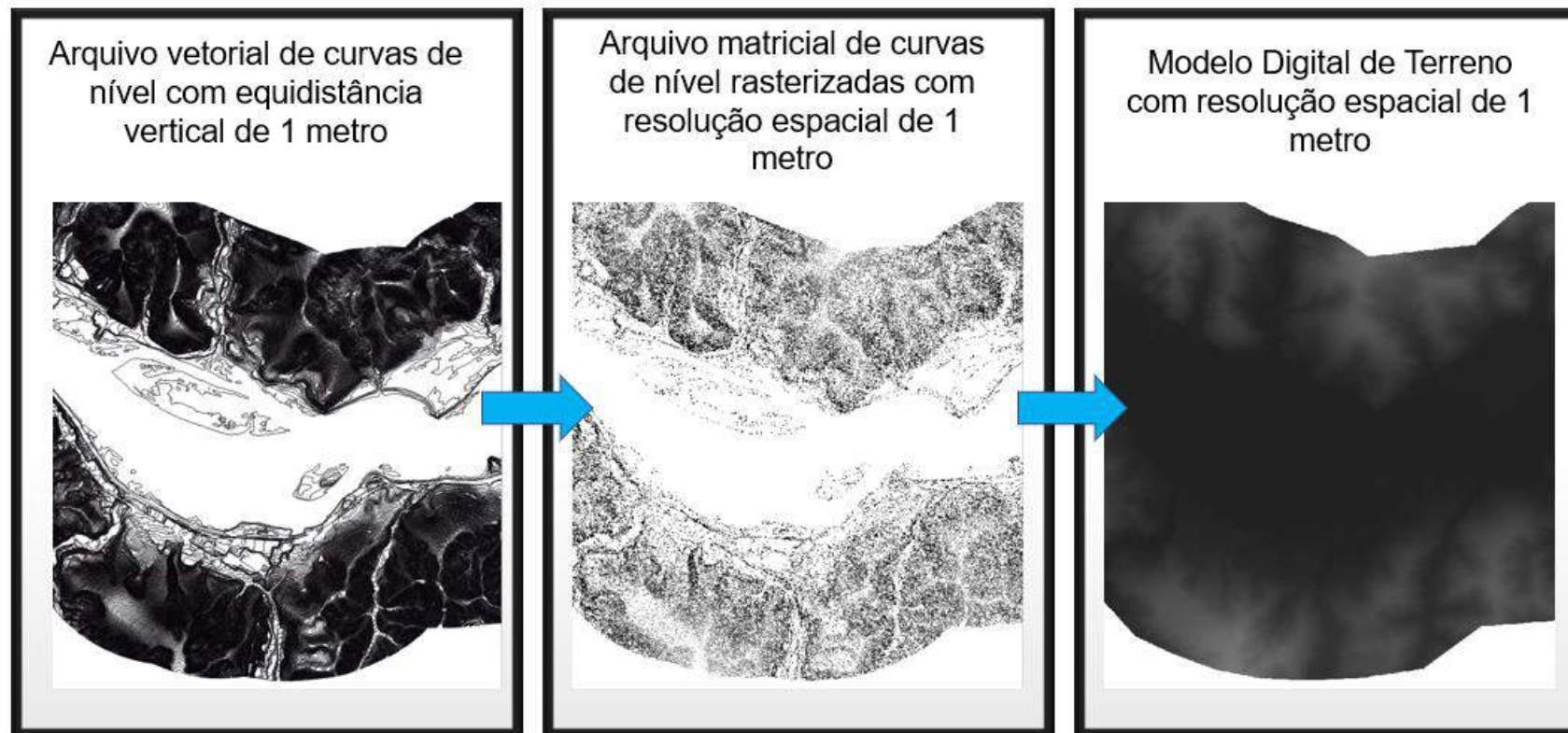


Figura 6-1 – Exemplo de conversão de curvas de nível em MDT.

6.2 Etapa 2 - Consolidação das seções topobatimétricas

No trecho do rio Doce compreendido entre a UHE Risoleta Neves e foz, na área abrangida pela topografia LiDAR, foram consolidadas 188 seções topobatimétricas sendo:

- 117 seções topobatimétricas levantadas no projeto executado entre os anos de 2017 e 2019 pela Consominas Engenharia LTDA contratada pelo Instituto BioAtlântica – IBIO e Agência Nacional de Águas – ANA. Estas seções contemplam 109 seções levantadas no rio Doce (DC-0003 a DC-0111), 01 seção levantada no rio Matipó (MT-0002), 01 seção levantada no rio Piracicaba (PC-0066), 01 seção levantada no rio Santo Antônio (ST-0006), 04 seções levantadas no rio Caratinga, (CT-0070 a CT-0073) e 01 seção levantada no rio Manhuaçu (MN-0002).
- 25 seções topobatimétricas provenientes dos estudos de Definição da Planície de Inundação de Governador Valadares (CPRM, 2004) e Colatina-ES (CPRM, 2016), sendo 11 seções localizadas em Governador Valadares e 14 seções localizadas em Colatina.
- 6 perfis transversais de medição recente (2019) de estações fluviométricas cujos dados constam no Portal HIDROWEB, disponibilizado pela ANA: Estação Fazenda Cachoeira D’Antas (56420000), Cachoeira dos Óculos Montante (56539000), Belo Oriente (56719998), Governador Valadares (56850000), Tumiritinga (56920000) e Colatina (56994500).
- 40 seções topobatimétricas complementares (SC-1 a SC-40) levantadas pelas empresas HIDROGEST (seções 01 a 20), HGT (seções 21 a 26) e TOPGEO (seções 27 a 40) entre os meses de novembro e dezembro de 2020. Esse levantamento fez parte do 2º subproduto já entregue e protocolado na CT-GRSA em 27/01/2021.

As seções disponibilizadas pela ANA e pela CPRM, visaram o detalhamento de manchas urbanas, pontes e travessias, além de alterações bruscas de seção, deixando de lado as ilhas existentes no trecho, as quais compreendem importantes restrições que necessitam de caracterização para construção do MDT final para modelagem. Dessa forma, foram solicitadas 40 seções topobatimétricas complementares no rio Doce para auxiliar nessa lacuna de informação. Além disso, a foz do rio Doce apresenta uma grande complexidade, exigindo, portanto, um maior detalhamento, por isso foram

solicitadas algumas seções nessa região. A **Figura 6-2** ilustra todas as 188 seções topobatimétricas consolidadas.

Para todas as seções, foram reunidos os dados referentes ao traçado geográfico em linha e tabelas de distância acumulada e elevação. Os dados de distância e elevação das seções topobatimétricas levantadas pela Consominas Engenharia LTDA foram disponibilizados em arquivo gráfico na extensão DWG. Com o intuito de transferir tais dados para o *software* HEC-RAS, foi necessário extrair as tabelas de distância e elevação do formato DWG para tabelas no *software Microsoft Excel*.

No caso das seções disponibilizadas pela CPRM, estes dados foram retirados diretamente dos relatórios técnicos e no caso das seções de estações fluviométricas obteve-se os perfis transversais disponibilizados no portal HIDROWEB.

Com relação às 40 seções complementares, os dados de distância e elevação foram fornecidos em tabelas no *software Microsoft Excel* (disponíveis no apêndice 12.1.2). Neste caso, a consolidação de dados consistiu na verificação do sentido dos pontos de elevação (iniciando na margem esquerda e terminando na margem direita). Posteriormente, para todas as 188 seções realizou-se a consistência dos dados a partir da remoção de pontos com elevação duplicados, dados faltantes e/ou incoerentes. Os dados de elevação e distância de todas as seções foram consolidados e analisados em conjunto com a topografia LiDAR, conforme descrito no item 6.3.

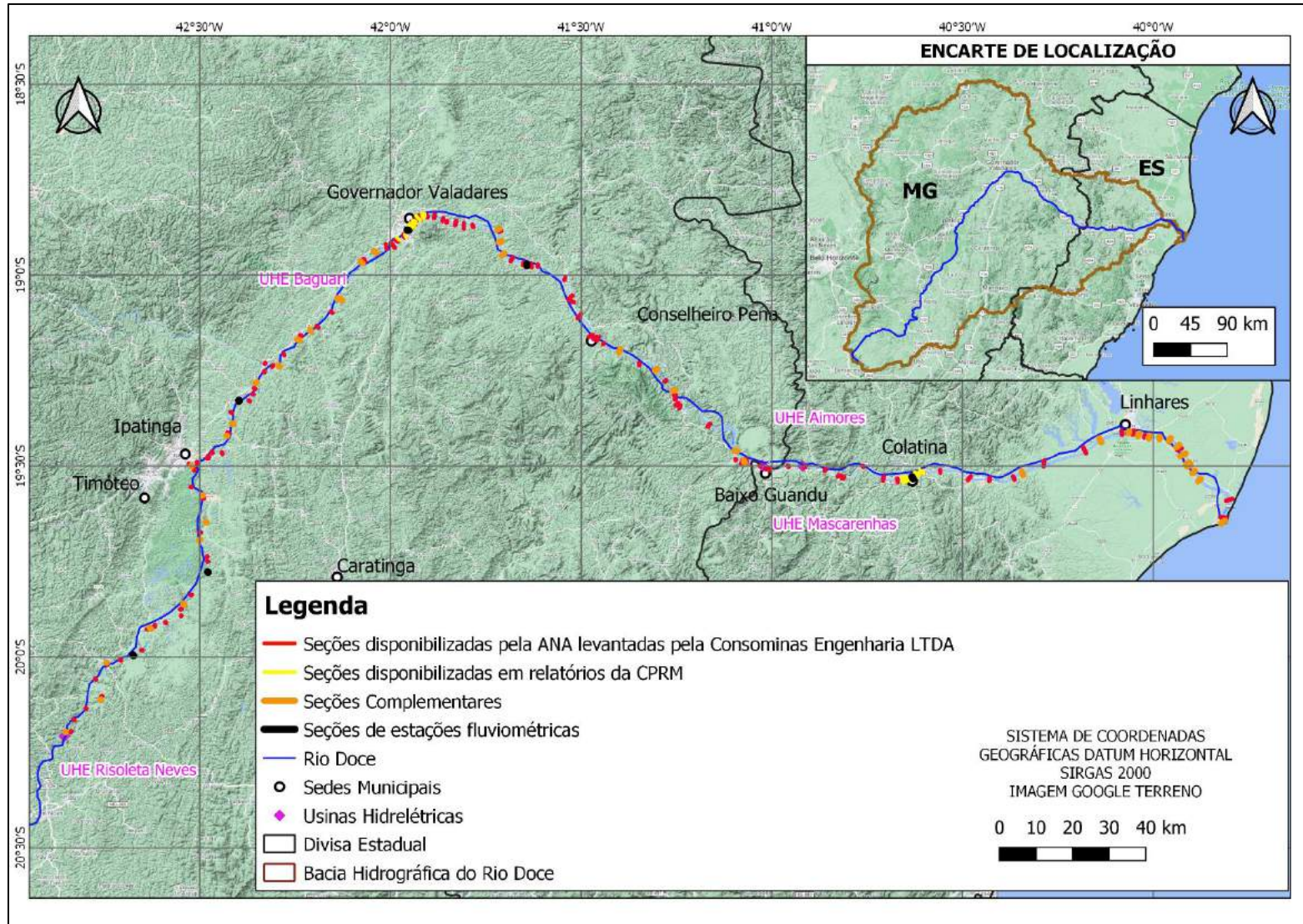


Figura 6-2 – Localização das seções topobatimétricas utilizadas na elaboração do MDT para modelagem hidrodinâmica.

6.3 Etapa 3 - Compatibilização entre a topografia LiDAR e as seções topobatimétricas

Previamente à interpolação das seções topobatimétricas, realizou-se uma análise de todas as seções situadas no trecho de interesse referente à compatibilidade das elevações das margens e das ilhas fluviais com as elevações contempladas na topografia LiDAR. A título de exemplo, a **Figura 6-3** apresenta uma seção topobatimétrica com boa aderência à topografia LiDAR e a **Figura 6-4** apresenta uma seção topobatimétrica com margens não aderentes.

Neste caso apresentado pela **Figura 6-4**, analisou-se as características de cobertura do solo das margens para verificar a possibilidade de presença de barras arenosas móveis que poderiam ocasionar a não aderência, além da tentativa de transladar a seção um pouco para montante ou jusante. No entanto, não foram encontradas justificativas para a não aderência com base na cobertura do solo e na localização dessas seções não aderentes. Portanto, tendo em vista o maior detalhamento da topografia LiDAR, ajustou-se as elevações das seções não aderentes de modo que a margem da seção coincidissem com a elevação da margem da topografia.

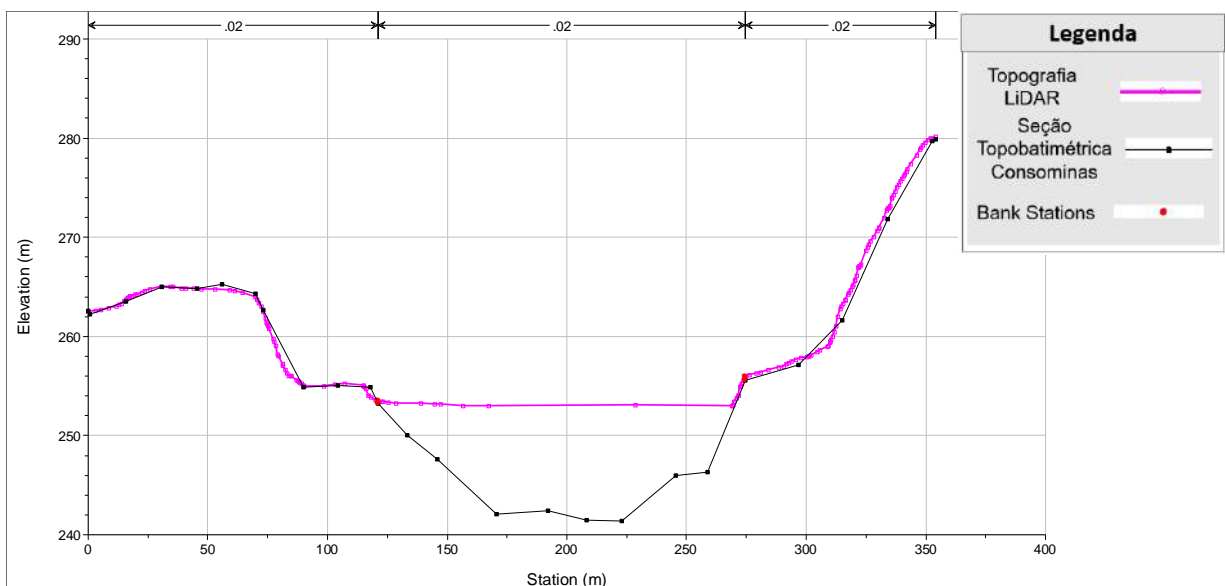


Figura 6-3 – Seção DC-0010 (ANA/IBIO) aderente à topografia LiDAR.

;

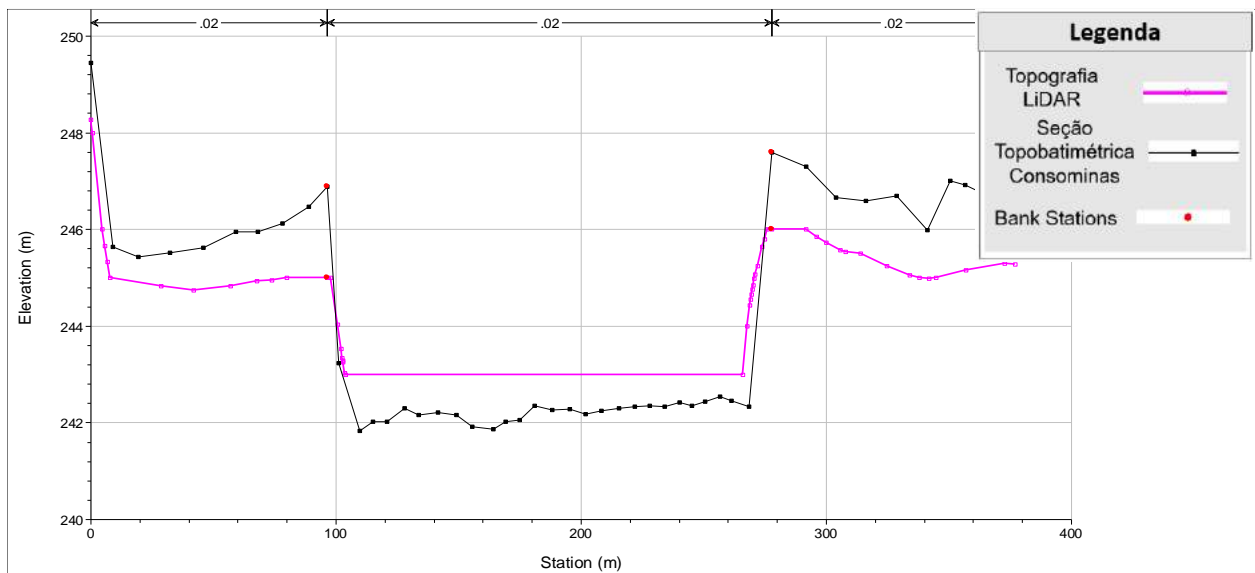


Figura 6-4 – Seção DC-0016 (ANA/IBIO) com margens não aderentes à topografia LiDAR.

A topografia LiDAR foi priorizada em relação às seções levantadas em relação às margens, de modo que a partir da análise individual de cada uma das seções topobatimétricas foram definidos os pontos de elevação a serem considerados na batimetria (elevação do fundo do leito), descartando-se os pontos de elevação situados nas margens e nas ilhas fluviais. Esta delimitação entre margens e leito de fundo é realizada a partir da definição da localização das *bank stations*.

As seções topobatimétricas levantadas pela empresa Consominas Engenharia LTDA, e disponibilizadas pela ANA, tiveram sua elevação ajustada quando as margens não estavam aderentes à topografia LiDAR. Além disso, foram removidos os pontos acima do nível de água da topografia LiDAR e sobre ilhas.

As seções topobatimétricas obtidas nos estudos de Definição da Planície de Inundação de Governador Valadares (CPRM, 2004) e Colatina-ES (CPRM, 2016) foram alteradas apenas nos locais onde existiam pontos acima do nível de água da topografia LiDAR e em pontos sobre ilhas, sendo esses excluídos da tabela dos perfis transversais.

Com relação às seções topobatimétricas de estações fluviométricas, seus perfis transversais disponibilizados no HIDROWEB apresentam dados de elevação em centímetros referenciados ao zero

das réguas linimétricas e, portanto, para se obter valores de elevação em relação ao nível do mar deve se somar as cotas em centímetros ao zero da régua. Para as estações fluviométricas Governador Valadares (56850000) e Colatina (56994500) foram utilizadas as cotas zero das réguas apresentadas nos relatórios de Definição da Planície de Inundação de Governador Valadares (CPRM, 2004) e Colatina-ES (CPRM, 2016). Para as demais estações os valores de cota da tabela de perfil transversal foram ajustados de modo que as elevações das margens do perfil transversal se aproximassem das elevações das margens do MDT gerado a partir do levantamento da topografia LiDAR, uma vez que não foram disponibilizados os dados de cota zero das réguas. O ajuste dos perfis pode ser visualizado nas **Figura 6-5 a Figura 6-10**.

Com relação às seções complementares, a comparação entre os perfis transversais das seções e o MDT gerado a partir do levantamento da topografia LiDAR é apresentada nas **Figura 6-11 a Figura 6-50**. Nota-se que em muitas seções há poucos ou nenhum ponto levantado nas margens, esse fato ocorreu pela não obtenção de algumas anuências de proprietários à margem ou nas ilhas do rio Doce (situação reportada no Anexo 2 do Ofício FR.2020.1943). Portanto, foi feita uma análise de aderência considerando pontos cotados também em ilhas, o perfil longitudinal do rio e adotou-se a premissa de que os pontos de elevação levantados devem possuir elevação inferior ao nível de água da topografia LiDAR. É importante ressaltar que a ausência de levantamento de pontos cotados em ilhas ou margens não interfere no procedimento de inserção da batimetria pois estão sendo considerados apenas os pontos do fundo do leito.

A partir da análise das **Figura 6-11 a Figura 6-50**, observou-se que as seções SC-29, SC-33, SC-35, SC-38 e SC-39 possuem pontos de elevações localizados no leito fluvial que se encontram acima do nível de água da topografia LiDAR. Além disso, a análise do perfil longitudinal indicou uma sobre-elevação do talvegue próximo à foz nas seções SC-33, SC-35, SC-38, SC-29 e SC-39. Portanto, as seções SC-29, SC-33, SC-35, SC-38 e SC-39 tiveram suas elevações rebaixadas pois seus perfis transversais estavam incoerentes com o nível de água do MDT LiDAR apresentando muitos pontos acima do NA conferindo pouca profundidade para o escoamento. Este ajuste pode ser observado na **Figura 6-51**.

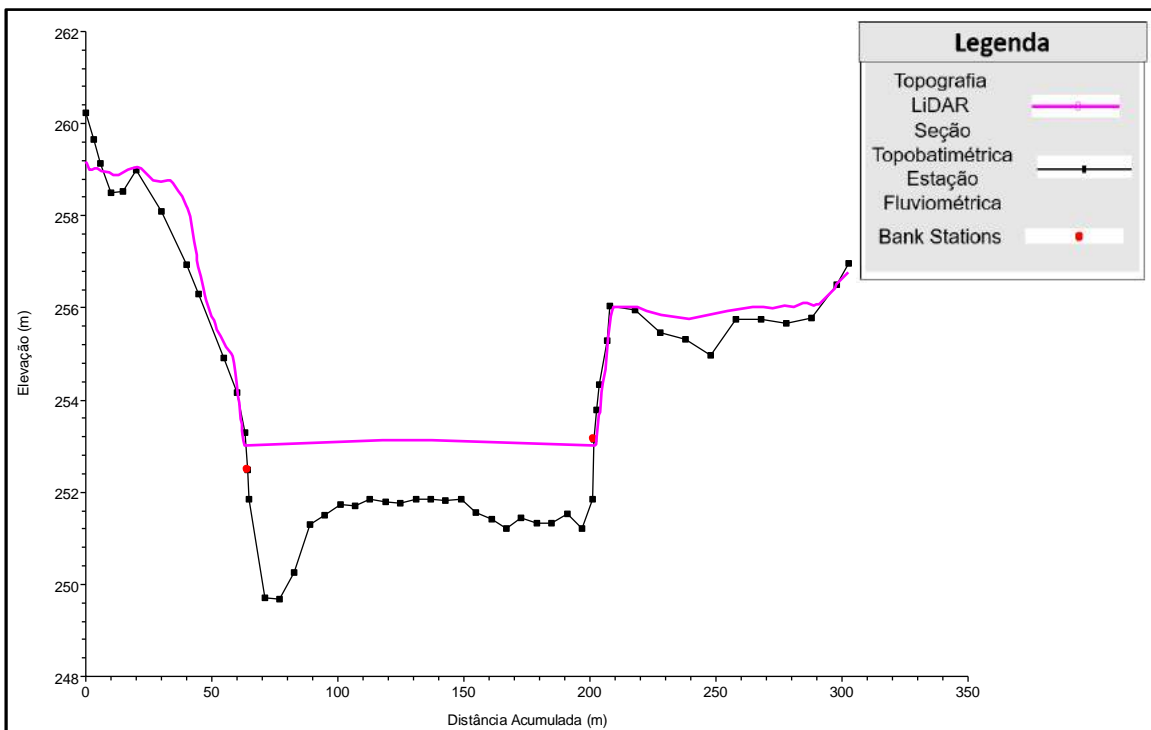


Figura 6-5 – Ajuste da Seção da Estação Fazenda Cachoeira D’Antas (56420000).

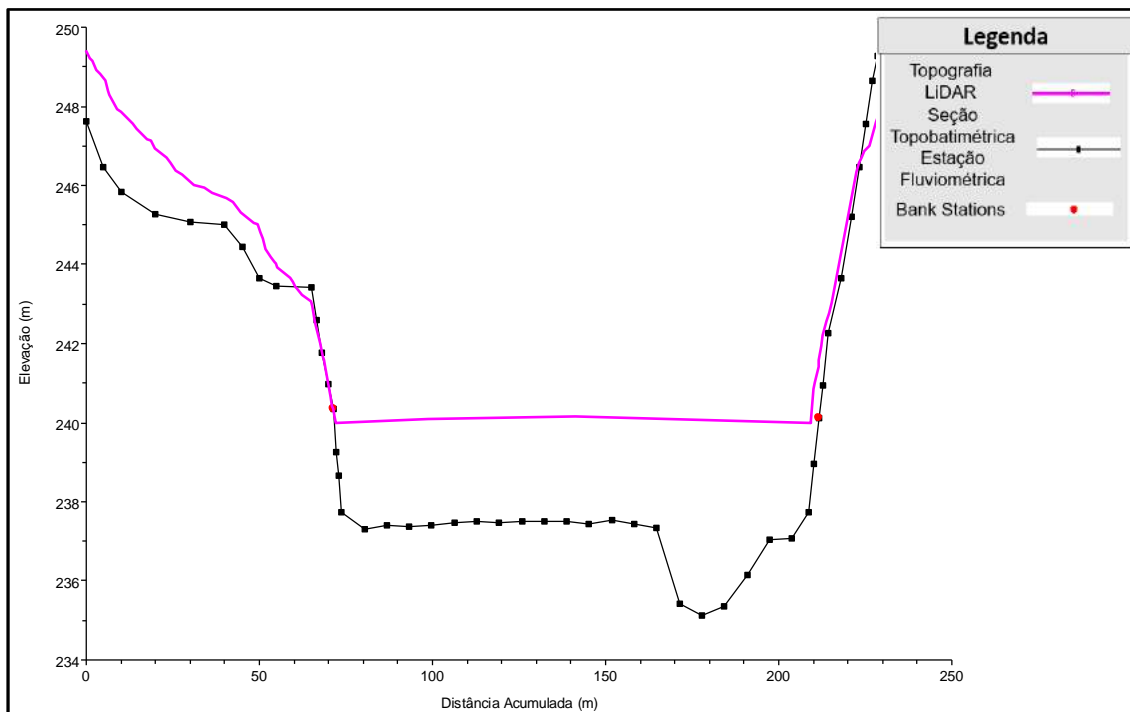


Figura 6-6 - Ajuste da Seção da Estação Cachoeira dos Óculos Montante (56539000).

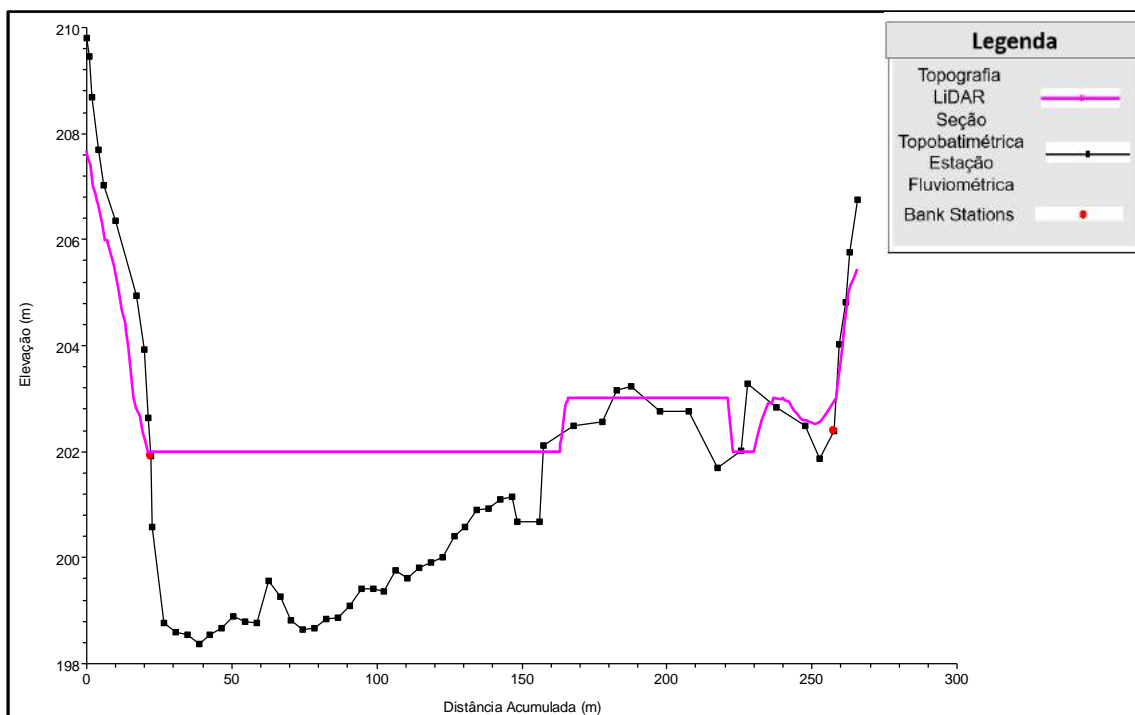


Figura 6-7 - Ajuste da Seção da Estação Belo Oriente (56719998).

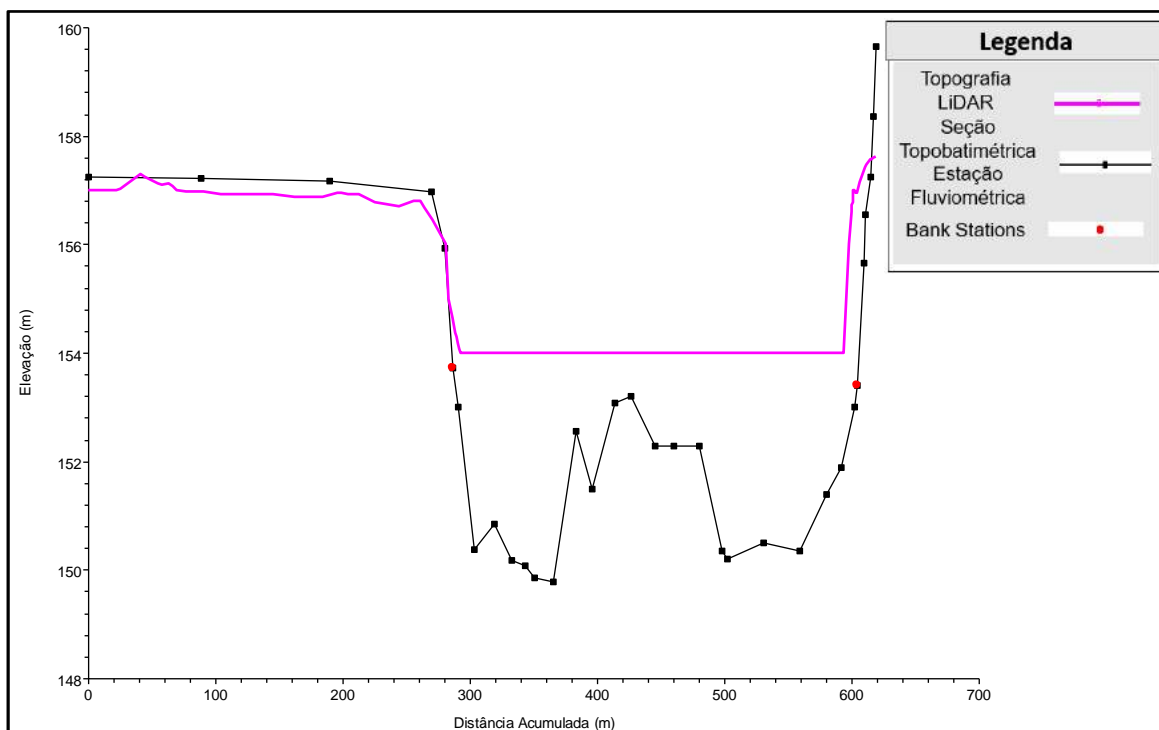


Figura 6-8 - Ajuste da Seção da Estação Governador Valadares (56850000).

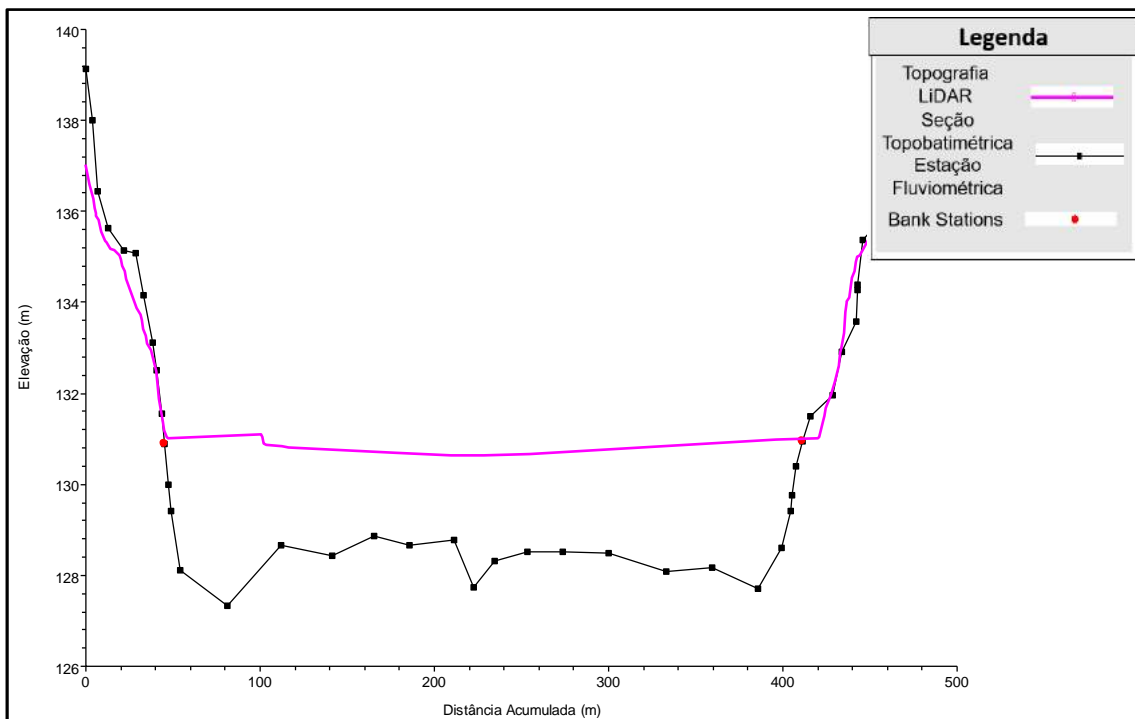


Figura 6-9 - Ajuste da Seção da Estação Tumiritinga (56920000).

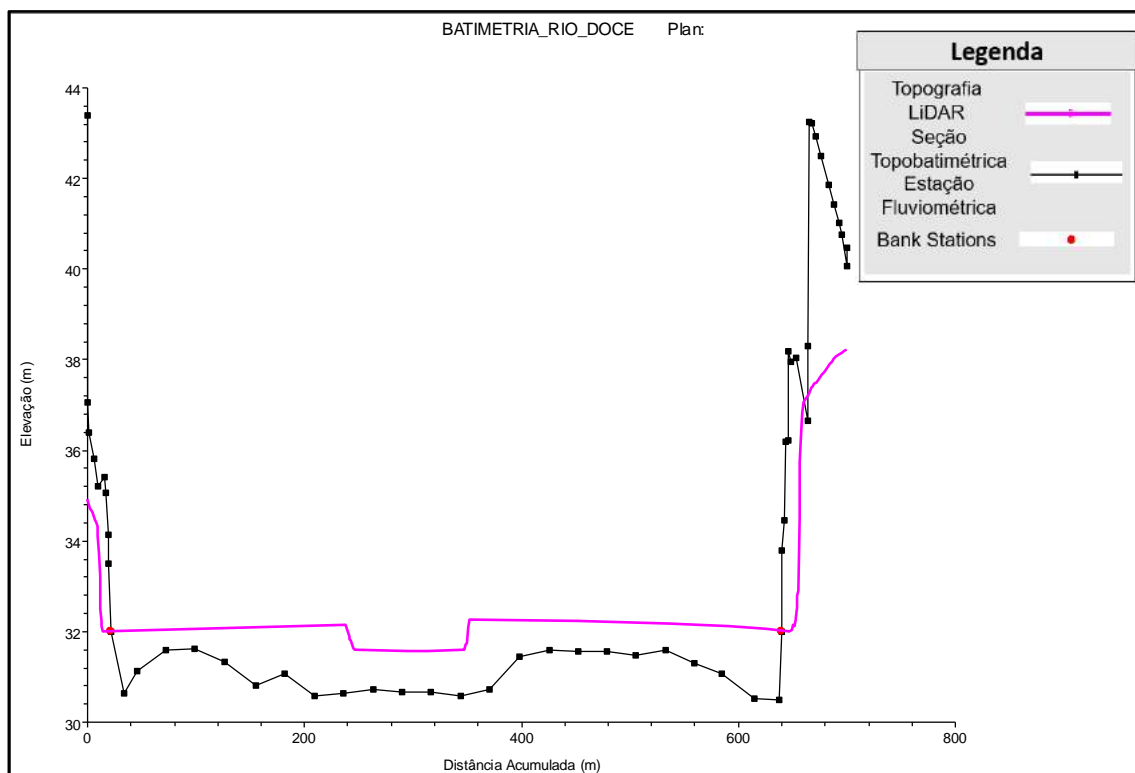


Figura 6-10 - Ajuste da Seção da Estação Colatina (56994500).

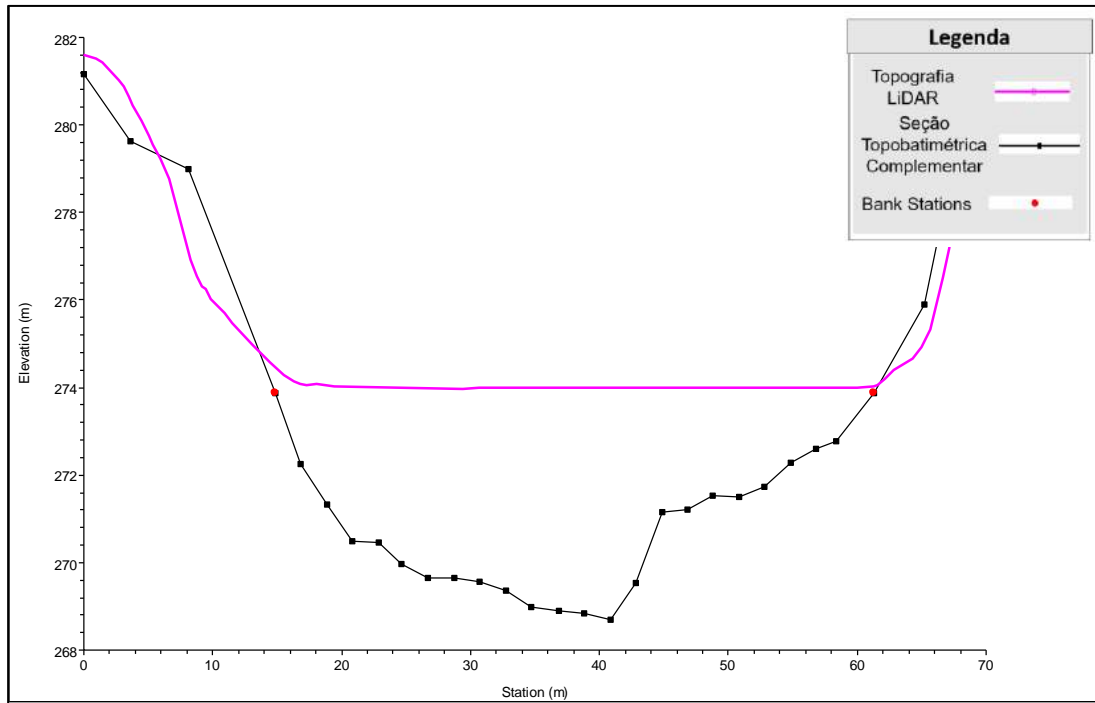


Figura 6-11 – Seção complementar SC-1 e MDT.

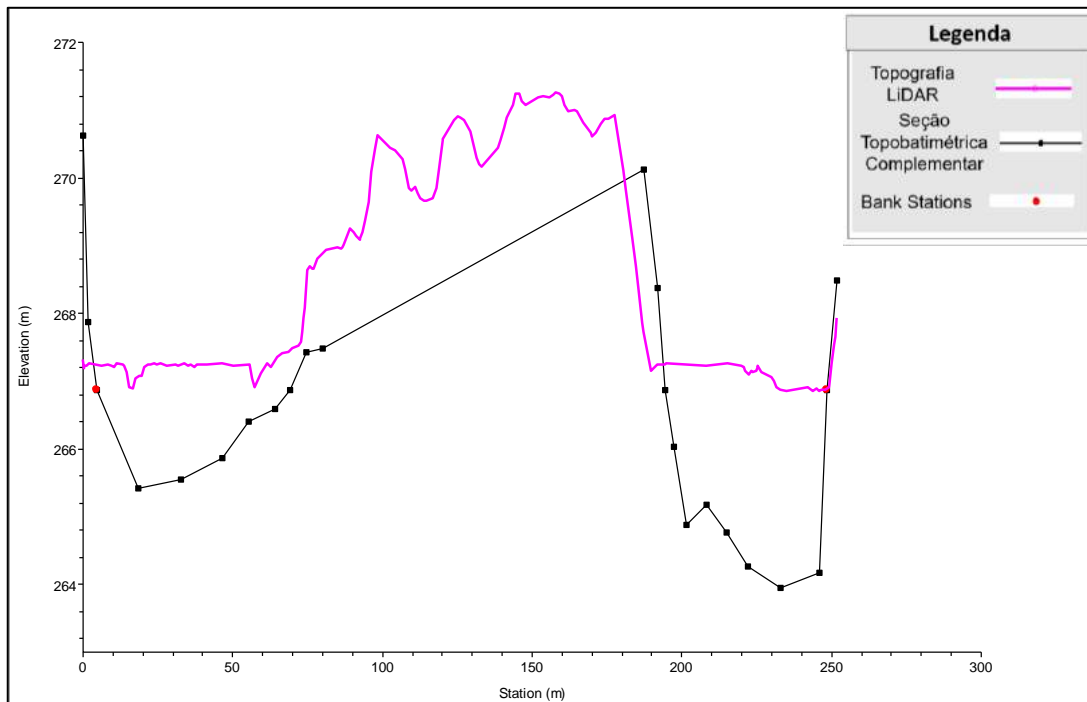


Figura 6-12 - Seção complementar SC-2 e MDT.

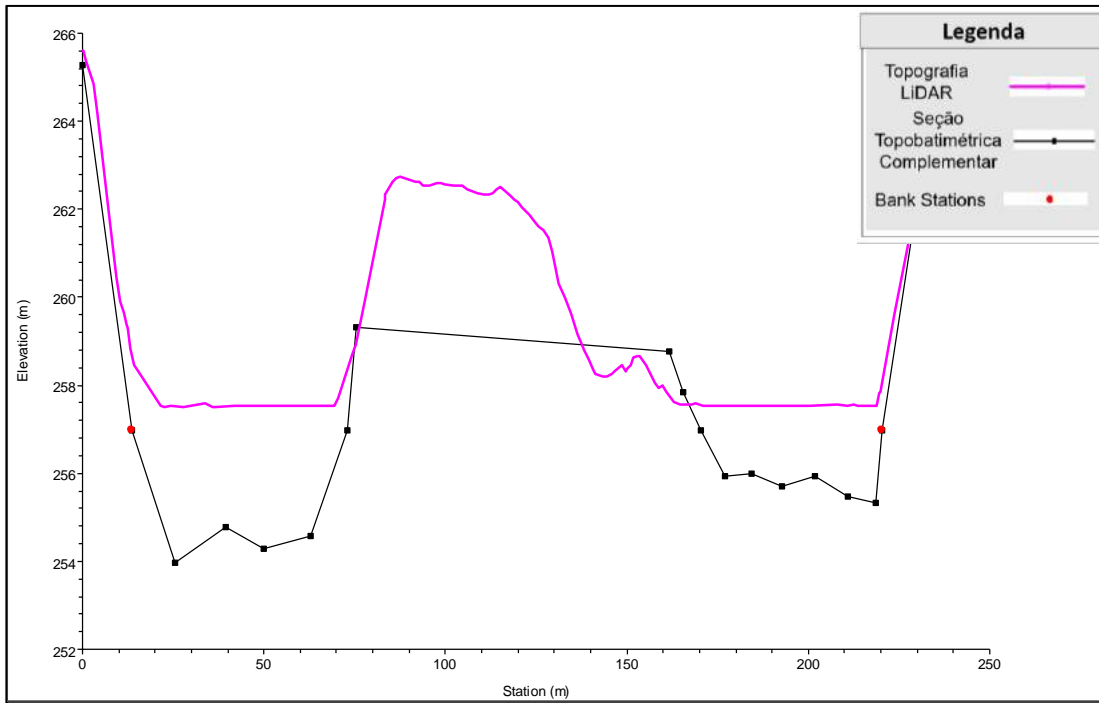


Figura 6-13 - Seção complementar SC-3 e MDT.

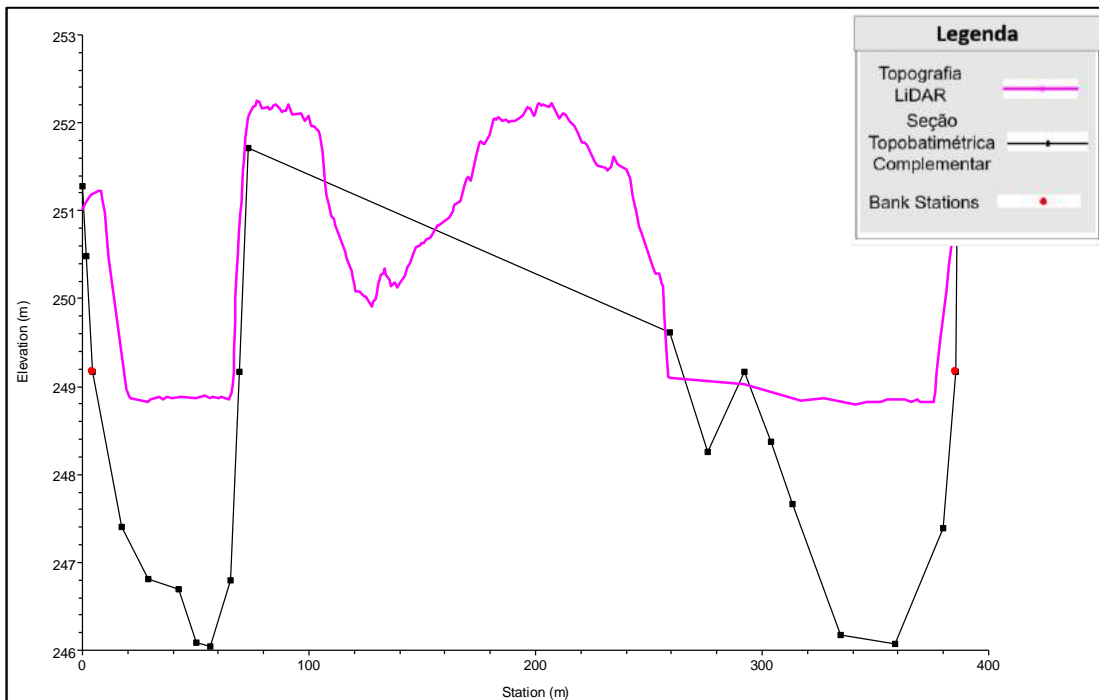


Figura 6-14 - Seção complementar SC-4 e MDT.

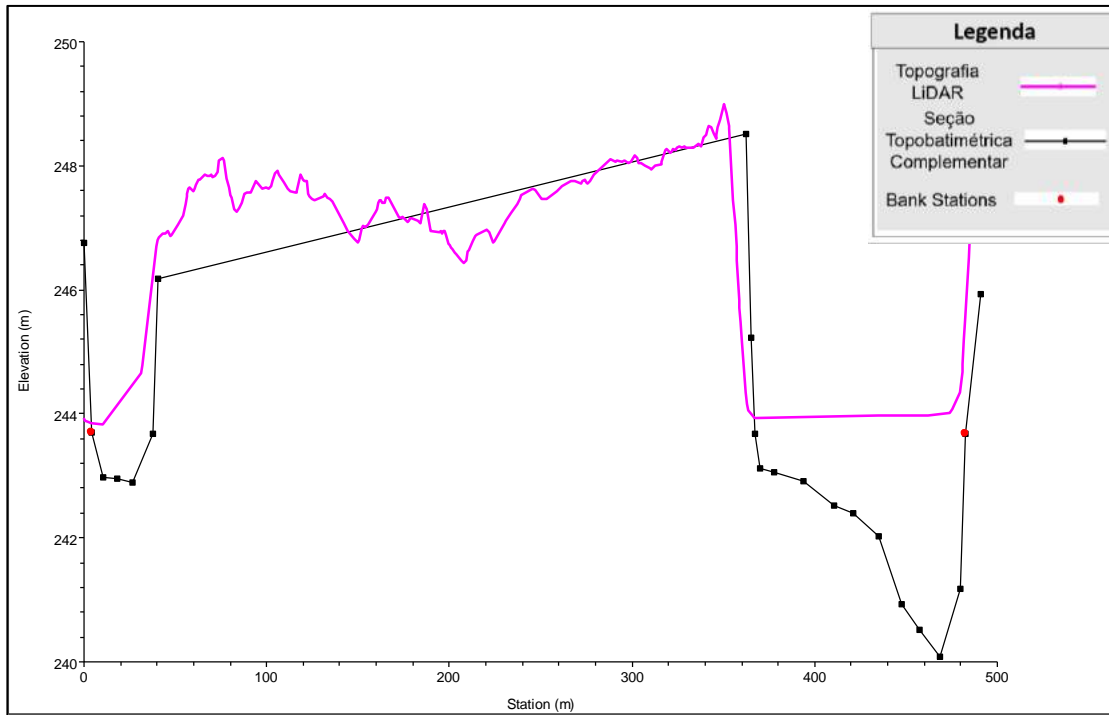


Figura 6-15 - Seção complementar SC-5 e MDT.

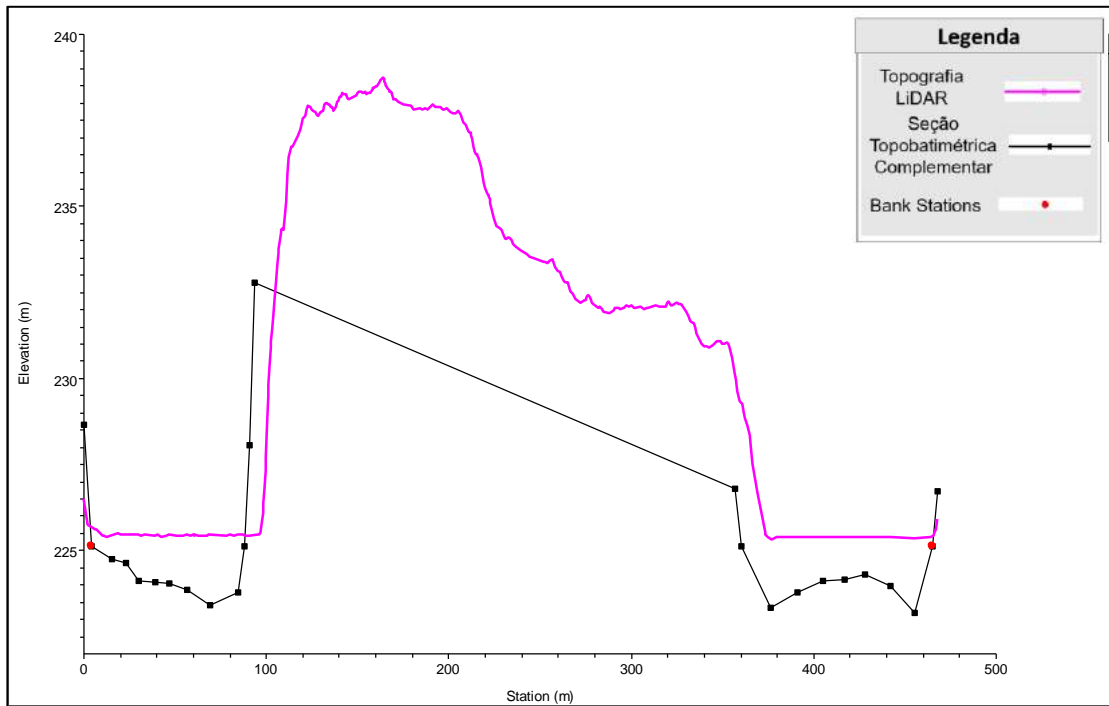


Figura 6-16 - Seção complementar SC-6 e MDT.

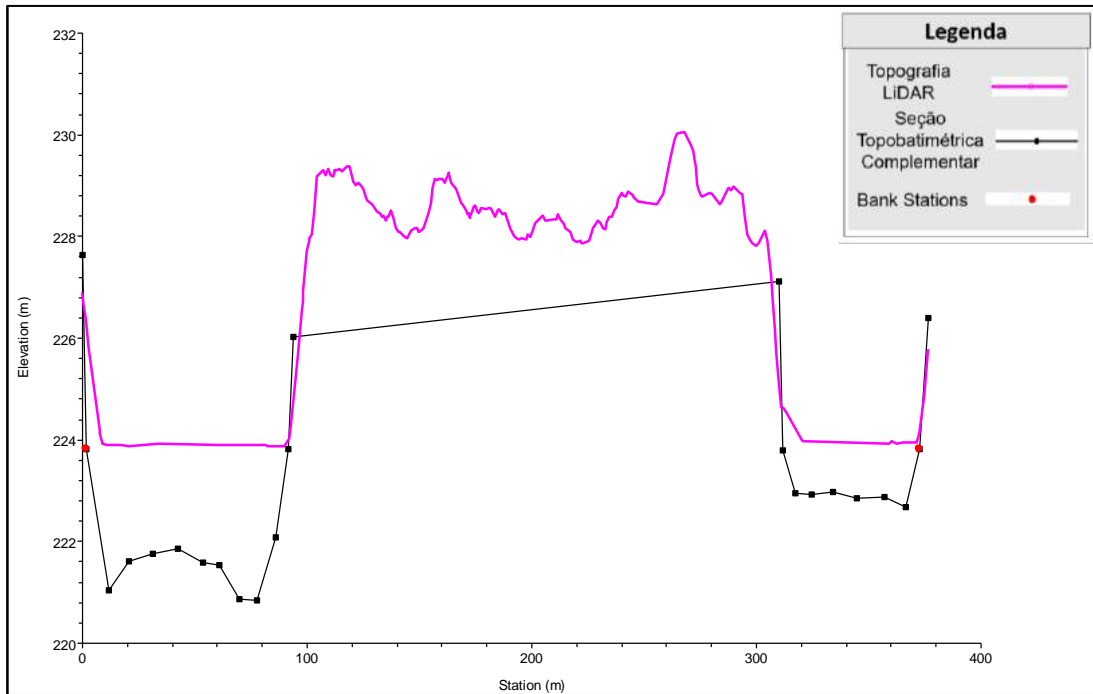


Figura 6-17 - Seção complementar SC-7 e MDT.

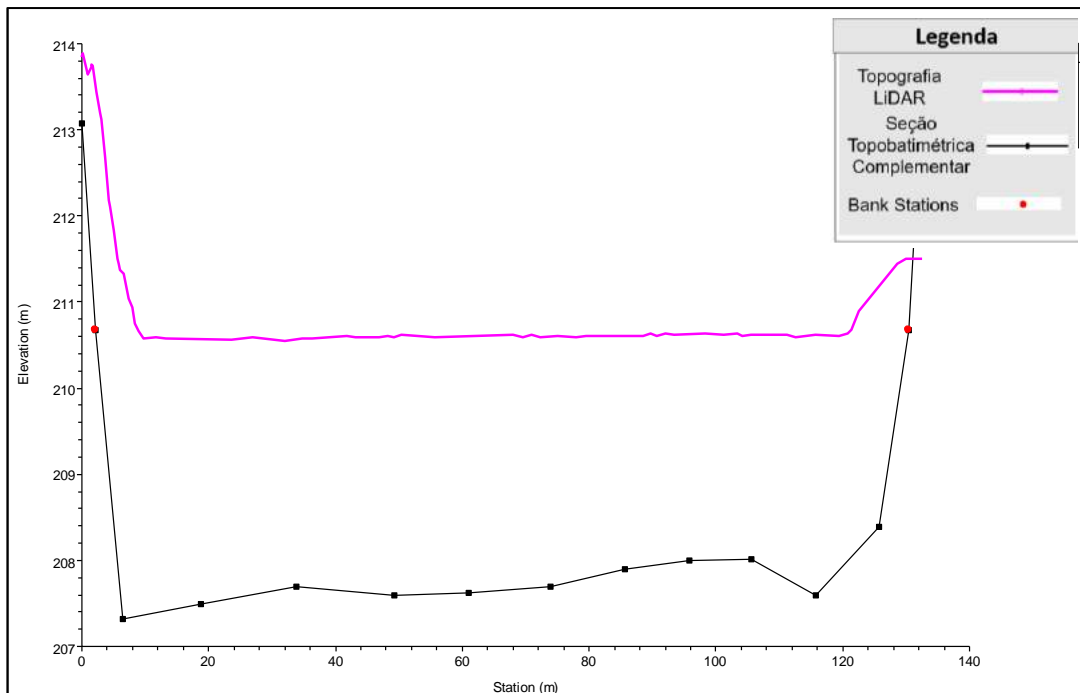


Figura 6-18 - Seção complementar SC-8 e MDT.

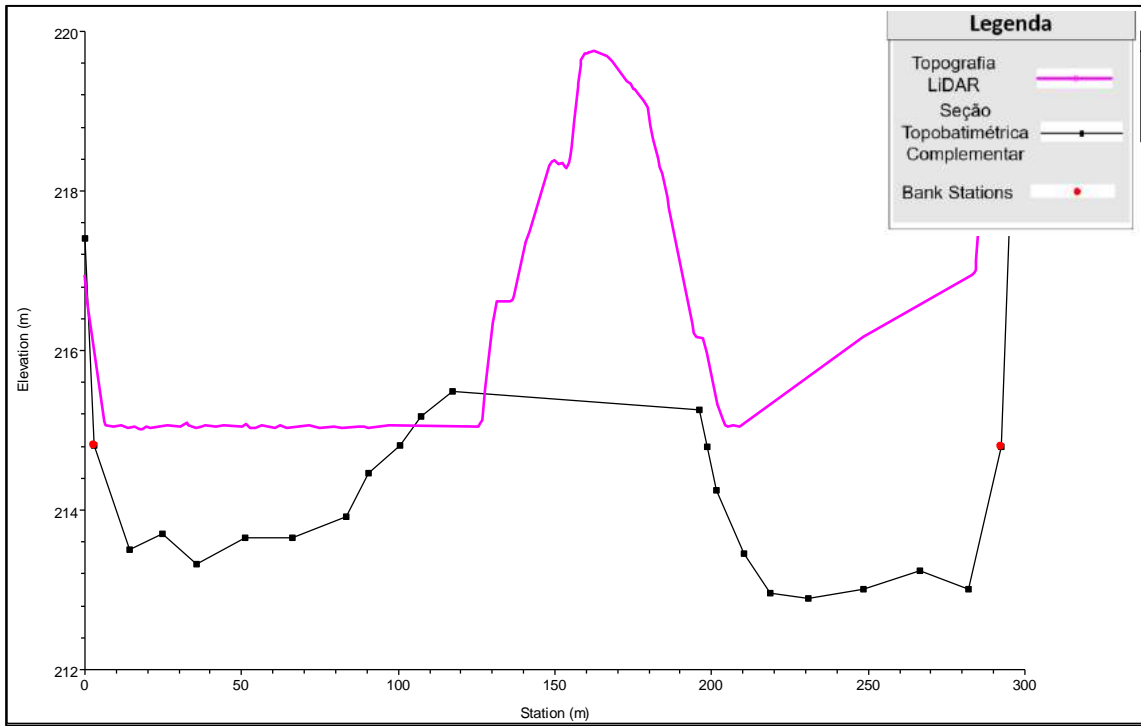


Figura 6-19 - Seção complementar SC-9 e MDT.

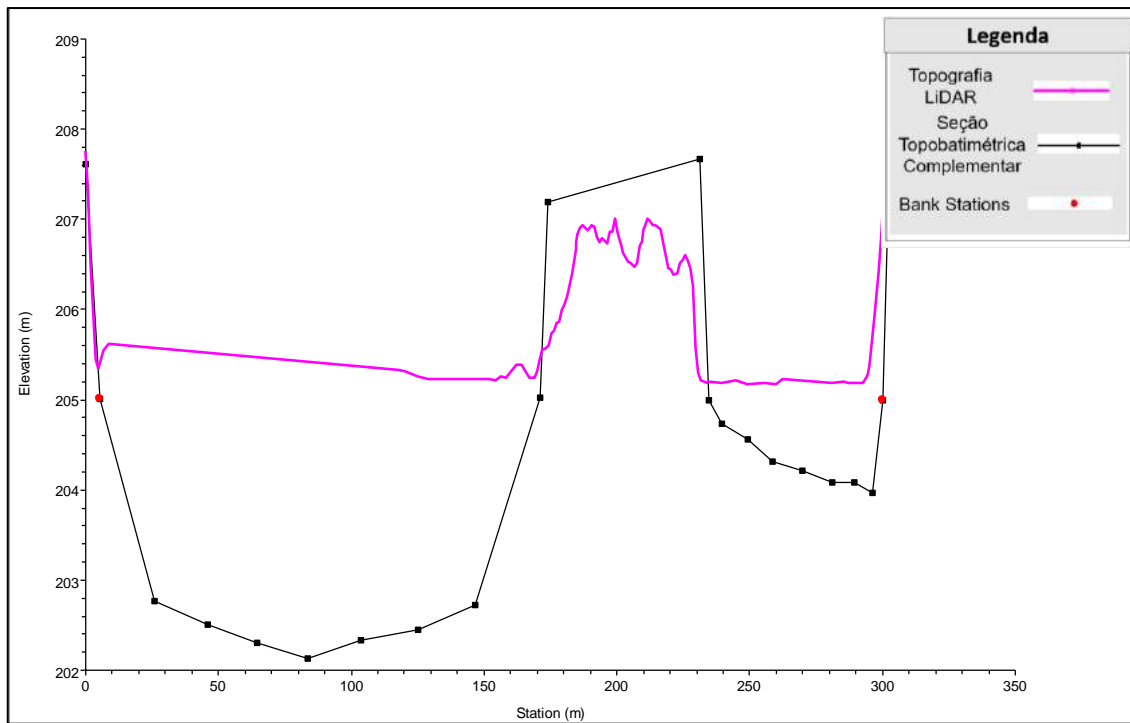


Figura 6-20 - Seção complementar SC-10 e MDT.

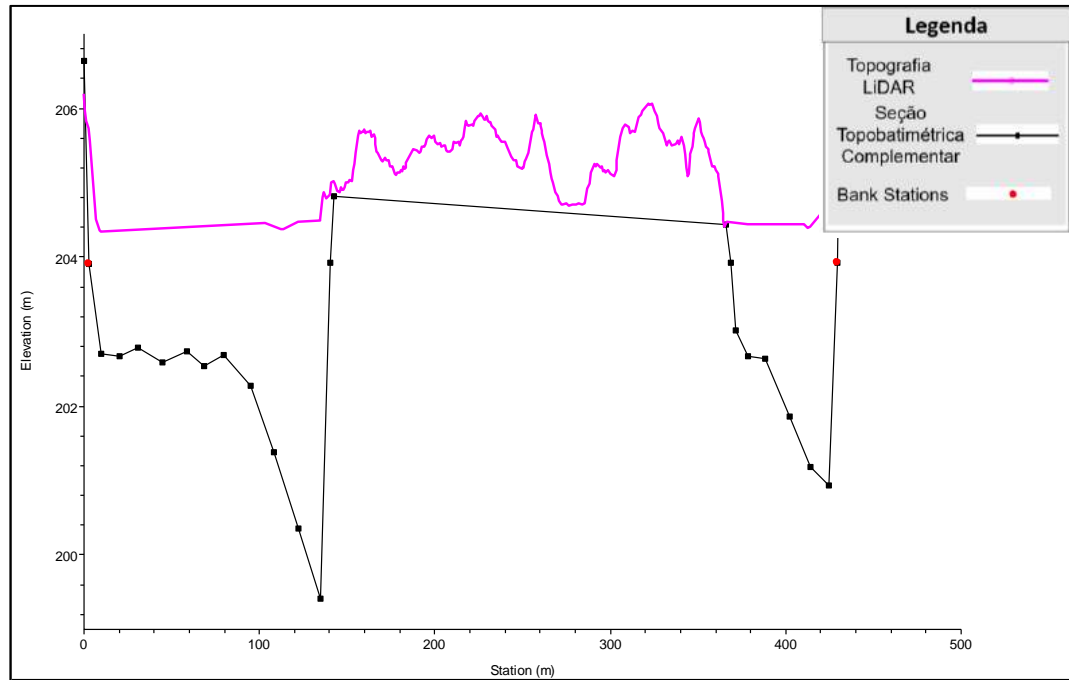


Figura 6-21 - Seção complementar SC-11 e MDT.

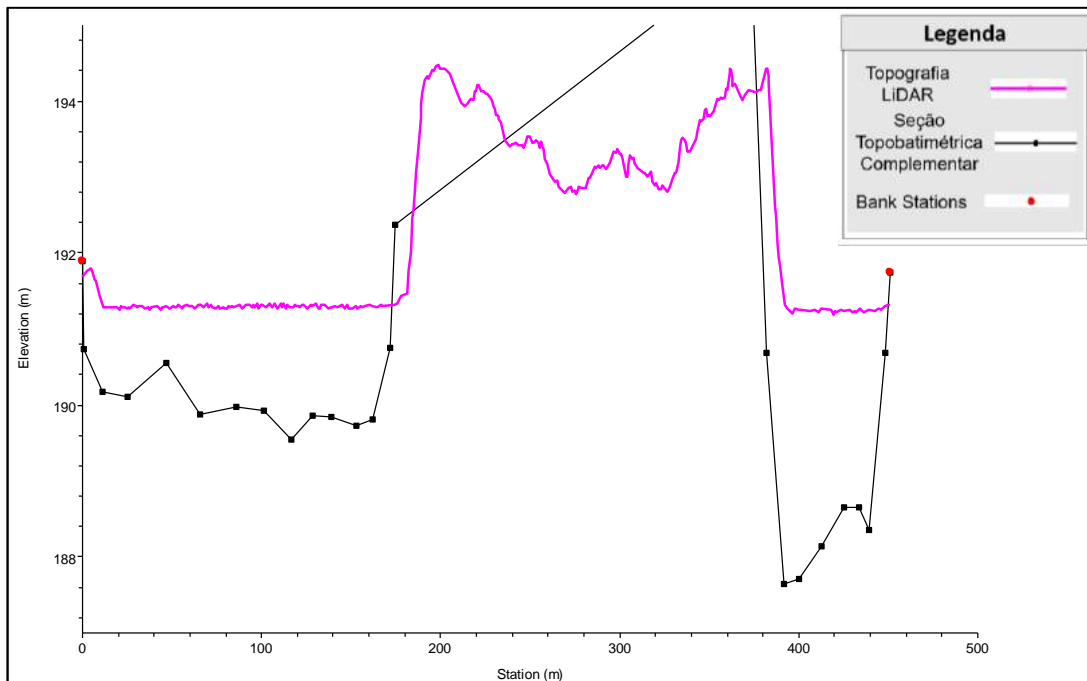


Figura 6-22 - Seção complementar SC-12 e MDT.

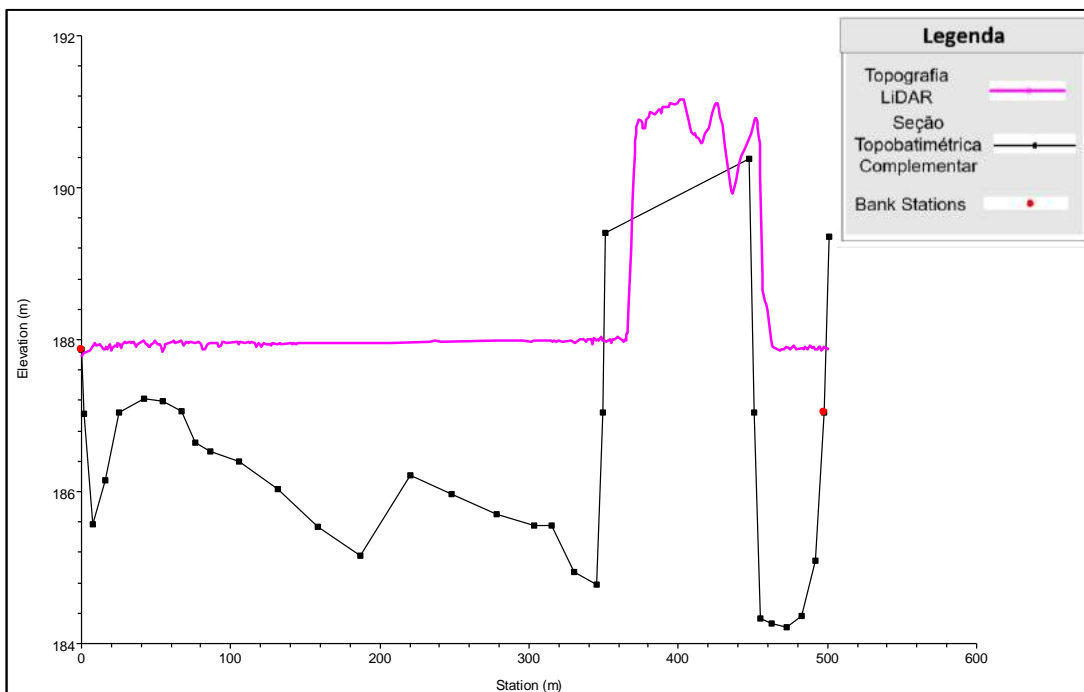


Figura 6-23 - Seção complementar SC-13 e MDT.

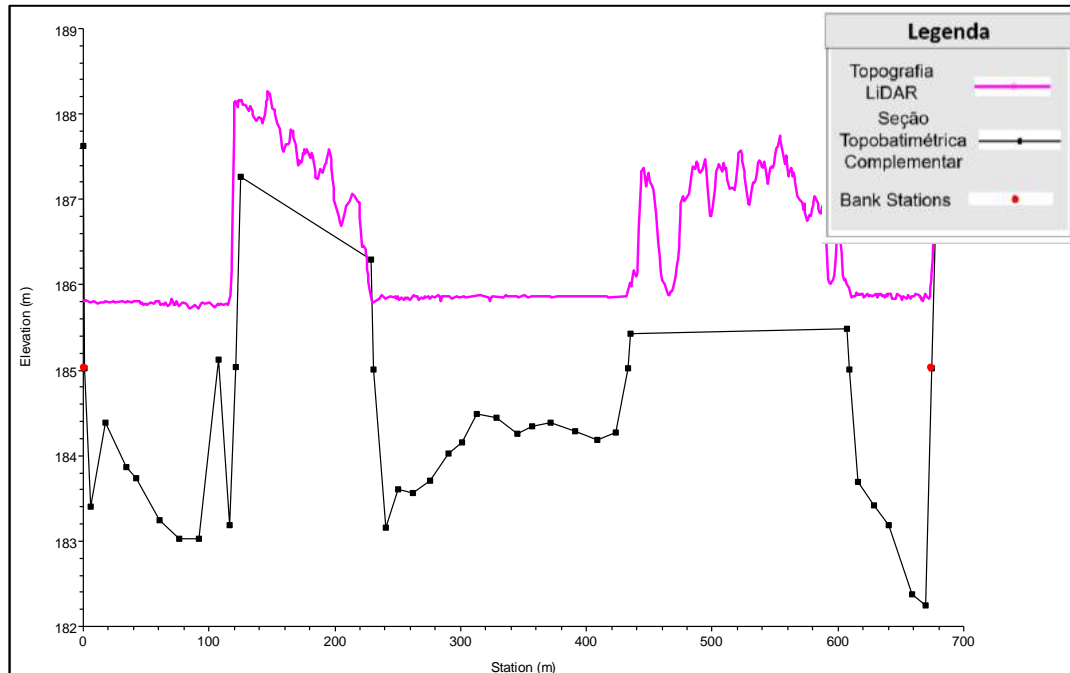


Figura 6-24 - Seção complementar SC-14 e MDT.

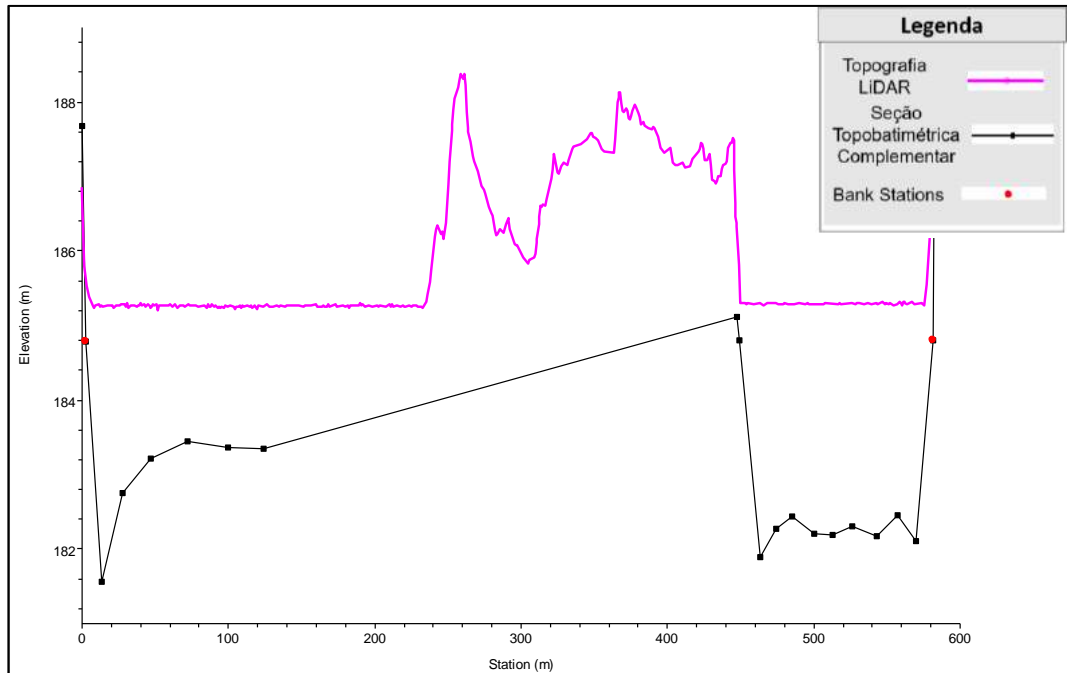


Figura 6-25 - Seção complementar SC-15 e MDT.

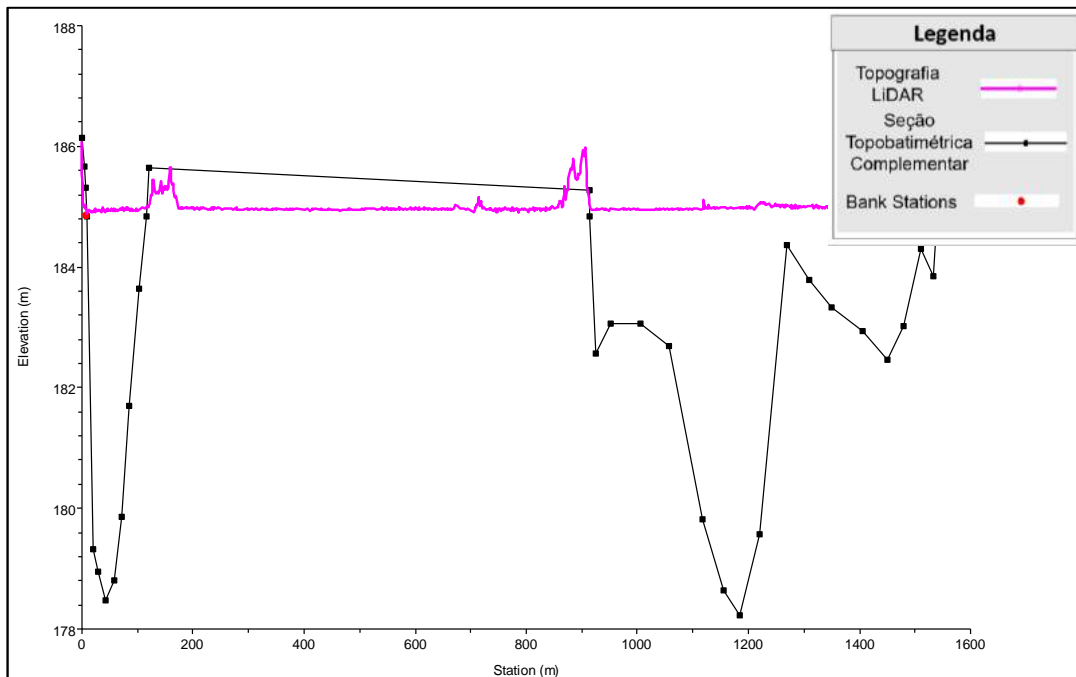


Figura 6-26 - Seção complementar SC-16 e MDT.

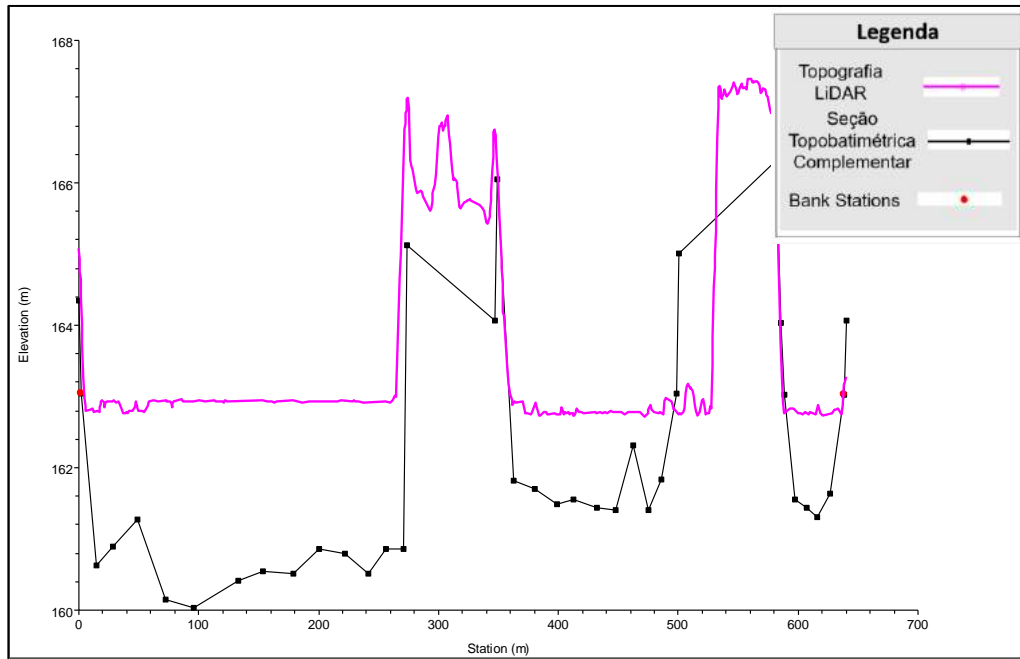


Figura 6-27- Seção complementar SC-17 e MDT.

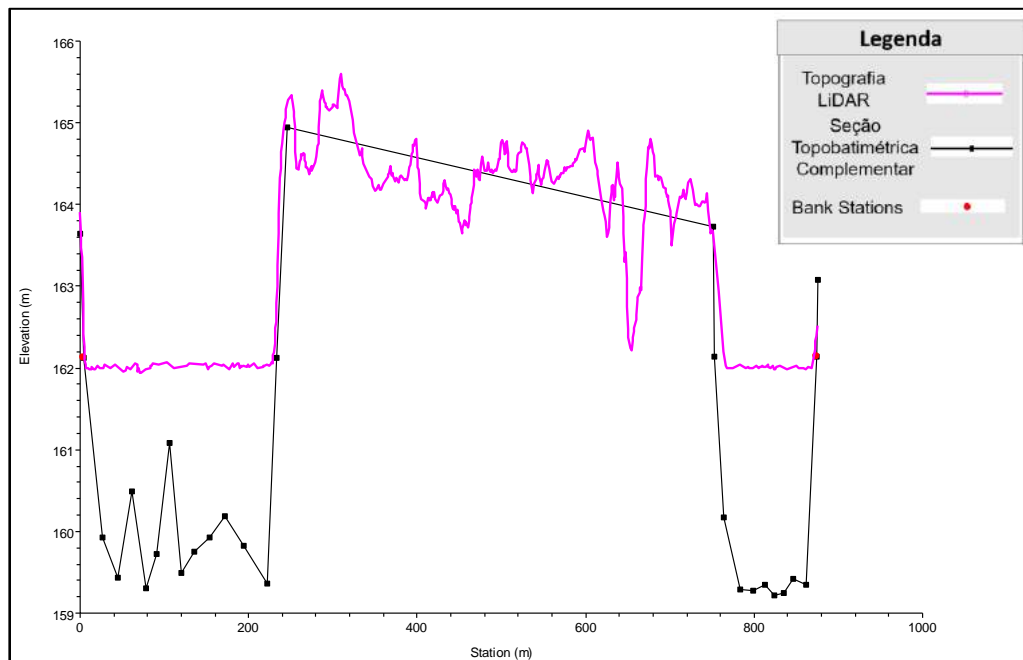


Figura 6-28- Seção complementar SC-18 e MDT.

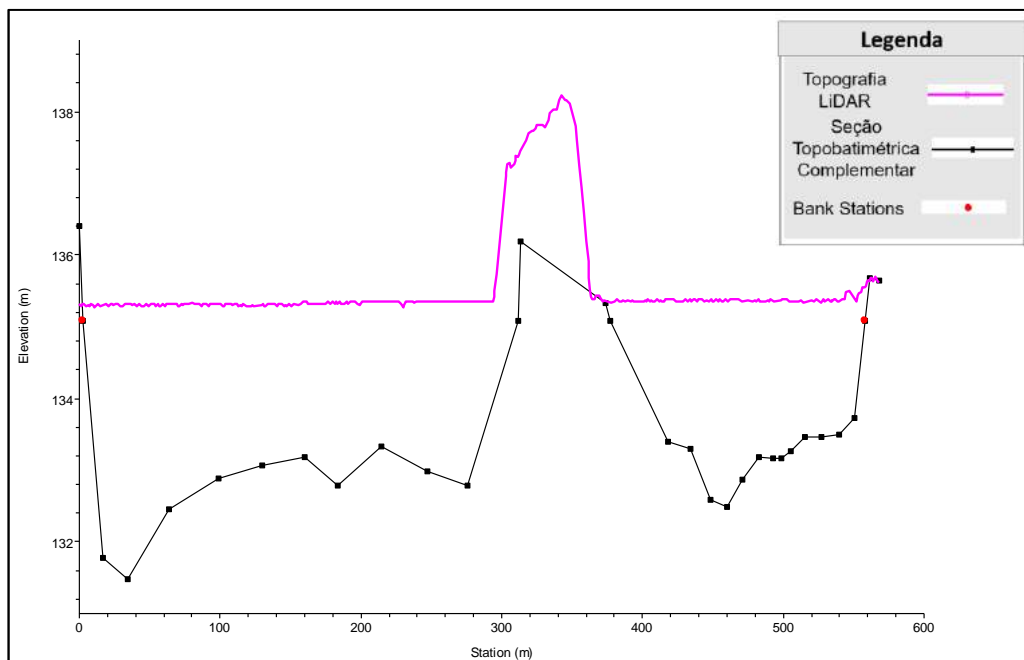


Figura 6-29 - Seção complementar SC-19 e MDT.

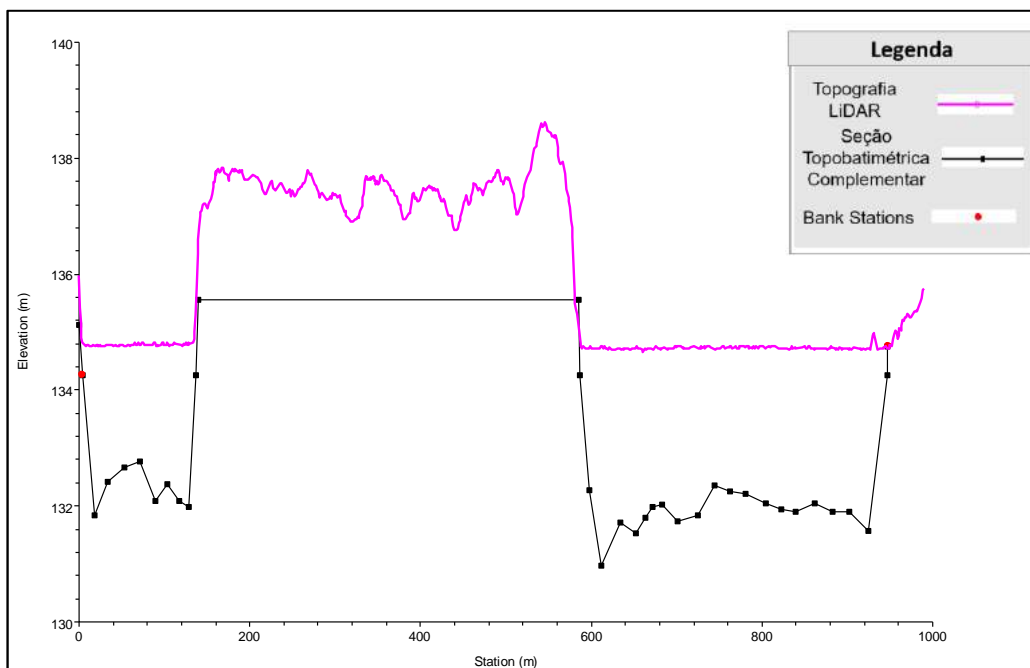


Figura 6-30 - Seção complementar SC-20 e MDT.

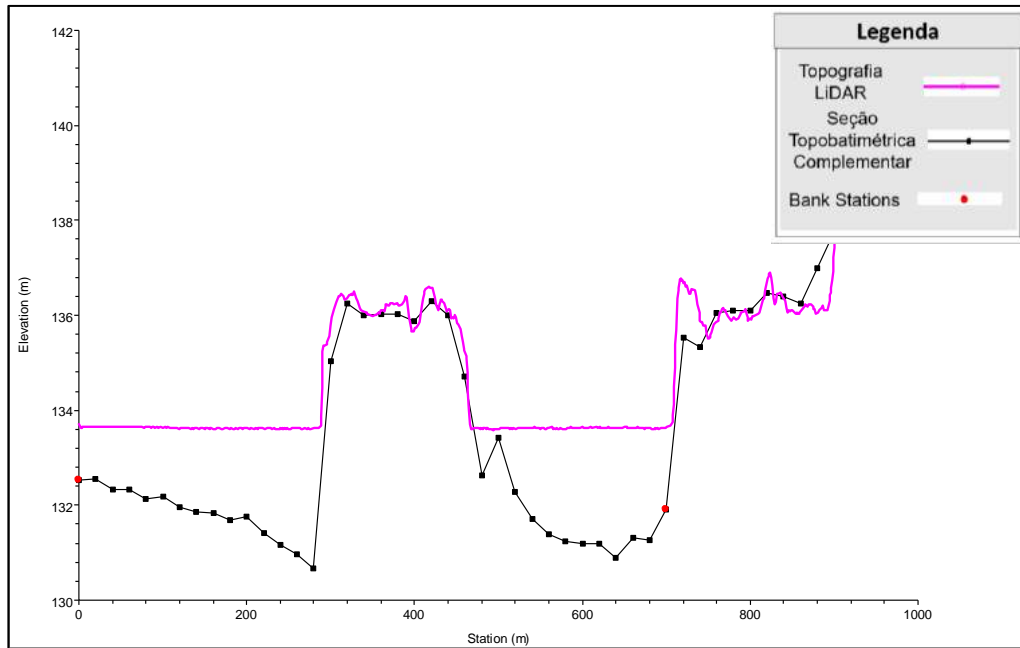


Figura 6-31 - Seção complementar SC-21 e MDT.

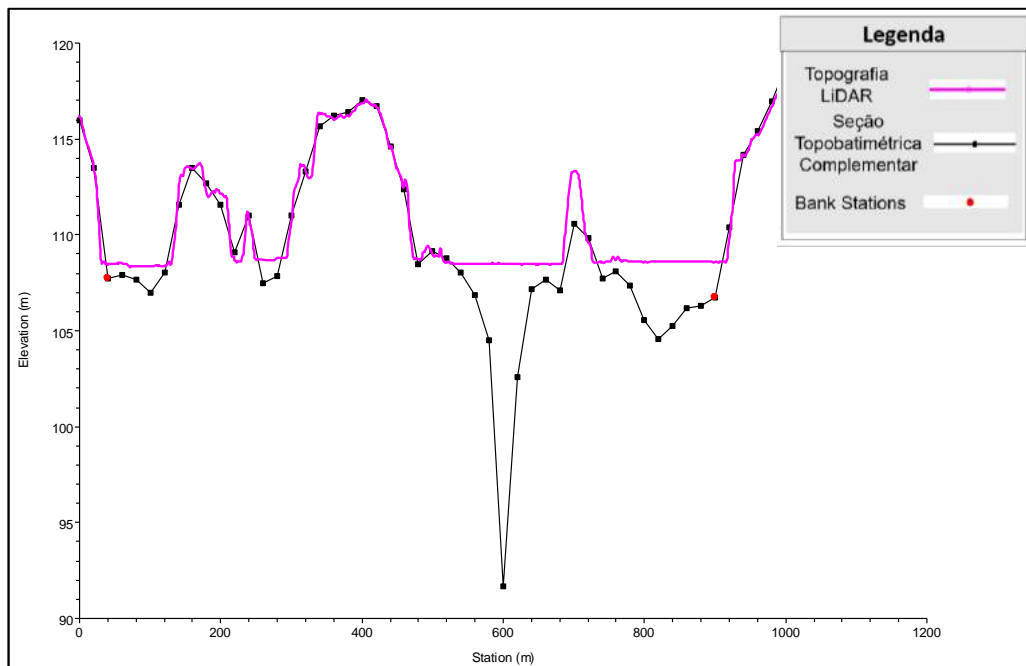


Figura 6-32 - Seção complementar SC-22 e MDT.

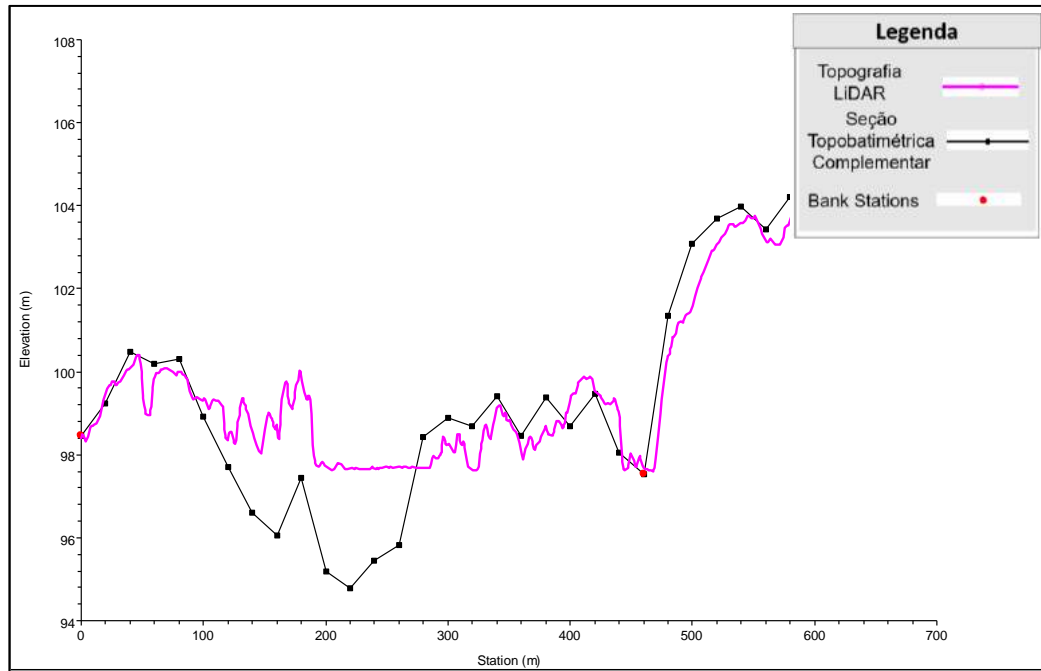


Figura 6-33 - Seção complementar SC-23 e MDT.

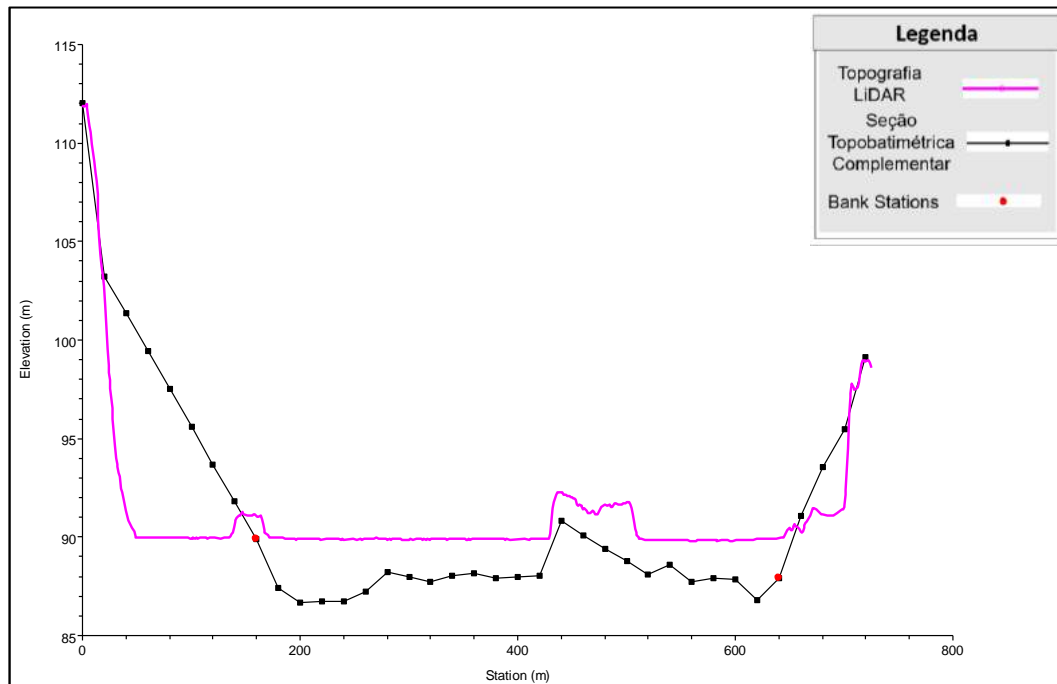


Figura 6-34 - Seção complementar SC-24 e MDT.

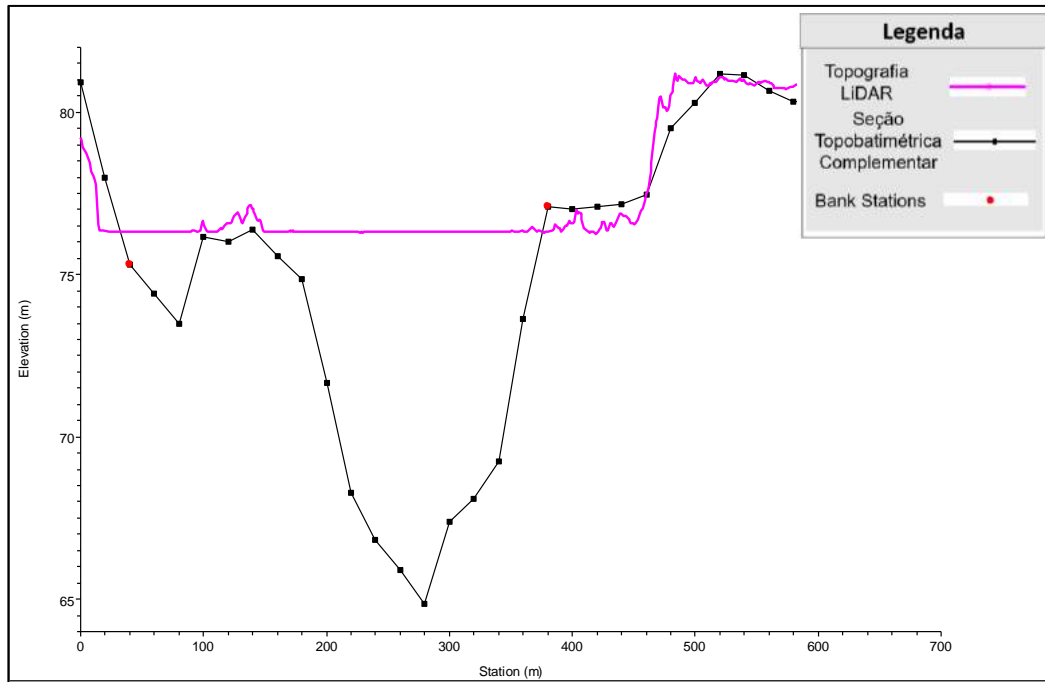


Figura 6-35 - Seção complementar SC-25 e MDT.

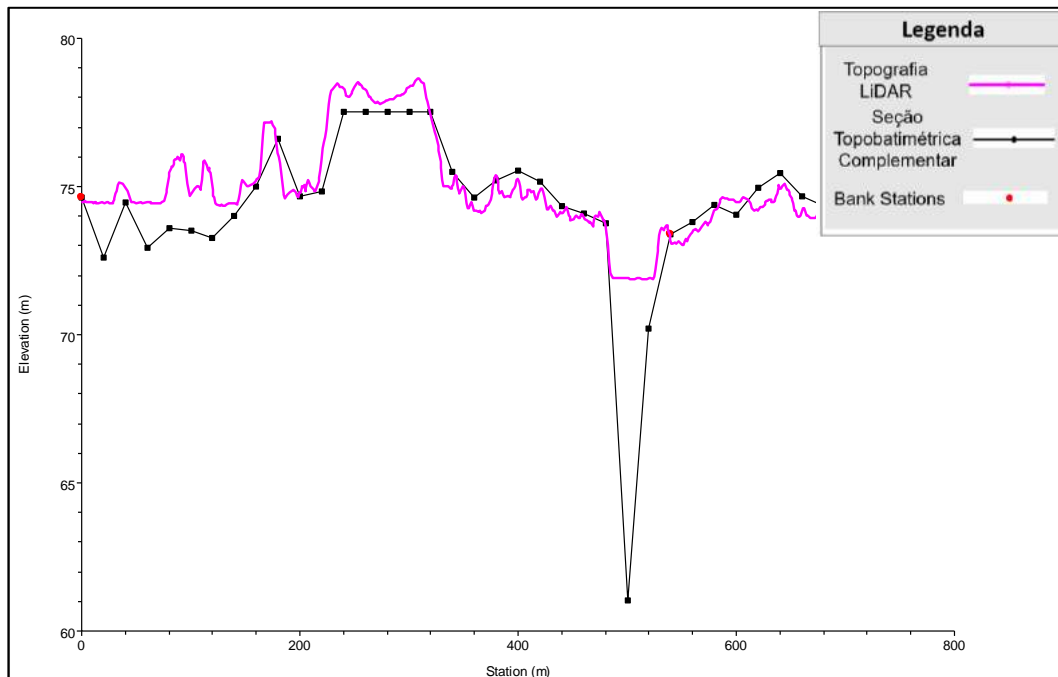


Figura 6-36- Seção complementar SC-26 e MDT.

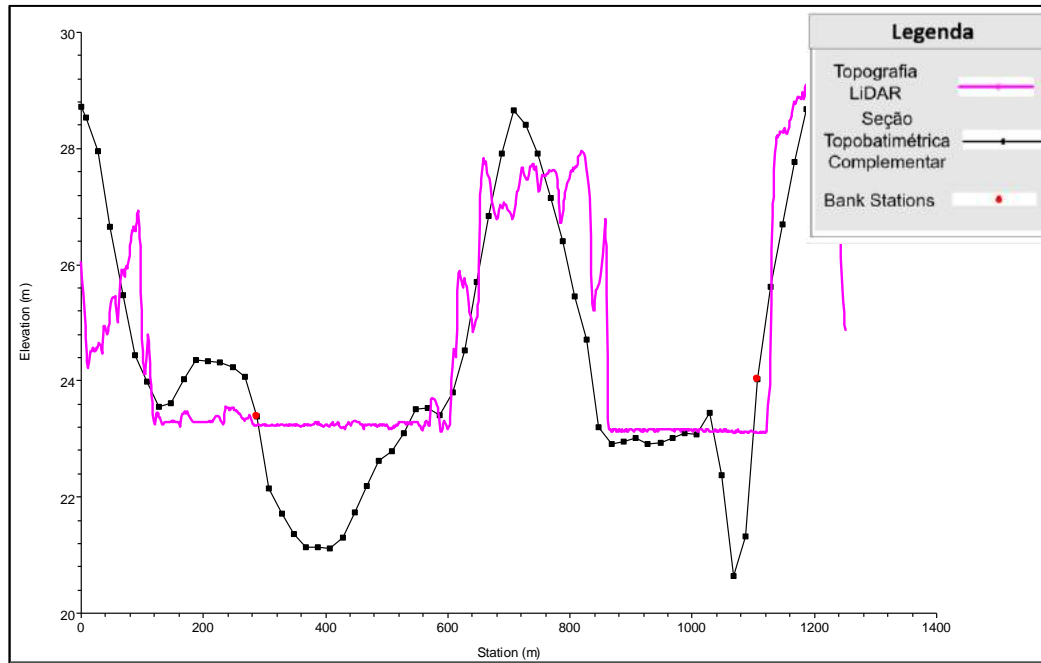


Figura 6-37- Seção complementar SC-27 e MDT.

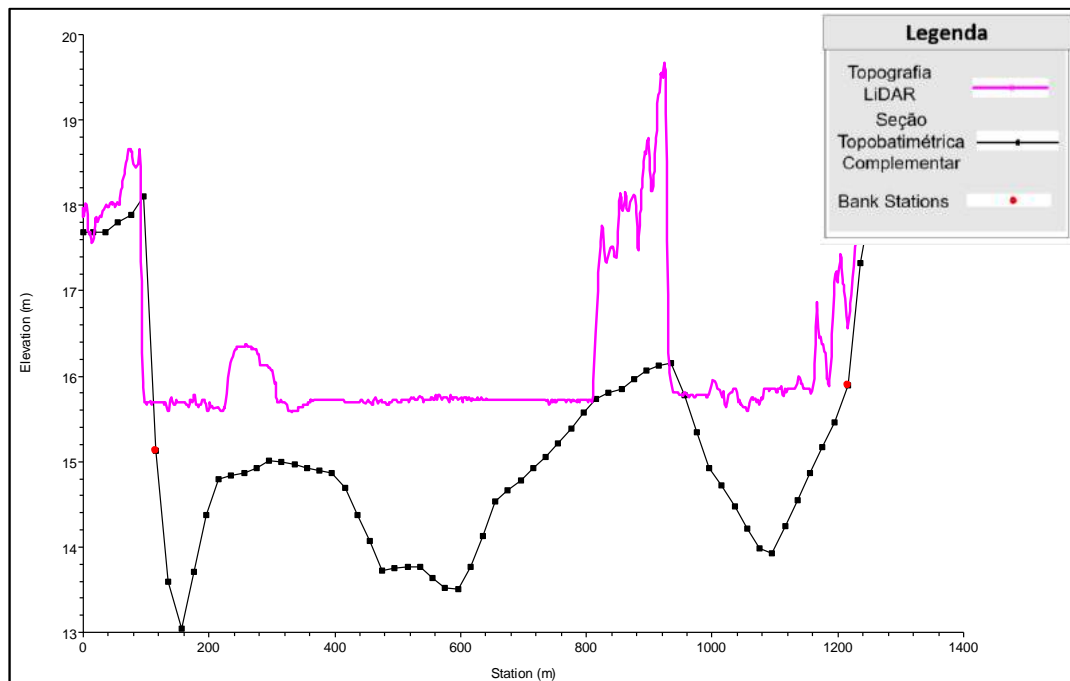


Figura 6-38- Seção complementar SC-28 e MDT.

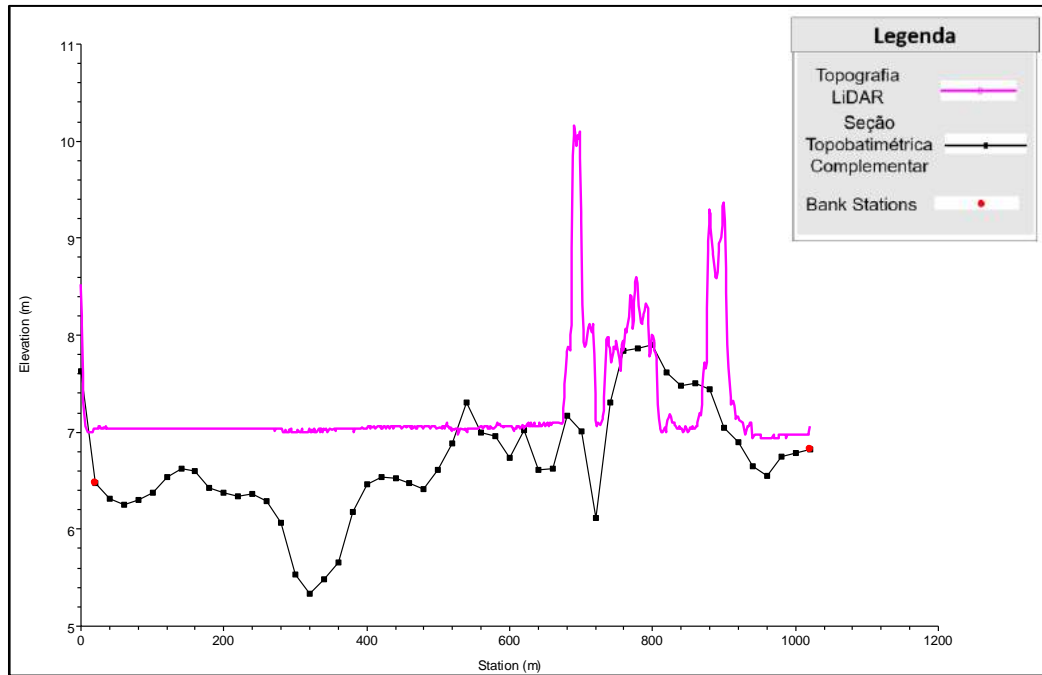


Figura 6-39- Seção complementar SC-29 e MDT.

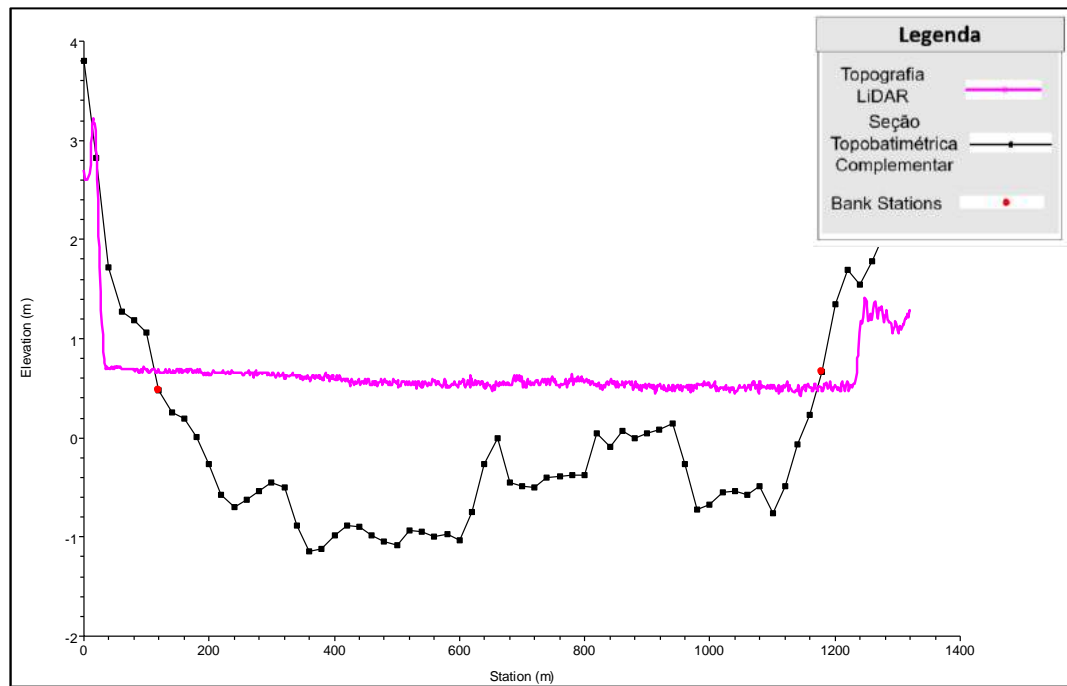


Figura 6-40- Seção complementar SC-30 e MDT.

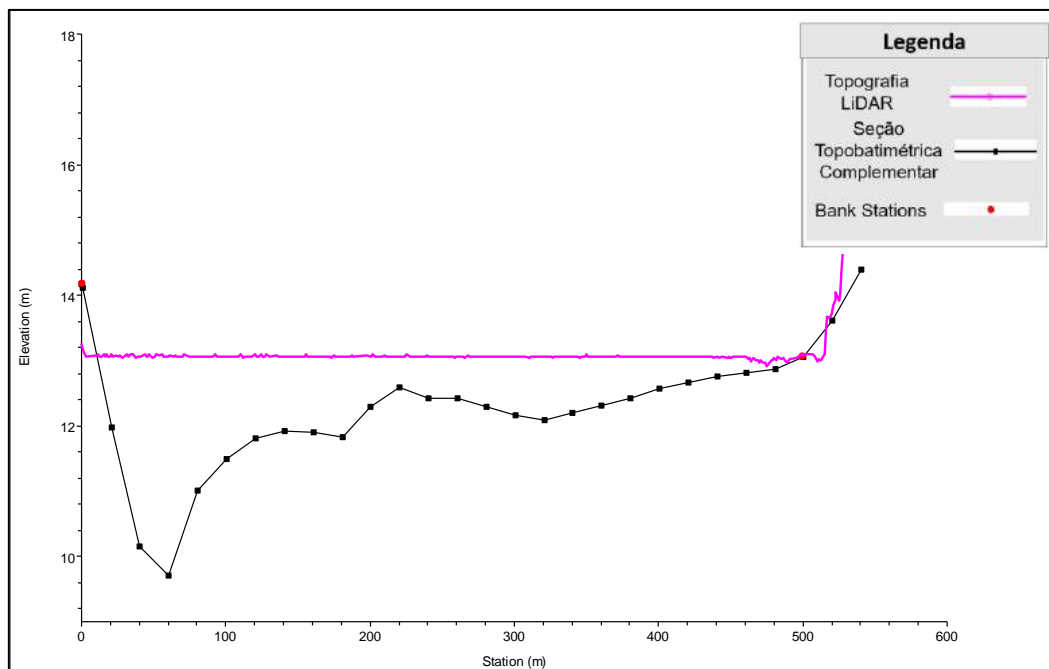


Figura 6-41- Seção complementar SC-31 e MDT.

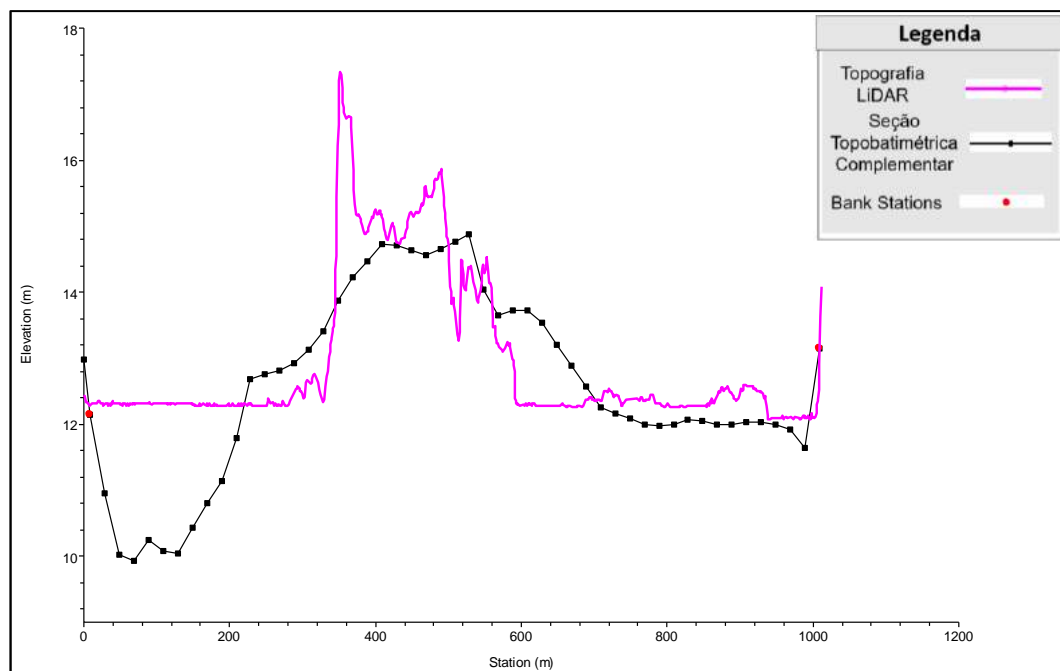


Figura 6-42- Seção complementar SC-32 e MDT.

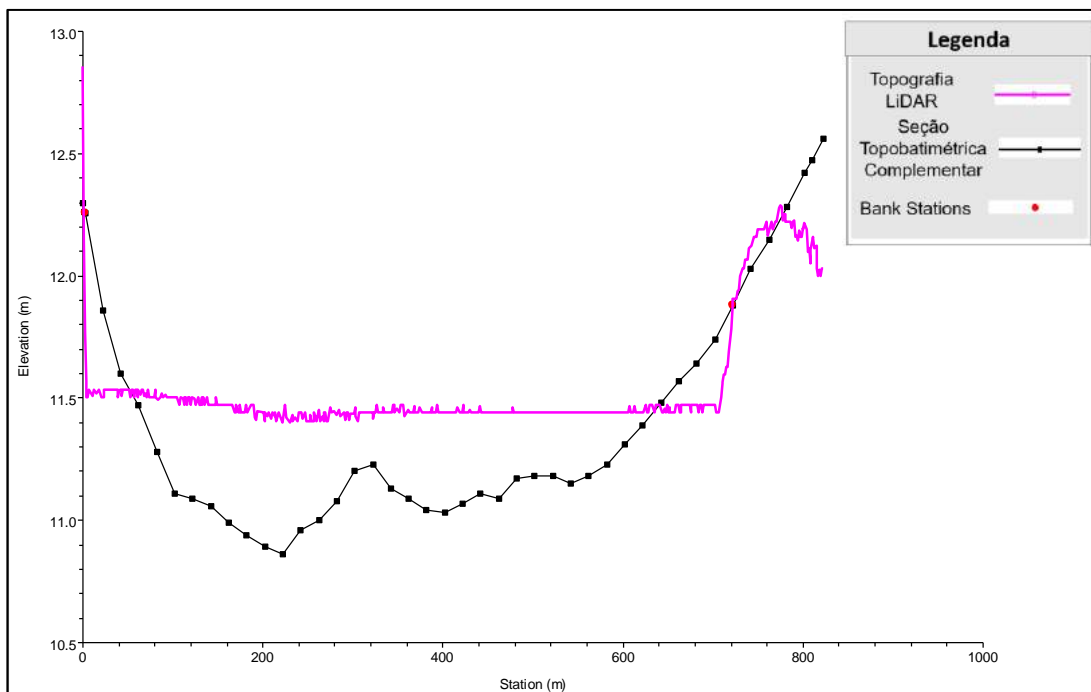


Figura 6-43- Seção complementar SC-33 e MDT.

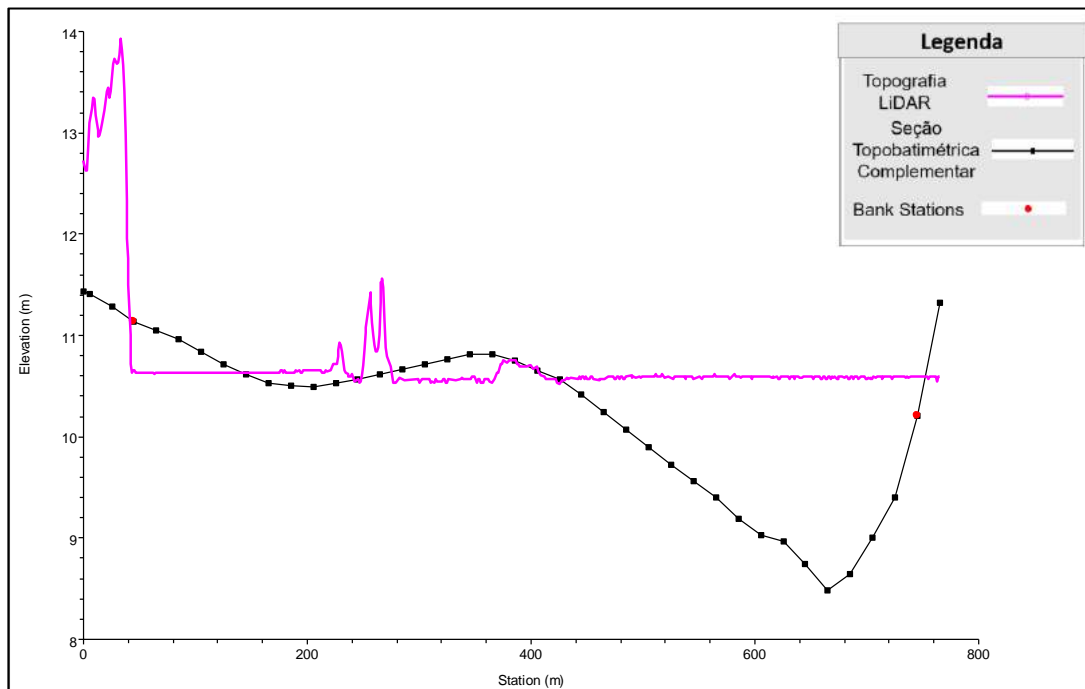


Figura 6-44- Seção complementar SC-34 e MDT.

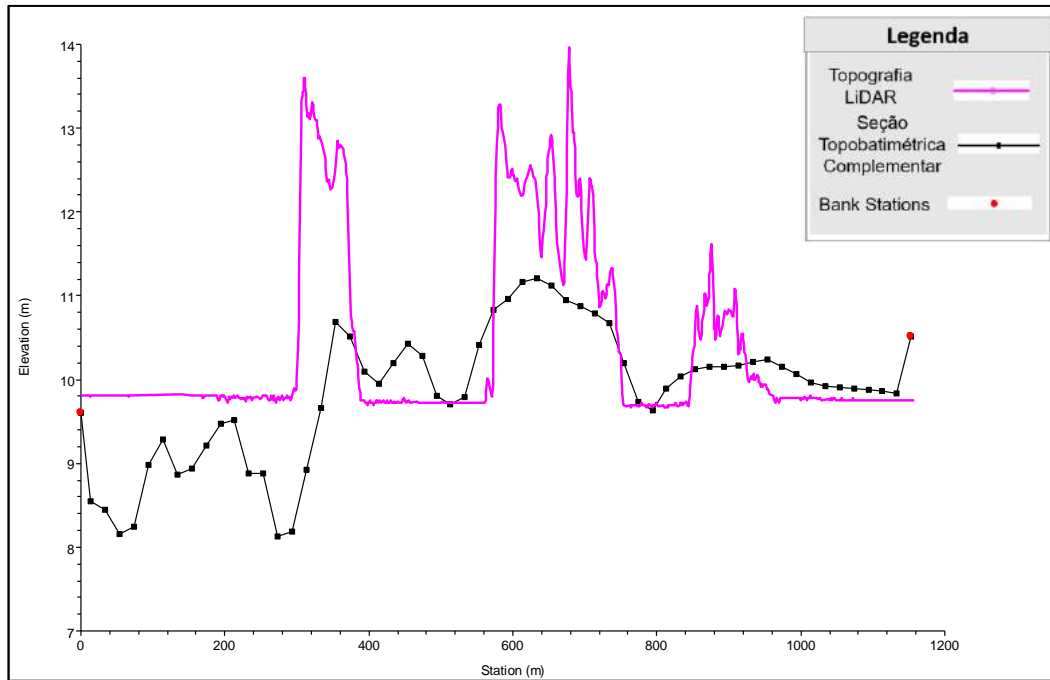


Figura 6-45- Seção complementar SC-35 e MDT.

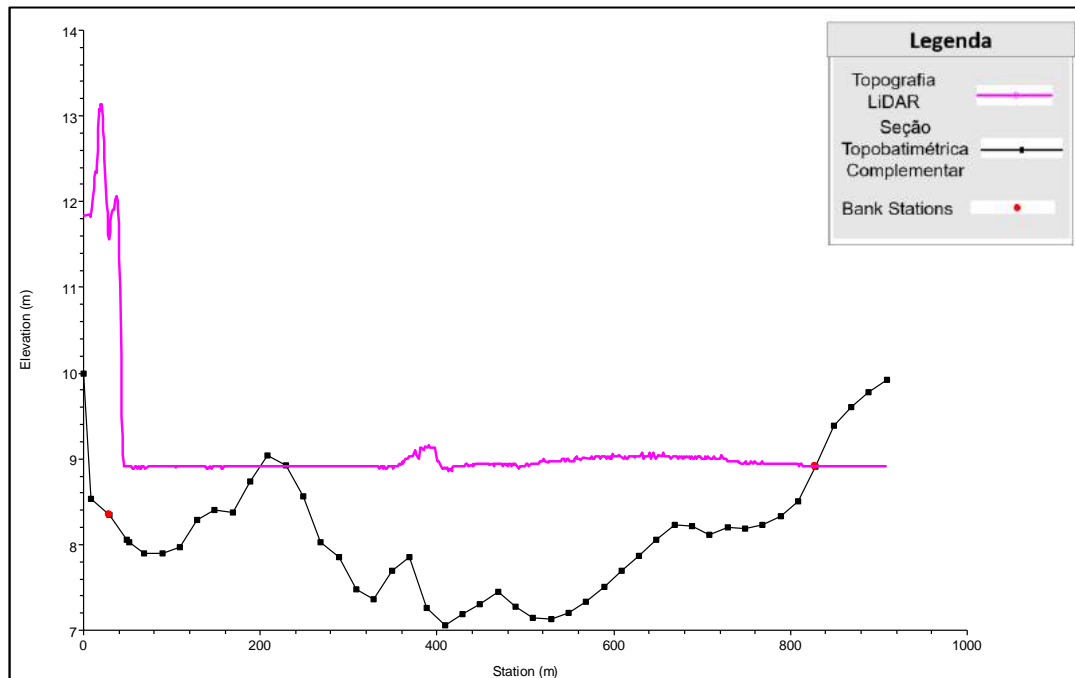


Figura 6-46- Seção complementar SC-36 e MDT.

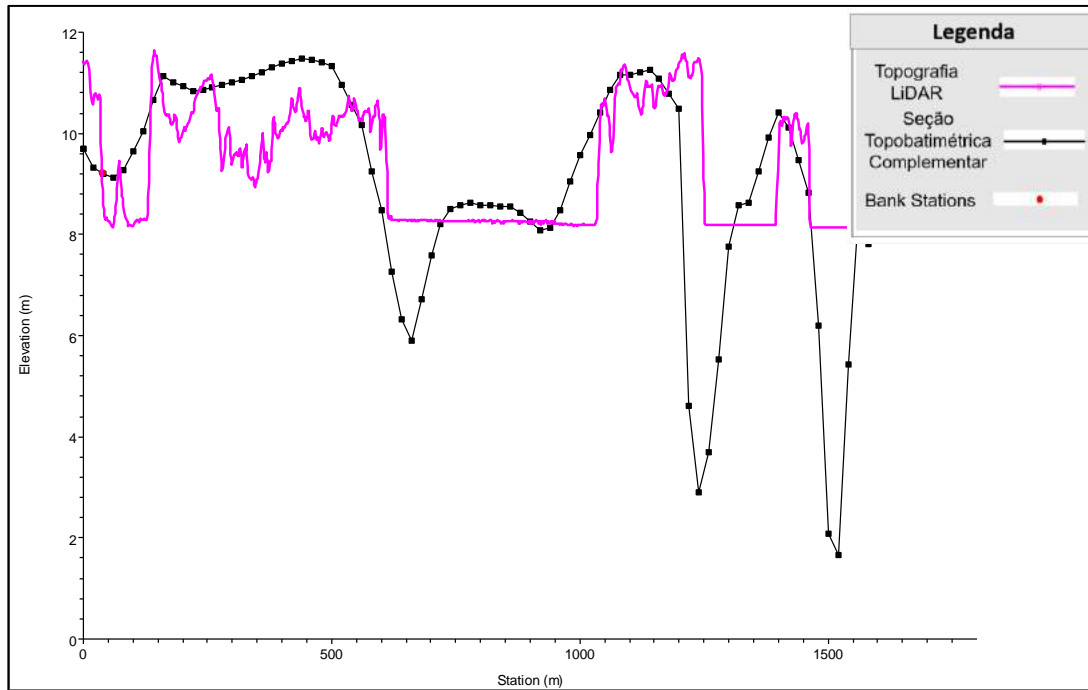


Figura 6-47- Seção complementar SC-37 e MDT.

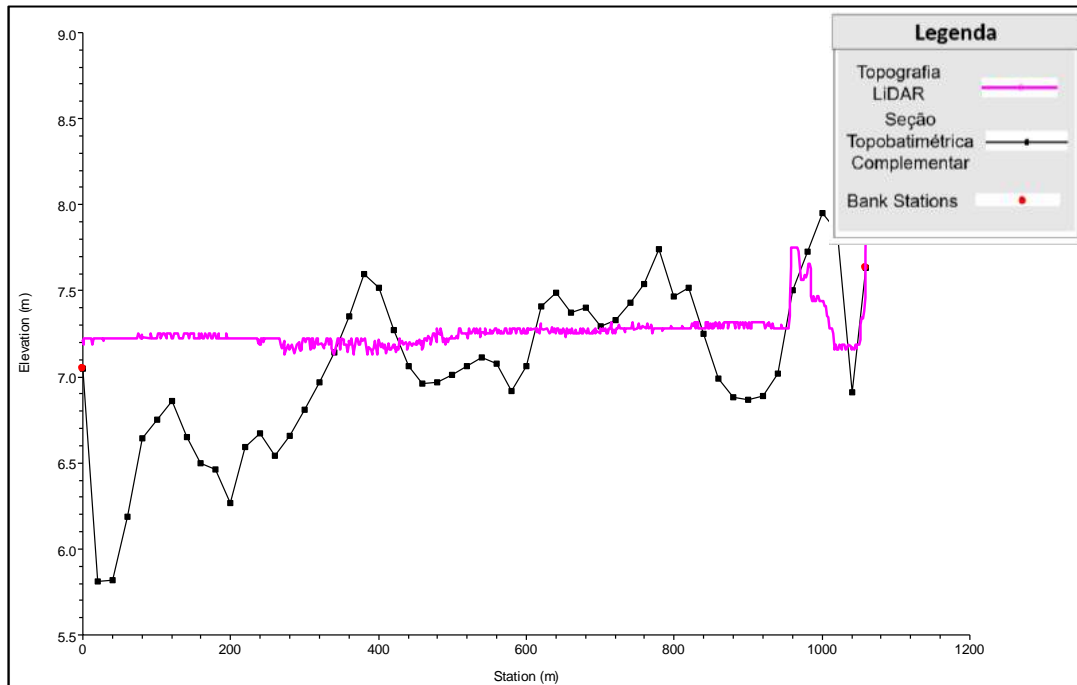


Figura 6-48- Seção complementar SC-38 e MDT.

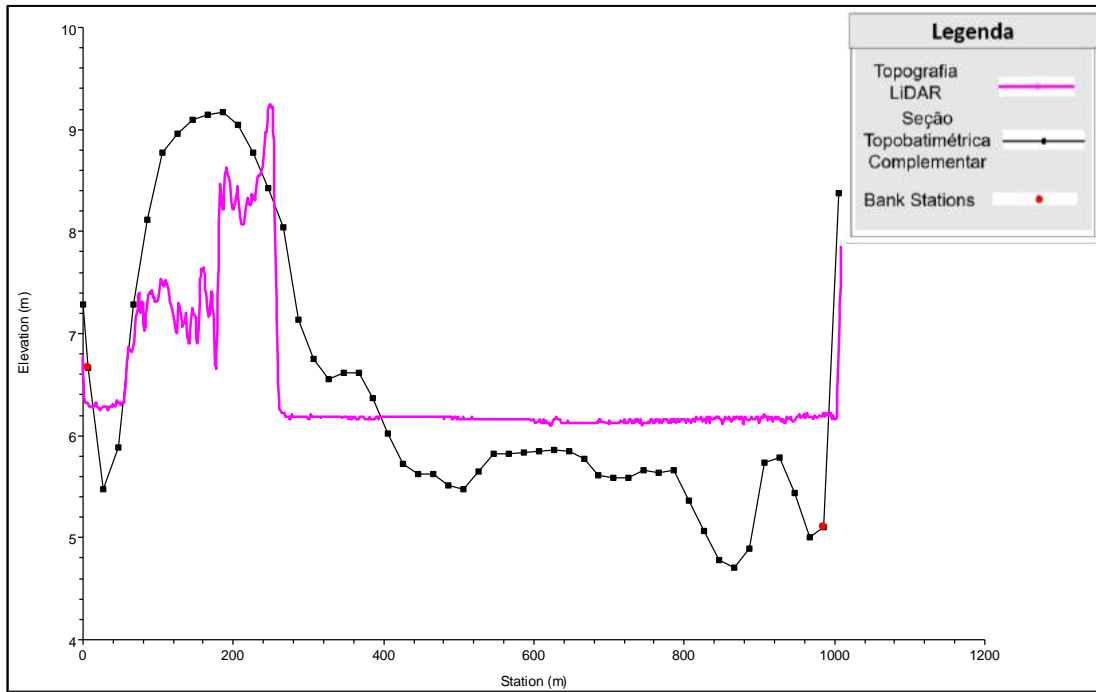


Figura 6-49- Seção complementar SC-39 e MDT.

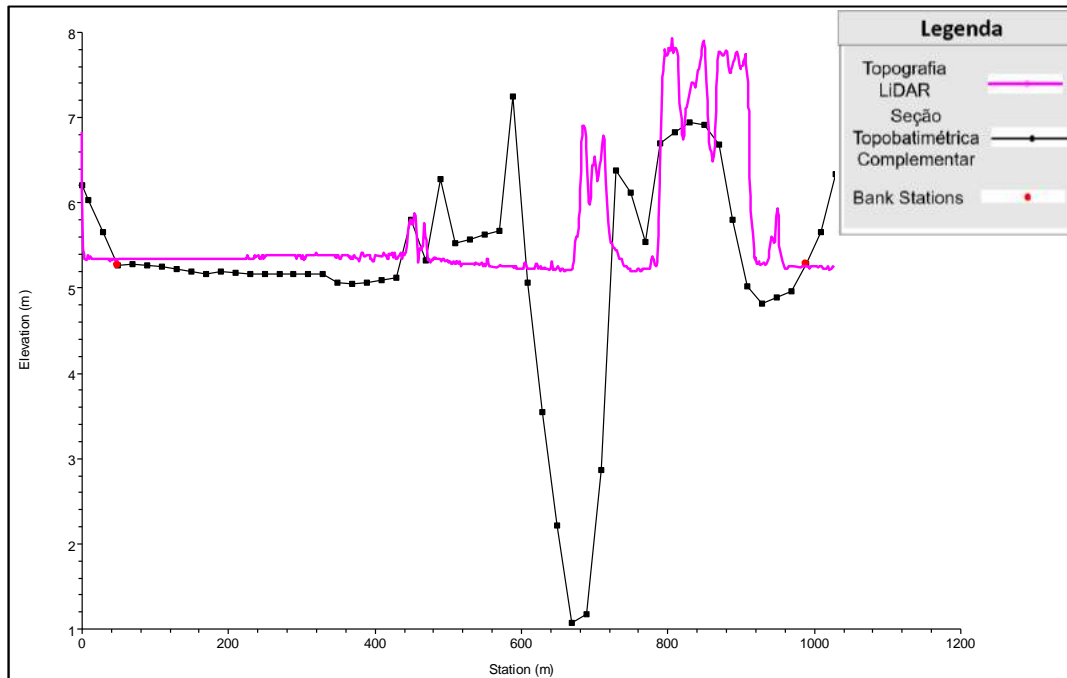


Figura 6-50- Seção complementar SC-40 e MDT.

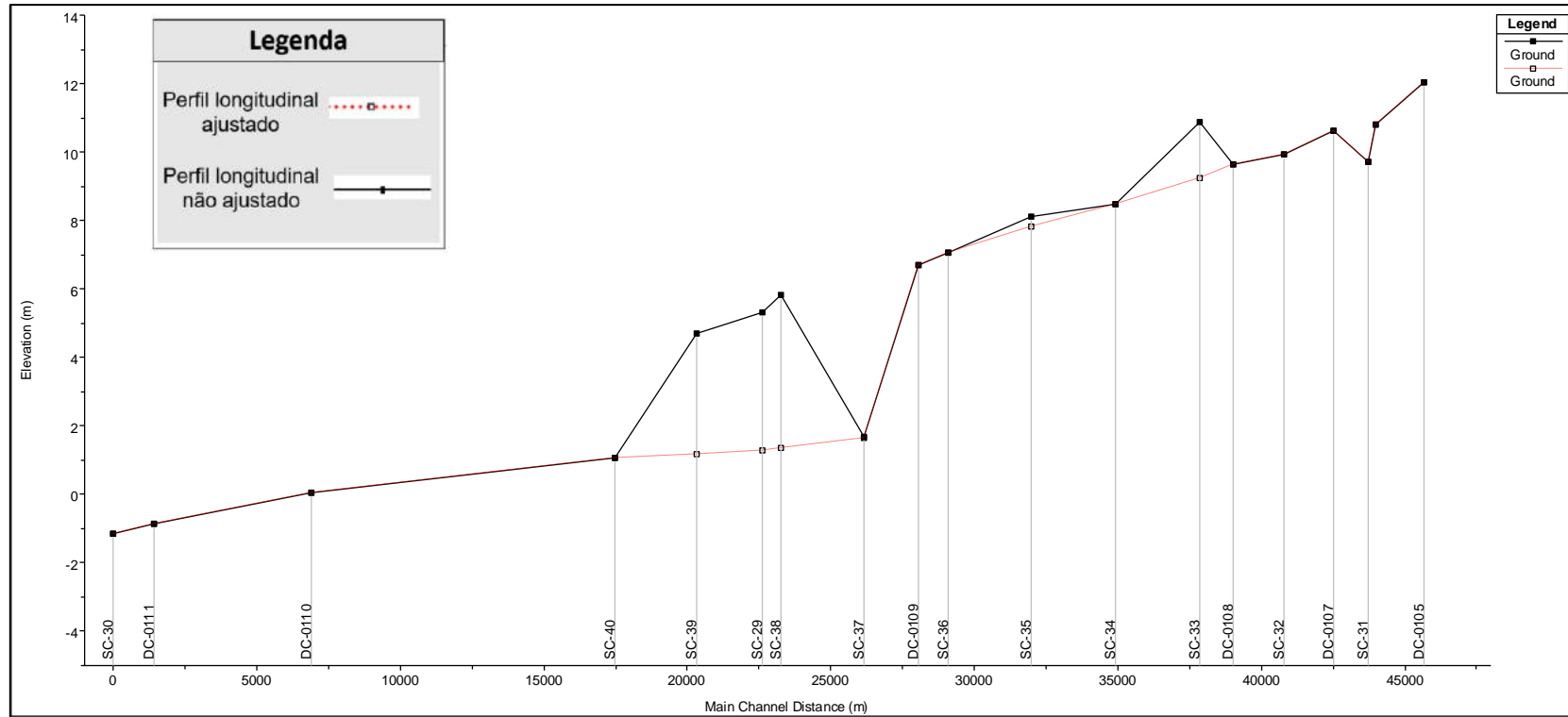


Figura 6-51 – Comparação entre perfil longitudinal ajustado (linha vermelha) e não ajustado (linha preta). (

6.4 Etapa 4 - Inserção da batimetria do rio no MDT

Esta etapa consiste na construção do modelo digital de terreno (MDT) com base na topografia da planície (LIDAR) e nas seções topobatimétricas disponibilizadas, pela ANA, CPRM e seções complementares, e tratadas conforme descrito nos itens supracitados. Para o desenvolvimento do modelo será utilizado o módulo *RAS MAPPER*, inserido junto ao *software* HEC-RAS, o qual permite a junção de dados topográficos de diferentes origens.

Para se trabalhar com seções topobatimétricas no HEC-RAS são necessários os seguintes dados: tabelas contendo distância acumulada e elevação de todas as seções utilizadas, traçado das linhas de corte de cada seção e traçado do talvegue, ambos em arquivo *shapefile*. O módulo RAS MAPPER apresenta ferramentas de geoprocessamento de modo que é possível inserir arquivos *shapefiles* e editá-los ou criar arquivos vetoriais. Este módulo foi utilizado na inserção das linhas de corte e talvegue na aba Map Layers onde é possível copiar as feições destes arquivos e inseri-las na aba Geometries. A **Figura 6-52** apresenta seções inseridas no módulo RAS MAPPER.

Posteriormente, no módulo GEOMETRIC DATA foram inseridas as tabelas de distância acumulada e elevação, além do nome de cada seção a partir da ferramenta *Cross Section Editor*, conforme exibido na **Figura 6-53**. A geometria contendo as seções transversais com tabelas, linhas de corte e talvegue foi então associada à topografia LiDAR, inserida no *RAS MAPPER* na aba *Terrains*, permitindo as análises e os ajustes descritos no item 6.3. Após serem finalizados todos os ajustes necessários e a definição da localização das *bank stations*, foi realizada a interpolação linear entre as seções levantadas em campo no módulo *GEOMETRIC DATA* com a ferramenta *XS Interpolation*. Esta ferramenta conecta o ponto de elevação mais baixa de cada seção a partir de uma declividade constante. O usuário define a distância máxima entre as seções e escolhe entre as opções de interpolação linear, que considera a distância entre as seções em linha reta ou interpolação perpendicular, que leva em conta os meandros e curvaturas do traçado do talvegue. A **Figura 6-54** apresenta a ferramenta *XS Interpolation*.

As seções interpoladas foram então ajustadas em relação à largura da calha a partir da ferramenta *Cross Section Editor*, multiplicando-se as distâncias acumuladas por fatores. Por último, no

módulo *RAS MAPPER*, exportou-se a superfície interpolada em Geotiff considerando a região apenas dentro da delimitação das *bank stations*. Os procedimentos executados se encontram esquematizados na **Figura 6-55**.

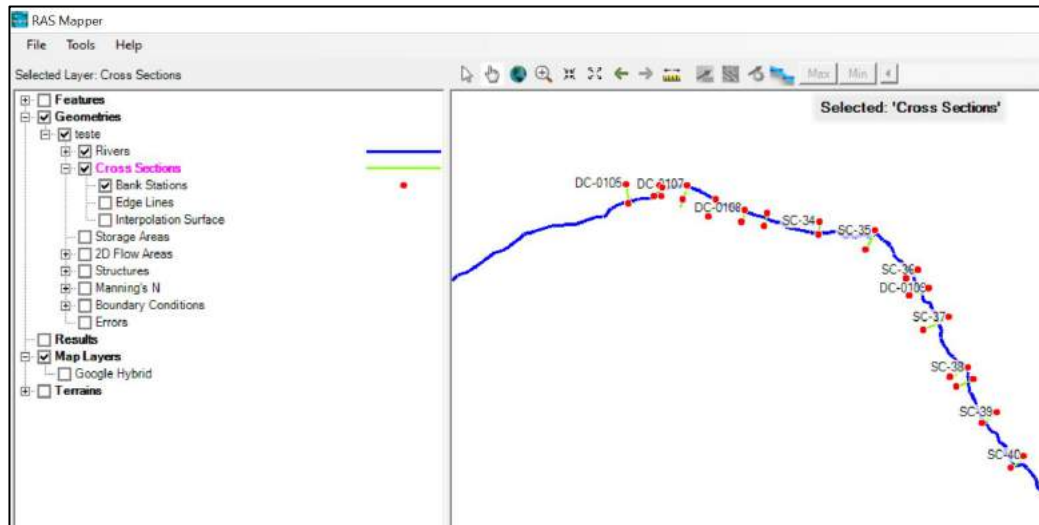


Figura 6-52 – Módulo *RAS MAPPER*.

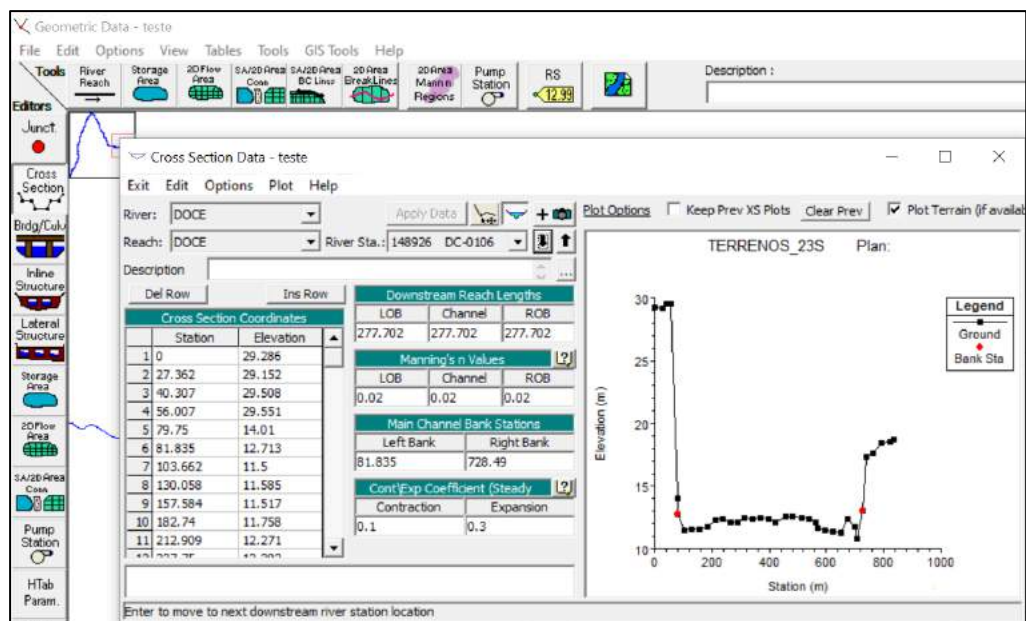


Figura 6-53 – Módulo *GEOMETRIC DATA*.

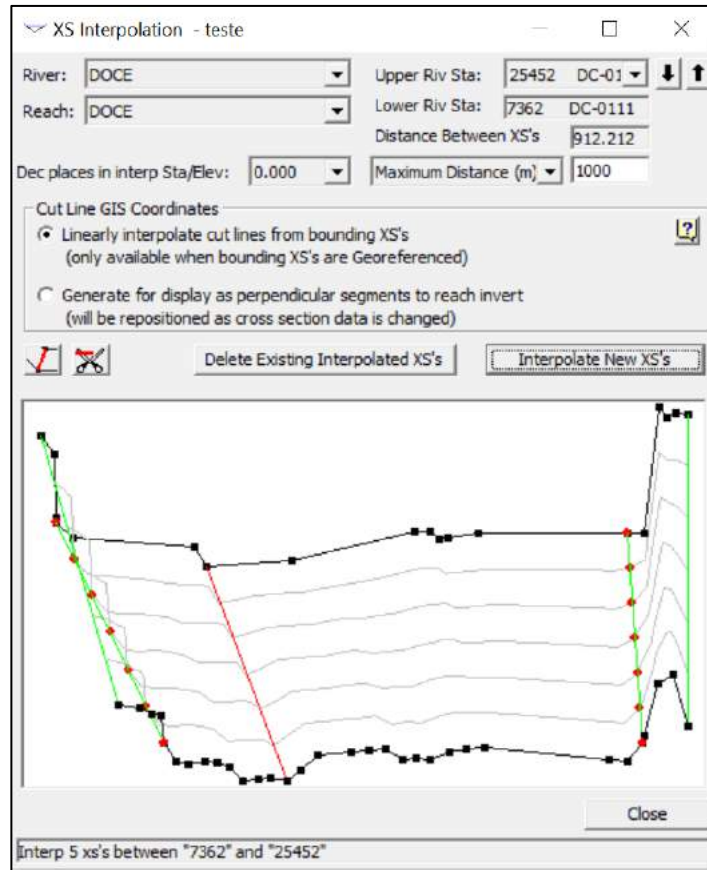


Figura 6-54 – Ferramenta *XS Interpolation*.

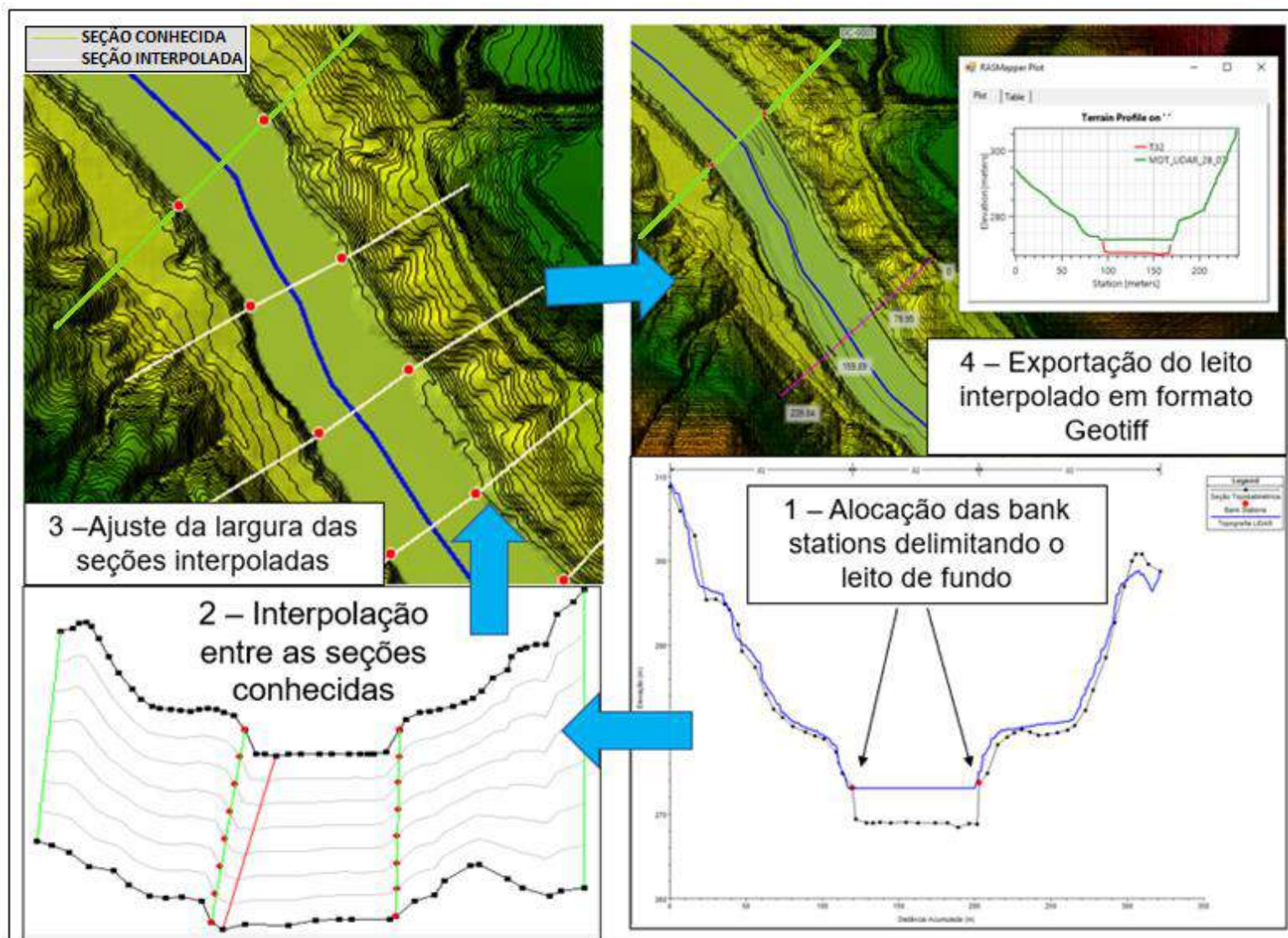


Figura 6-55 – Procedimentos para construção de MDT contemplando a batimetria e planície fluvial.

6.4.1 Considerações sobre trechos de corredeiras e cachoeiras

Nos trechos de corredeiras e cachoeiras, não há representação de batimetria nas seções topobatimétricas levantadas pela empresa Consominas Engenharia LTDA. Além disso, conforme informado no item 5, em tais trechos não foi possível realizar o levantamento de seções complementares pela questão da dificuldade de obtenção de anuências de proprietários para realização do serviço de campo e pela periculosidade da atividade, tendo em vista que levantamento foi realizado em período de cheia. Neste contexto, para a representação dos trechos de corredeiras e cachoeiras foram utilizadas as informações das seções topobatimétricas mais próximas em conjunto com a declividade e elevações presentes na topografia LiDAR.

Ao longo do trecho do rio Doce entre a UHE Risoleta Neves e a foz foram identificadas as seguintes cachoeiras e corredeiras ilustradas nas **Figura 6-56**, **Figura 6-57**, e **Figura 6-58**:

1. Cachoeira dos Óculos localizada entre as seções DC-0017 e DC-0018 no município de Pingo de água – MG;
2. Cachoeira sem nome localizada entre as seções DC-0017 e DC-0018 no município de Pingo de água – MG;
3. Cachoeira Ruínas da Ponte Queimada localizada entre as seções DC-0018 e DC-0019 no município de Pingo de água – MG;
4. Cachoeira Sant’Ana localizada entre as seções DC-0020 e DC-0021 no município de Bom Jesus do Galho-MG;
5. Cachoeira Escura localizada entre as seções DC-0031 e DC-0032 no município de Belo Oriente;
6. Cerca de dez pequenas quedas de água e corredeiras entre as seções DC-0083 e DC-0084 localizadas no trecho de vazão reduzida – TVR a jusante da UHE Aimorés no município de Aimorés – MG.

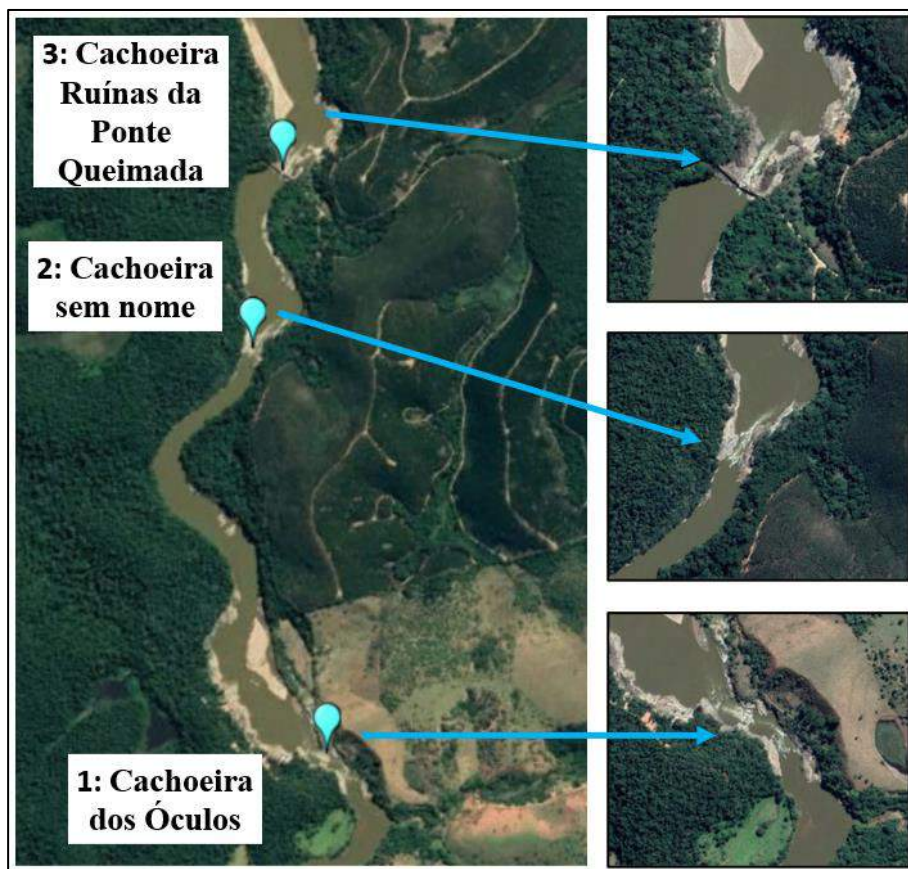


Figura 6-56 – Cachoeira dos óculos, cachoeira Ruínas da Ponte Queimada e cachoeira sem nome localizada entre as duas.

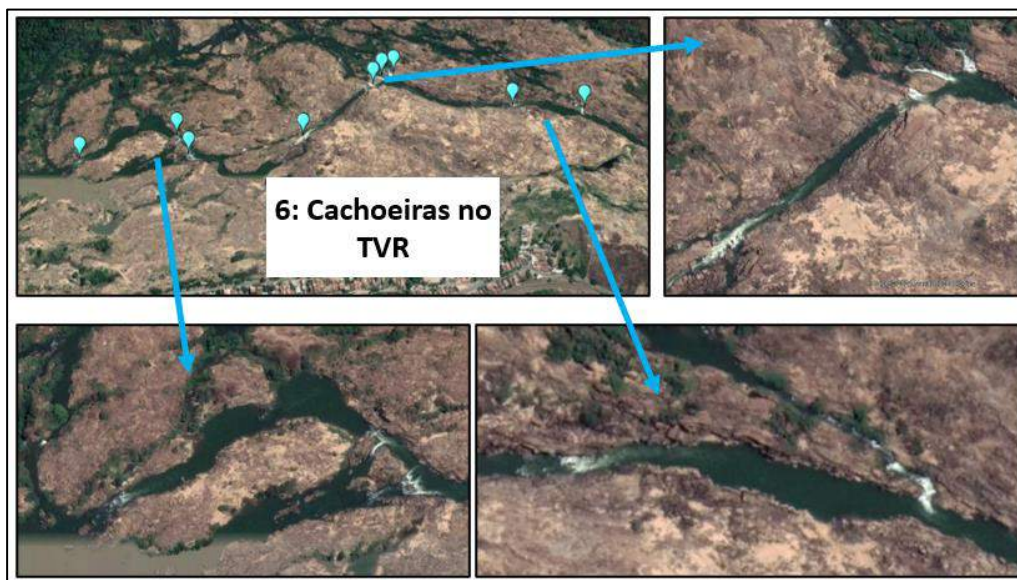


Figura 6-57- Cachoeiras situadas no trecho de vazão reduzida no município de Aimorés.

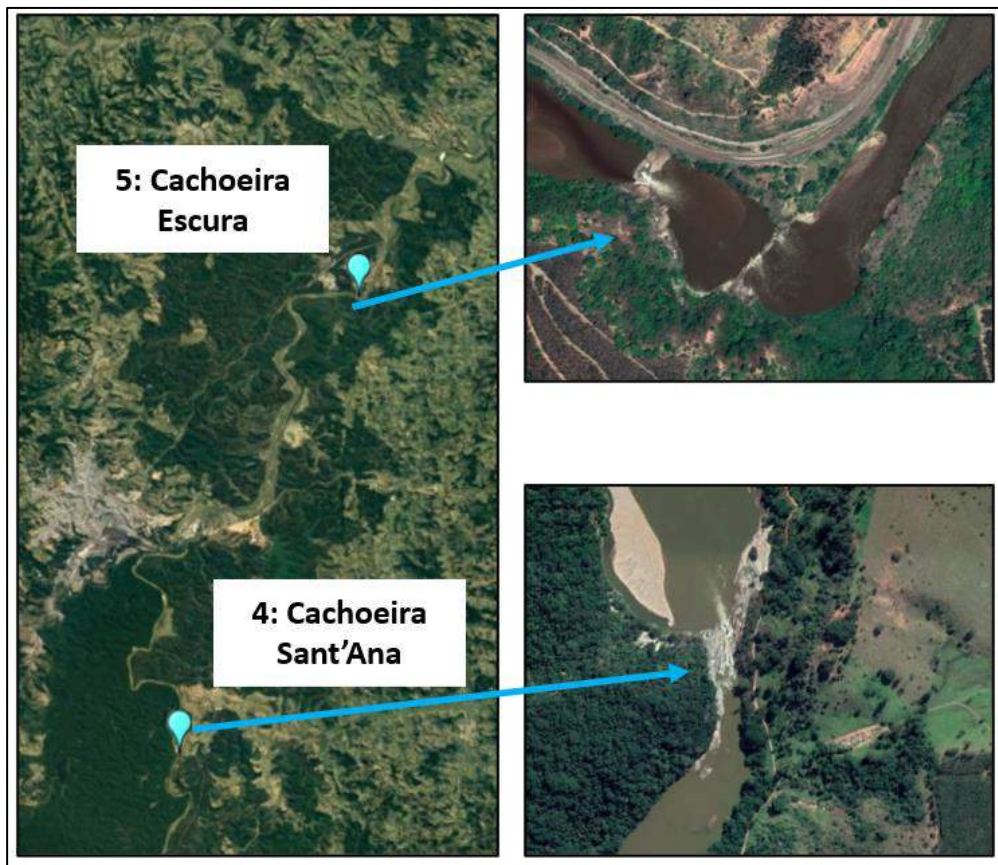


Figura 6-58 - Cachoeira Sant'Ana e cachoeira Belo Oriente.

Com relação à representação destas cachoeiras na topografia LiDAR nota-se a identificação de afloramentos rochosos, declives acentuados e estreitamento da seção hidráulica seguida por bacia de dissipação de energia, conforme ilustrado na **Figura 6-59**. A **Tabela 6-1** apresenta os declives de cada cachoeira de acordo com a topografia LiDAR. Estes declives e respectivas declividades foram mantidos na batimetria ajustada de modo que perfil longitudinal da batimetria do rio também contempla as quedas de água (**Figura 6-60**, **Figura 6-61** e **Figura 6-62**).

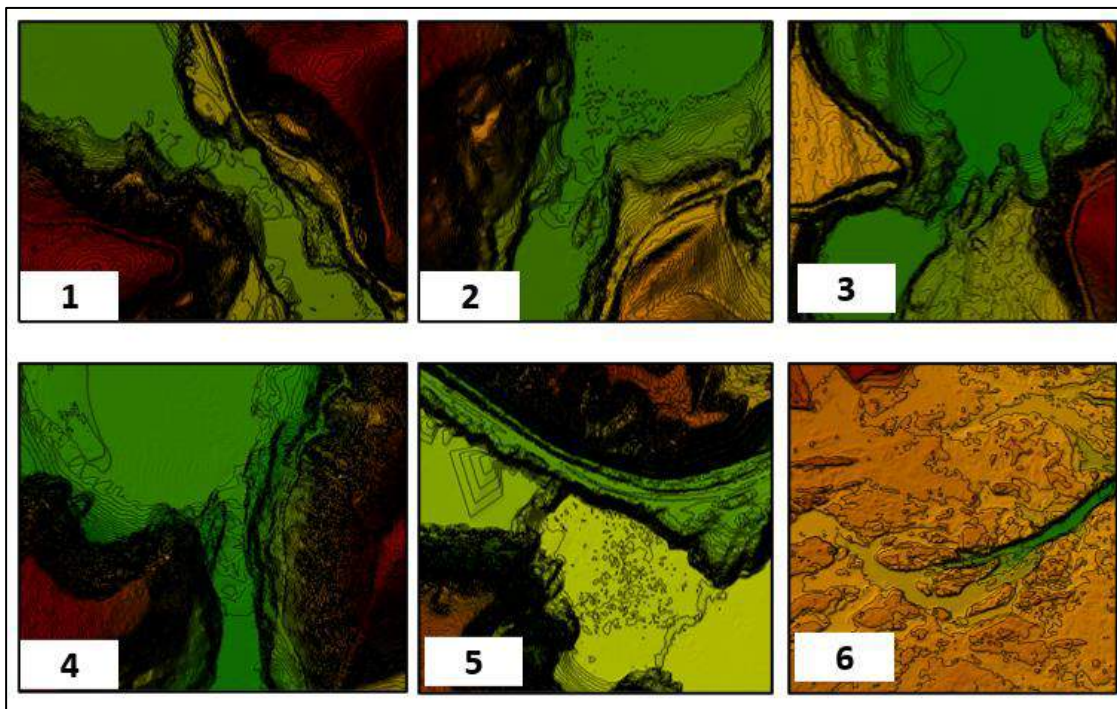


Figura 6-59 – Representações das cachoeiras no MDT LiDAR com curvas de nível a cada 0,5m. 1: Cachoeira dos Óculos, 2: Cachoeira sem nome, 3: Cachoeira Ruínas da Ponte Queimada, 4: Cachoeira Sant’Ana, 5: Cachoeira Escura, 6: Queda de água localizada no TVR.

Tabela 6-1 – Declives identificados em cachoeiras segundo a topografia LiDAR.

Cachoeira	Declive topografia LiDAR
1: Cachoeira dos Óculos	4 metros
2: Cachoeira sem nome	2,7 metros
3: Cachoeira Ruínas da Ponte Queimada	4,2 metros
4: Cachoeira Sant’Ana	6,0 metros
5: Cachoeira Escura	8,0 metros
6: Quedas de água localizadas no TVR	Entre 1,0 e 3,0 metros

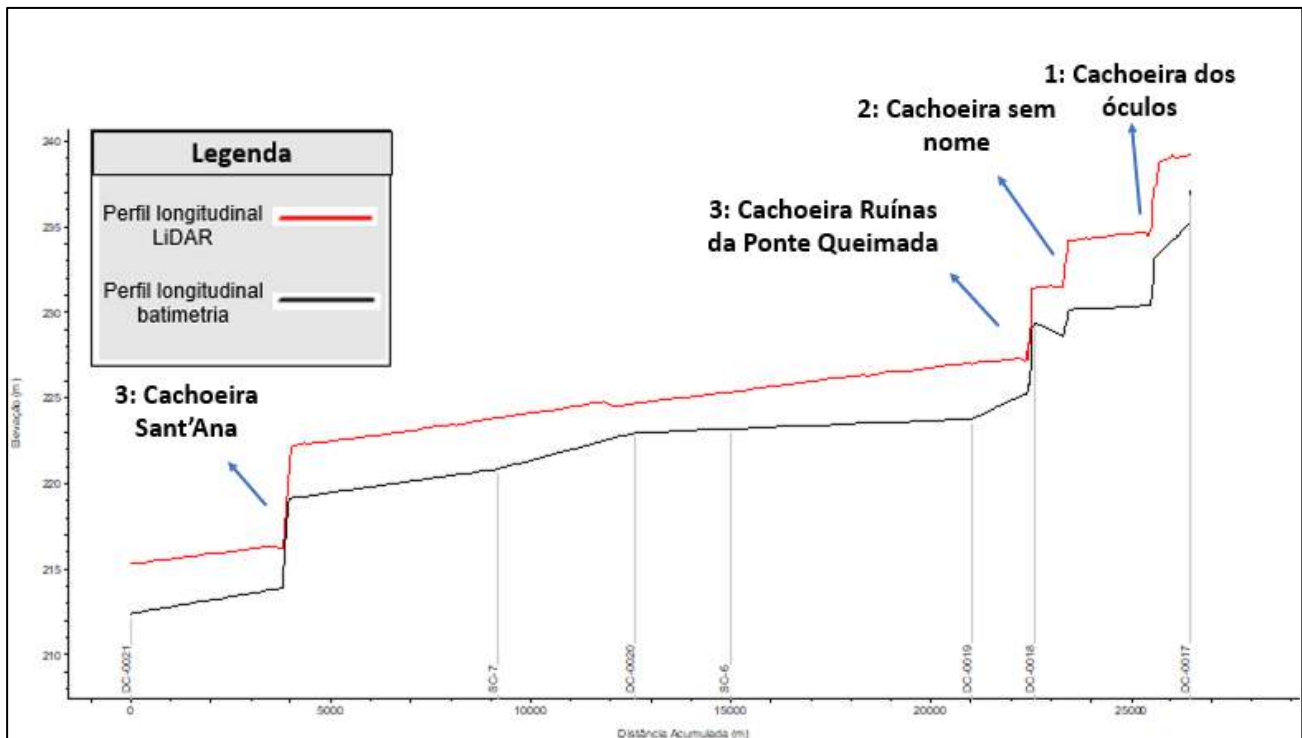


Figura 6-60 – Comparação entre o perfil longitudinal da topografia LiDAR e perfil longitudinal da batimetria entre as seções DC-0017 e DC-0021.

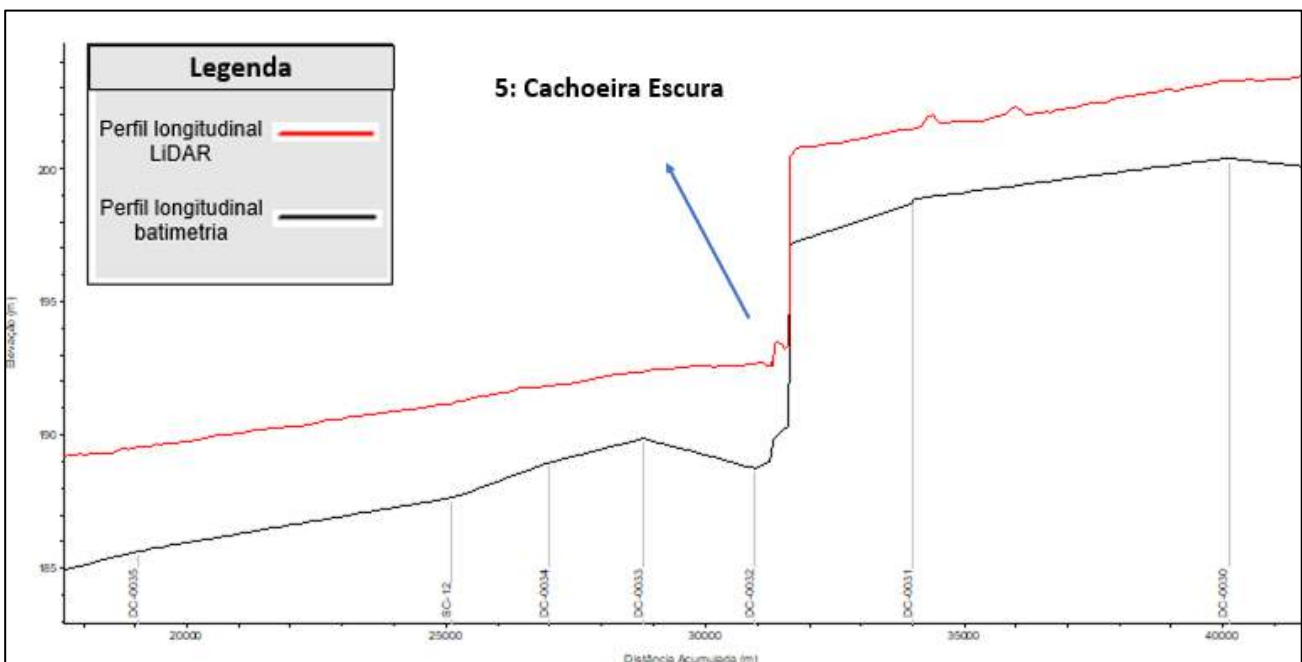


Figura 6-61 - Comparação entre o perfil longitudinal da topografia LiDAR e perfil longitudinal da batimetria entre as seções DC-0030 e DC-0035.

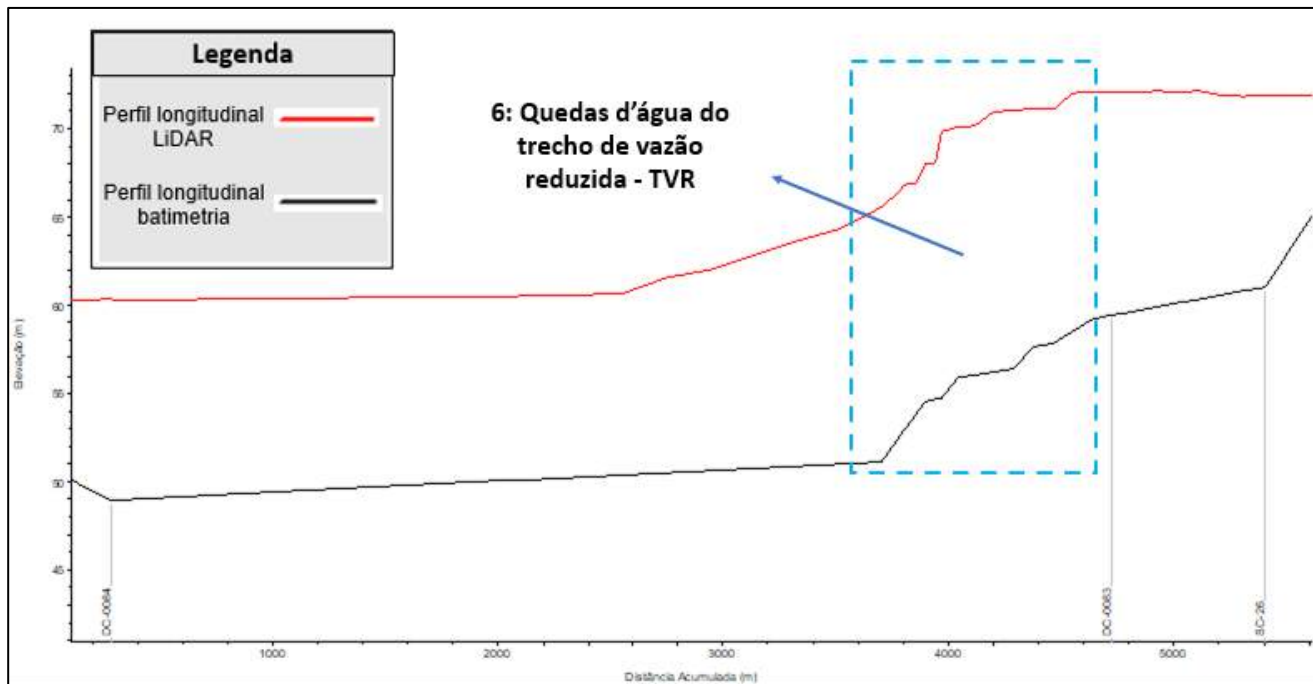


Figura 6-62 - Comparação entre o perfil longitudinal da topografia LiDAR e perfil longitudinal da batimetria entre as seções DC-0083 e DC-0084.

6.5 Etapa 5 - Inserção da batimetria dos reservatórios das usinas hidrelétricas Baguari, Aimorés e Mascarenhas

Foram solicitados, via reunião gerencial nº 14/2020 da CT-GRSA no dia 29/07/2020 e posteriormente via ofícios da FEAM/CT - GRSA (Nº. 52/2020, 14/08/2020) e da Fundação Renova (UHE Aimorés - FR.2020.1636.01 13/10/20, UHE Baguari - FR.2020.1608 13/10/20, UHE Mascarenhas FR.2020.1636.02 13/10/20), os dados das usinas hidrelétricas que estão localizadas na área de influência dos estudos, UHE Baguari, Aimorés e Mascarenhas. Entre os dados solicitados estão: batimetrias dos reservatórios, curvas de descargas dos vertedouros, manual de operação das usinas, entre outros.

Para a elaboração do modelo digital de terreno são necessários os dados das batimetrias dos reservatórios, cujos itens a seguir descrevem como esses foram utilizados para cada uma das usinas.

6.5.1 UHE Baguari

Os dados disponibilizados para utilização nesse estudo foram levantados em 2019 e incluem relatórios técnicos, arquivos no formato *shapefile* das isóbatas e das curvas de nível da área seca e arquivo Geotiff da batimetria do reservatório. A **Figura 6-63** apresenta as curvas de nível da batimetria (isóbatas) e as curvas de nível da área seca referentes ao levantamento topobatimétrico da UHE Baguari.

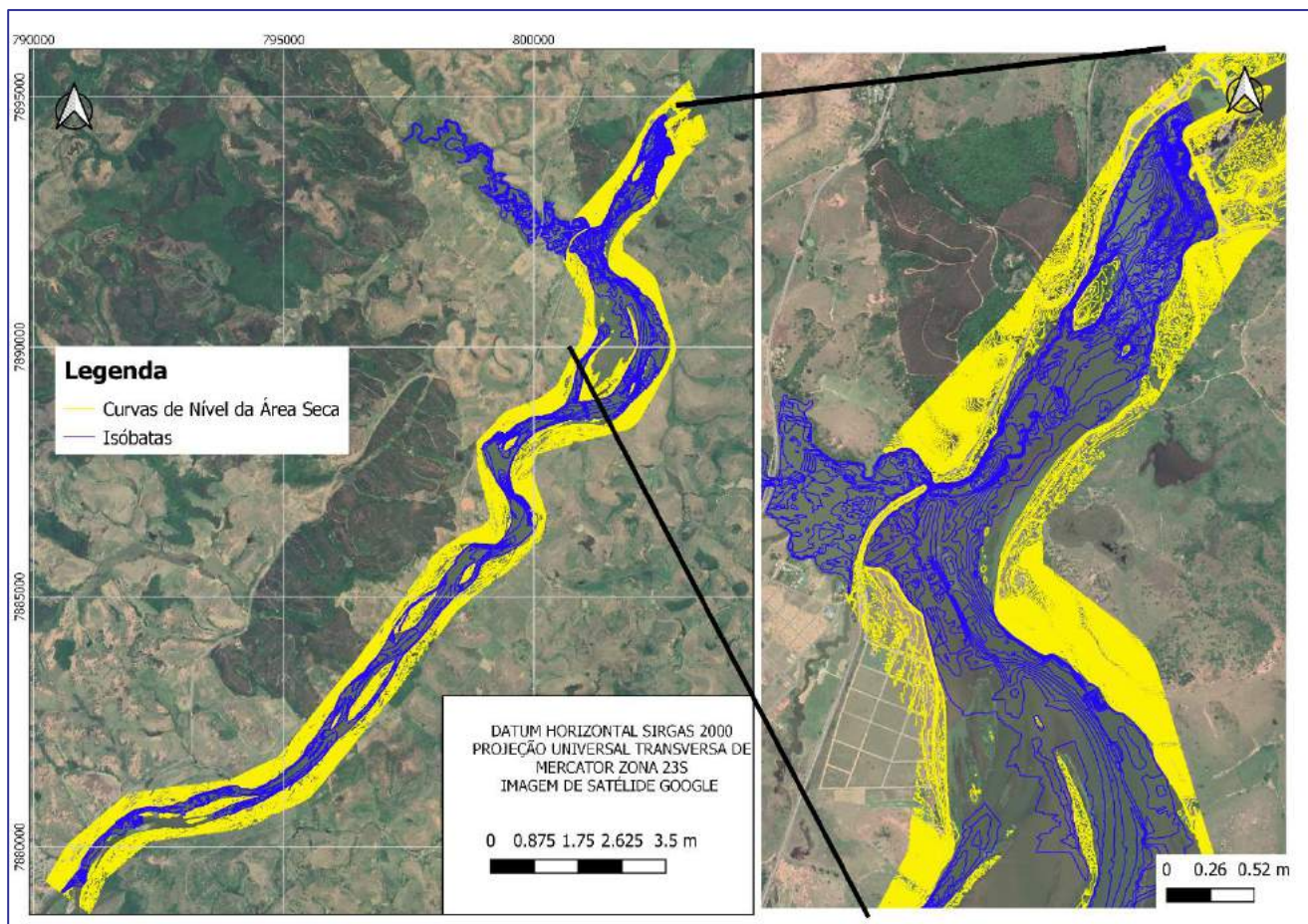


Figura 6-63 – Curvas de nível da área seca e isóbatas do reservatório de Baguari.

Conforme mencionado, além do arquivo das isóbatas em *shapefile*, a batimetria também foi disponibilizada em formato Geotiff. Notou-se, porém, que o arquivo Geotiff não representa bem a

batimetria das isóbatas, demonstrando erros de interpolação. Logo, para se obter um modelo digital de terreno referente à essa batimetria, utilizou-se o *software* QGIS para converter as curvas da topografia das áreas secas e as isóbatas em arquivo matricial no formato Geotiff. A comparação entre as isóbatas, o arquivo Geotiff disponibilizado e o arquivo Geotiff gerado a partir da interpolação linear é apresentado na **Figura 6-64**, em que é possível notar que o arquivo gerado por interpolação linear representa melhor a batimetria das isóbatas.

Para inserção da batimetria do reservatório Baguari em conjunto com a batimetria do rio Doce foi utilizado o *software* HEC-RAS v 5.0.7, onde a seção topobatimétrica mais próxima a montante do reservatório foi interpolada à sua batimetria. A **Figura 6-65** apresenta a comparação entre a topografia LiDAR disponibilizada e a topografia LiDAR com a batimetria do reservatório Baguari inserida.

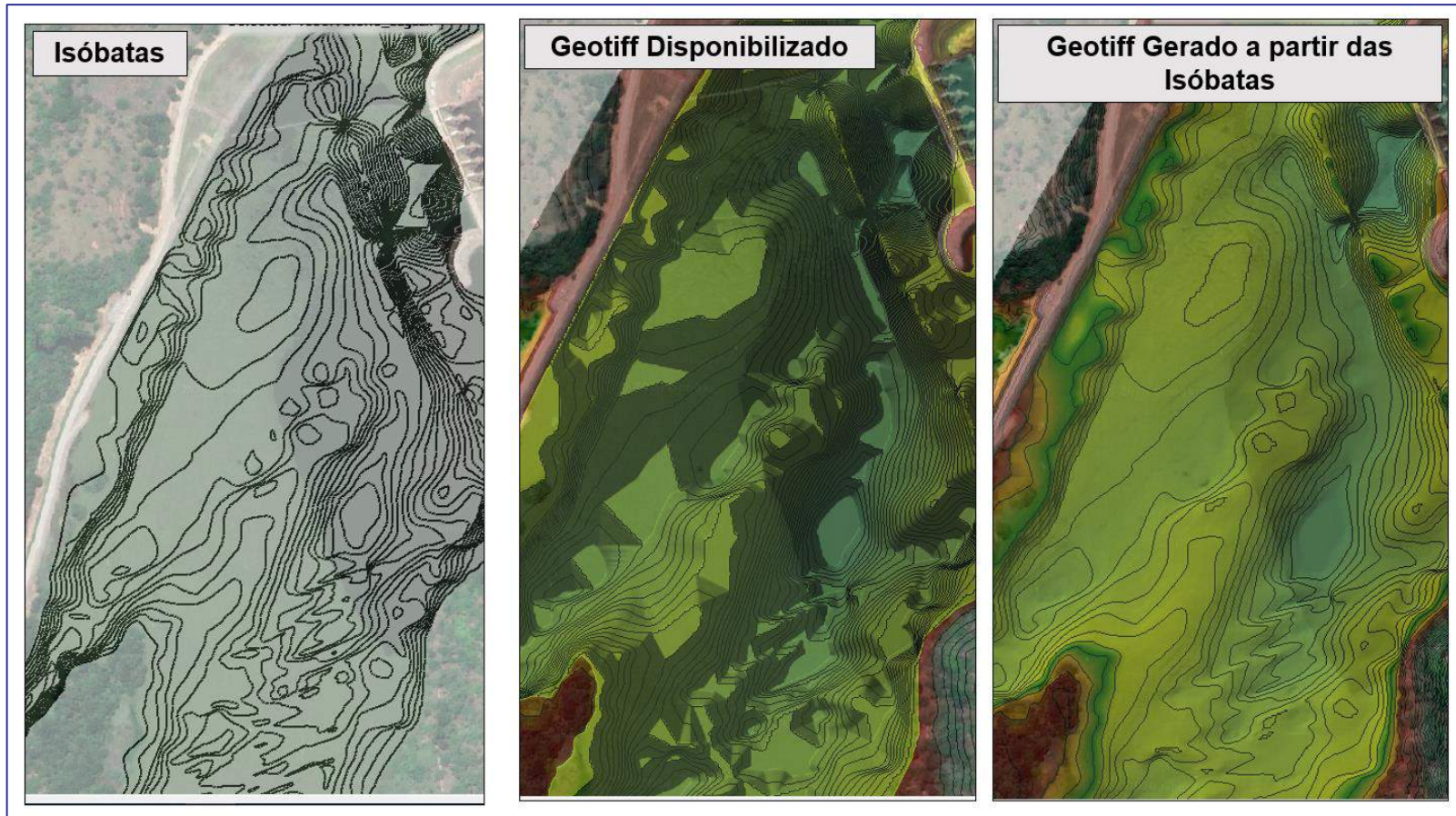


Figura 6-64 – Comparação entre as isóbatas, o arquivo Geotiff disponibilizado e o arquivo Geotiff gerado a partir da interpolação linear entre as isóbatas.

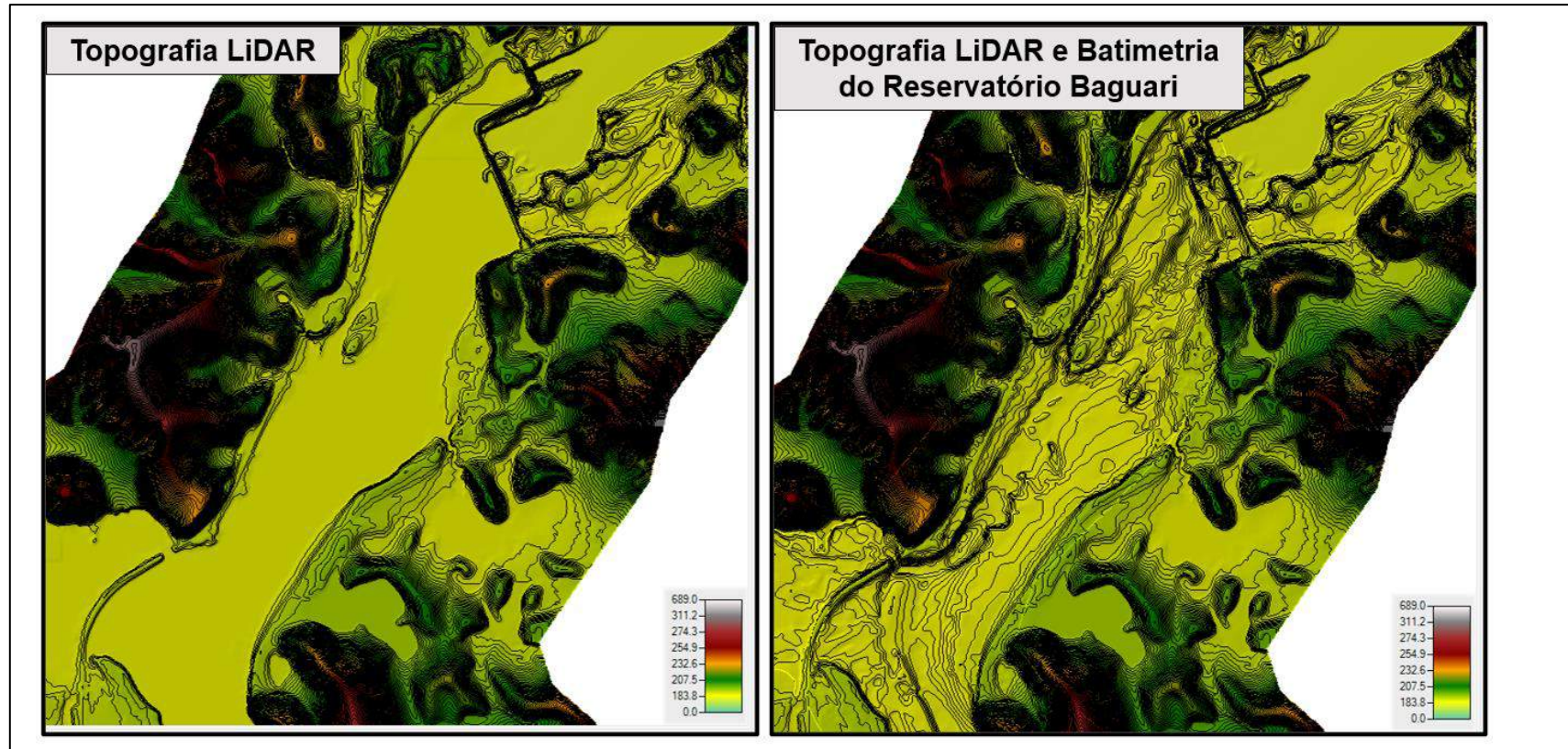


Figura 6-65 - Comparação entre a topografia LiDAR e a topografia LiDAR com a batimetria do reservatório Baguari inserida.

6.5.1 UHE Aimorés

Os dados disponibilizados para utilização nesse estudo incluem topobatimetria de diferentes datas entre 2014 e 2020. A partir da análise das topobatimetrias mais recentes (2019 e 2020) optou-se pela utilização da batimetria do ano de 2019 tendo em vista que as batimetrias das outras datas não apresentam o levantamento do trecho do Córrego Vala Seca. Além disso, a topografia LiDAR e muitas seções topobatimétricas utilizadas também datam de 2019.

O dado da topobatimetria de 2019 disponibilizado corresponde a curvas de nível e isóbatas no formato DWG. Este dado foi convertido em *shapefile* (**Figura 6-66**) e posteriormente, com o auxílio do *software* QGIS, converteu-se as curvas da topografia e as isóbatas em arquivo matricial no formato Geotiff. Para inserção da batimetria do reservatório Aimorés em conjunto com a batimetria do rio Doce foi utilizado o *software* HEC-RAS v 5.0.7, onde a seção topobatimétrica mais próxima a montante do reservatório foi interpolada à sua batimetria. A **Figura 6-67** apresenta a comparação entre a topografia LiDAR disponibilizada e a topografia LiDAR com a batimetria do reservatório Aimorés inserida.

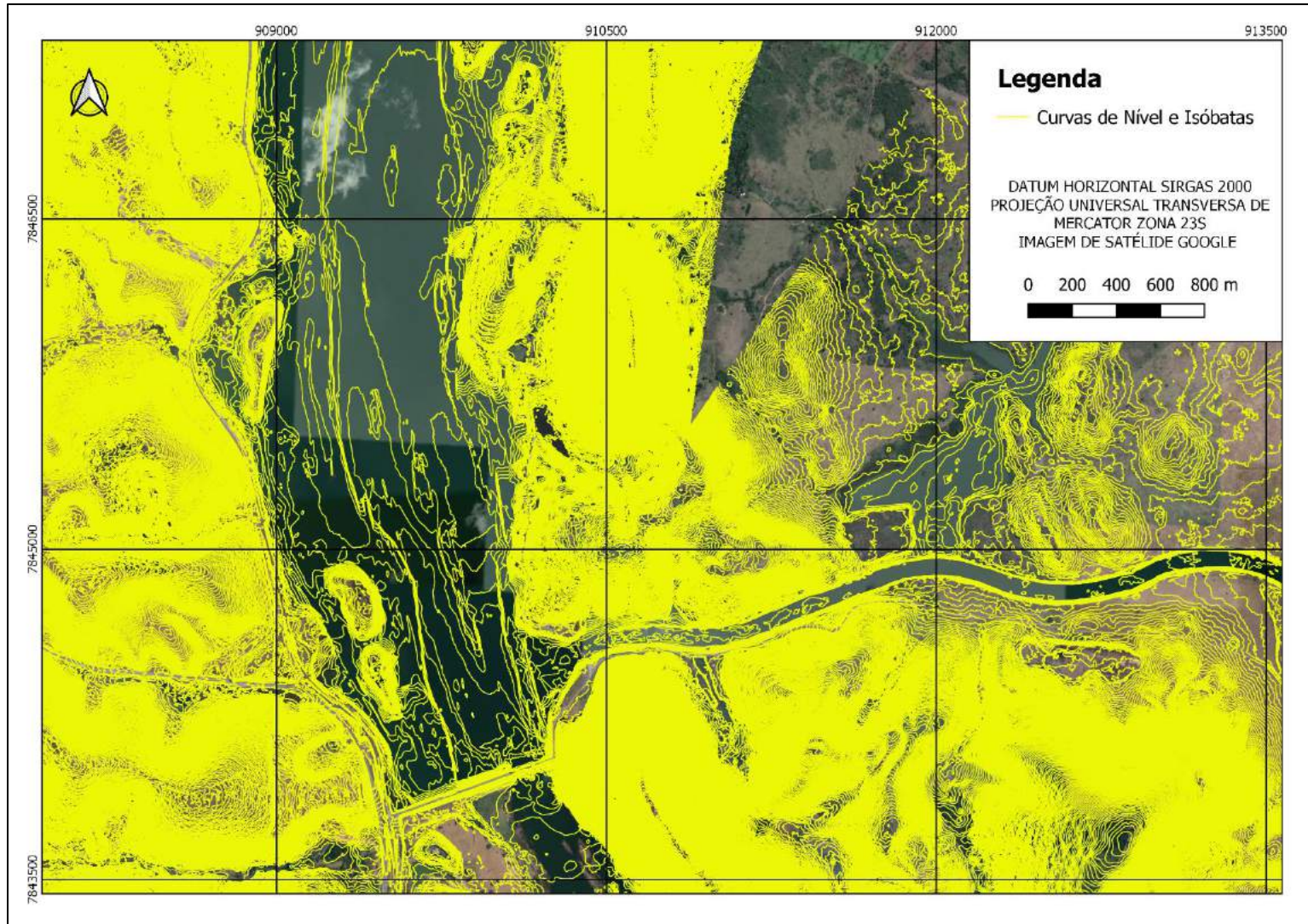


Figura 6-66 – Curvas de Nível e Isóbatas do Reservatório Aimorés.

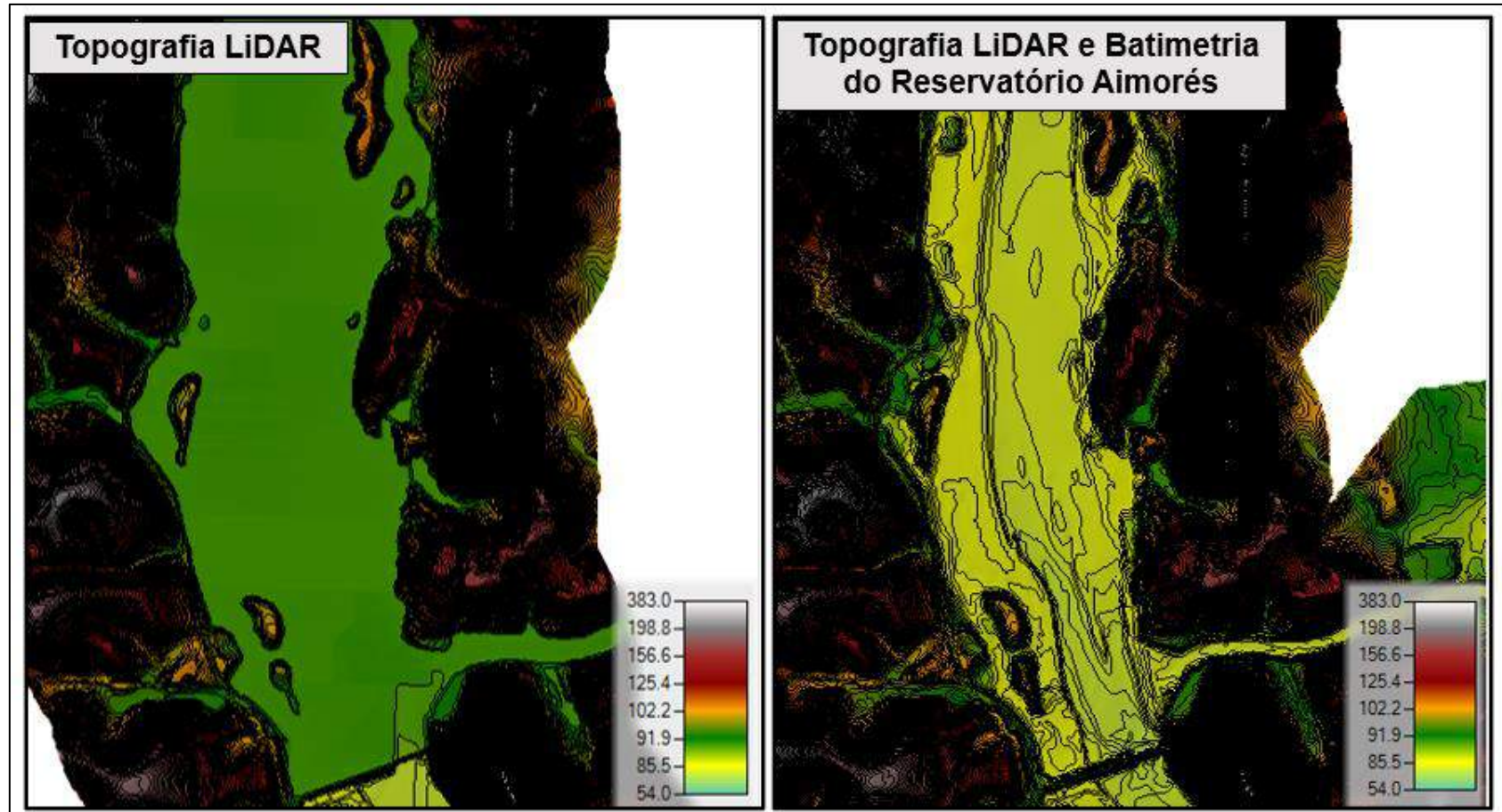


Figura 6-67 - Comparação entre a topografia LiDAR disponibilizada e a topografia LiDAR com a batimetria do reservatório Aimorés inserida.

6.5.1 UHE Mascarenhas

O dado disponibilizado para utilização nesse estudo consiste em arquivo no formato *.mxd que representa a batimetria do reservatório. O arquivo da batimetria é datado de 2016 e apresenta resolução espacial de 4 metros e foi exportado no formato Geotiff para utilização na composição do MDT.

Para inserção da batimetria do reservatório Mascarenhas em conjunto com a batimetria do rio Doce foi utilizado o *software HEC-RAS v 5.0.7*, onde a seção topobatimétrica mais próxima a montante do reservatório foi interpolada à sua batimetria. A **Figura 6-68** apresenta a comparação entre a topografia LiDAR disponibilizada e a topografia LiDAR com a batimetria do reservatório Mascarenhas inserida.

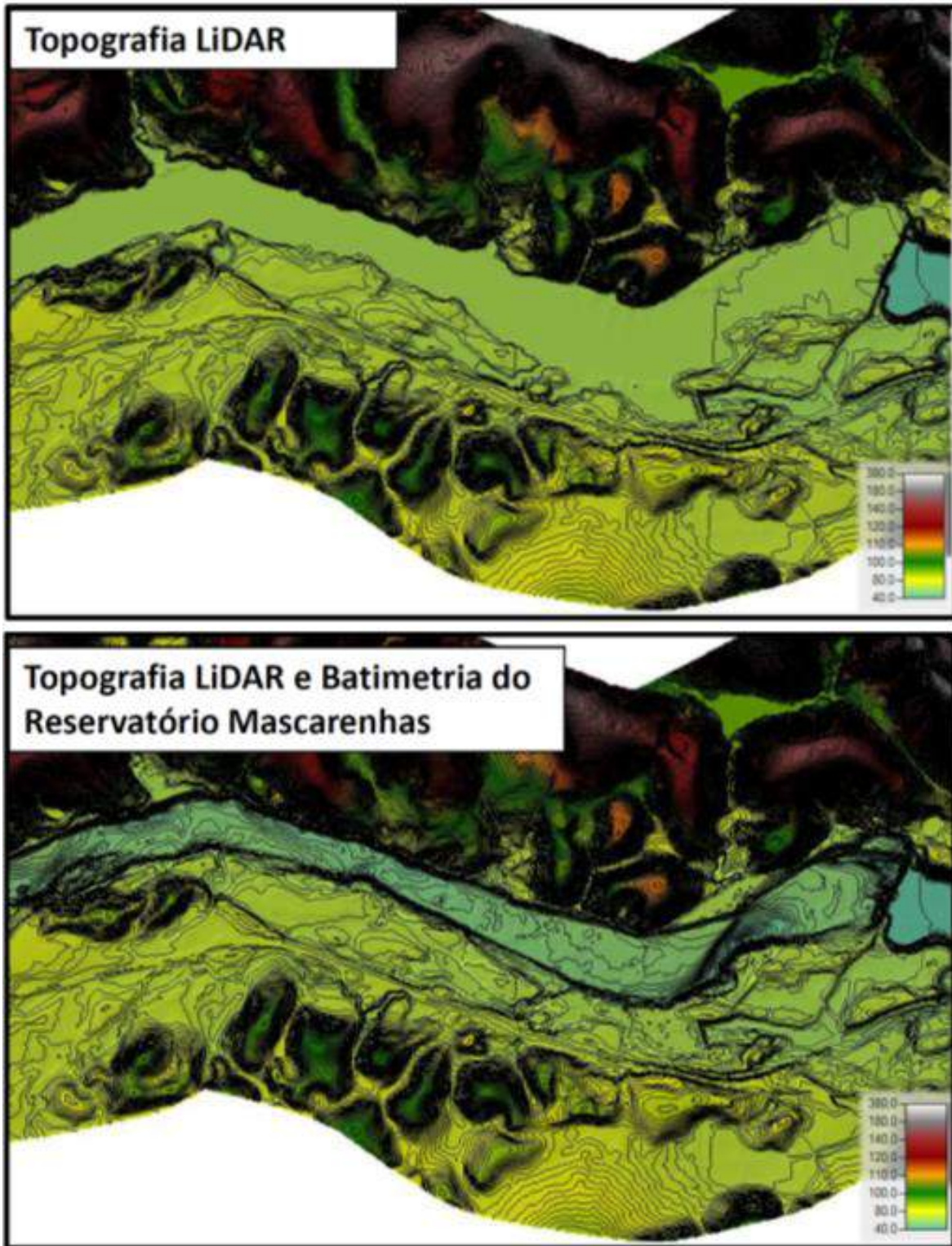


Figura 6-68 - Comparação entre a topografia LiDAR disponibilizada e a topografia LiDAR com a batimetria do reservatório Mascarenhas inserida.

6.6 Etapa 6 - Identificação das ilhas fluviais e barras arenosas

Nos trechos onde o rio Doce é anastomosado, os pontos de elevação sobre ilhas fluviais e barras arenosas, contemplados nas seções topobatimétricas levantadas, foram removidos para que a interpolação entre as seções conhecidas considere apenas o fundo do leito do rio. Logo, para reinserir estas ilhas fluviais e barras arenosas ao MDT foi necessário identificá-las para, então, gerar um arquivo vetorial de polígonos com a delimitação de suas abrangências. Posteriormente, estes polígonos foram utilizados na elaboração de uma máscara para recortar a batimetria interpolada de modo a eliminar desta as áreas de ilhas fluviais e barras arenosas. Os procedimentos executados estão apresentados na **Figura 6-69**.

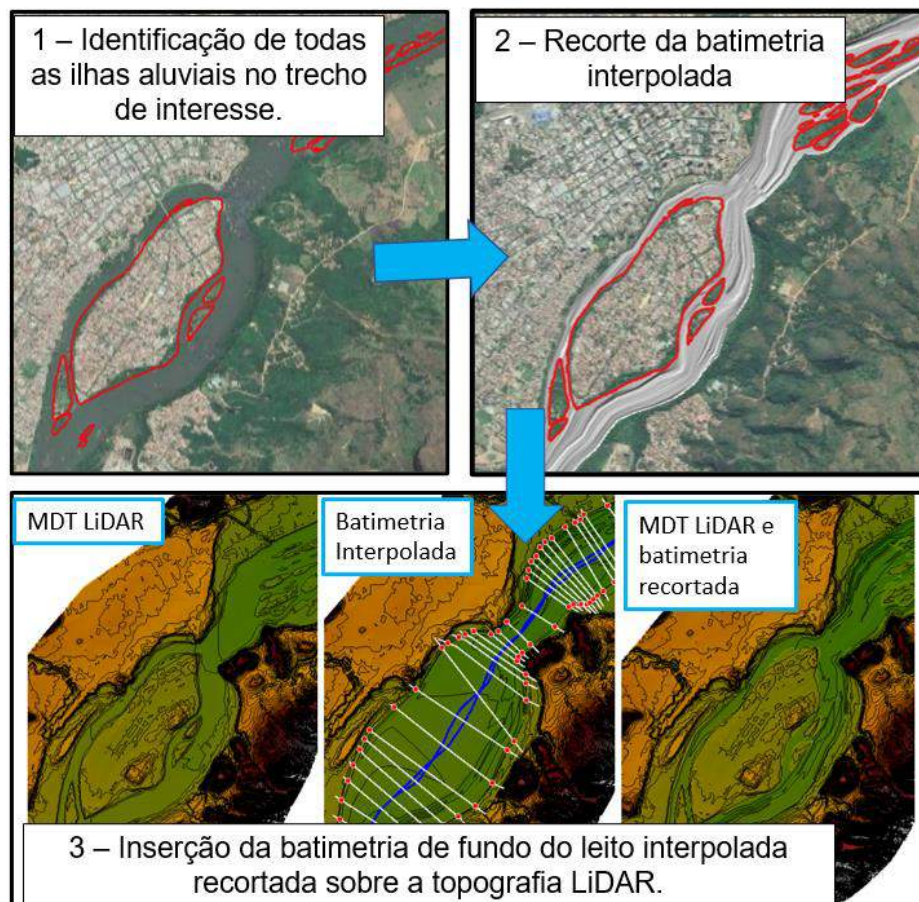


Figura 6-69 – Inserção da batimetria interpolada recortada sobre o MDT LiDAR.

6.7 Etapa 7 – Tratamento do Modelo Digital de Elevação – MDE disponibilizado pelo Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo - IEMA.

A partir de análises de imagens de satélite e dos resultados de simulações hidráulicas iniciais no trecho entre o município de Linhares e a foz do rio Doce, foi observado que a abrangência da topografia LiDAR não contemplava toda a planície de inundação da região. Portanto, foi necessário complementar a topografia LiDAR nesta região a partir de outros dados de topografia disponíveis.

Conforme descrito no item 3.4, o Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA do estado do Espírito Santo apresenta no portal Geobases (<https://geobases.es.gov.br/>) Modelo Digital de Terreno -MDT e Modelo Digital de Elevação-MDE abrangendo todo o estado do Espírito Santo com resolução espacial de 2 metros. Conforme a análise comparativa entre o MDT-IEMA e o MDE-IEMA descrita no item 3.4, o MDE-IEMA foi escolhido para complementar a topografia LiDAR.

A diferença principal entre um MDT e um MDE é que o primeiro apresenta a elevação da base do solo enquanto o segundo apresenta cotas mais altas em regiões de vegetação densa e áreas urbanas representando a elevação de copas de árvores e topos de edificações. Portanto, para se utilizar o MDE-IEMA foi realizado seu tratamento, no *software* QGIS, dividido nas seguintes etapas:

1. Identificação das áreas de vegetação e urbanização densa;
2. Remoção dos valores dos pixels nas áreas identificadas;
3. Preenchimento das áreas a partir de interpolação.

A etapa 1 foi realizada a partir da análise do sombreamento do arquivo Geotiff e do uso e ocupação do solo visualizada na imagem de satélite Google.

A etapa 2 foi realizada a partir da ferramenta *r.null* incluso no *software* *Geographic Resources Analysis Support System* – GRASS. Esta ferramenta elimina valores de pixel do raster transformando-os em *no data* ou *null* a partir de valores ou faixa de valores definidos pelo usuário. Deste modo, identificou-se qual faixa de valores de elevação não estavam adequados para realizar a remoção de tais pixels.

A etapa 3 foi realizada a partir da ferramenta *r.fillnulls* incluso no *software Geographic Resources Analysis Support System – GRASS* que realiza o preenchimento das áreas sem valores com a interpolação *spline*. A **Figura 6-70** apresenta a sequência de etapas.

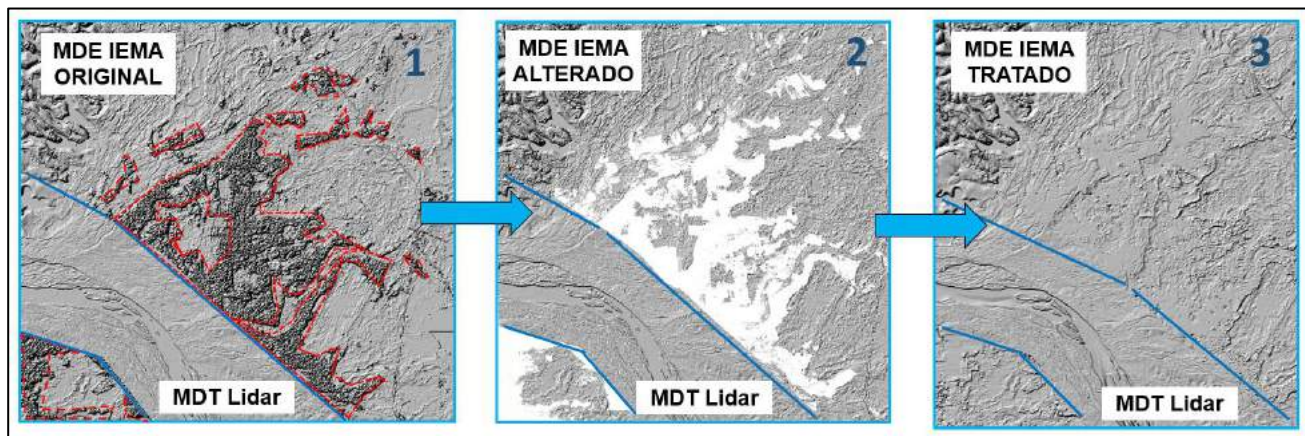


Figura 6-70 – Esquemática do processo de tratamento do MDE IEMA.

Tendo em vista que nas áreas adjacentes à topografia LiDAR esta também foi incorporado como dado de entrada para interpolação, o MDE tratado representa uma transição entre as diferentes topografias de forma mais contínua e suavizada se comparada com a transição entre o MDT LiDAR e o MDT IEMA. Além disso, o MDE representa melhor as formas de relevo, os canais de drenagem e lagoas. O resultado do tratamento está apresentado na **Figura 6-71**.

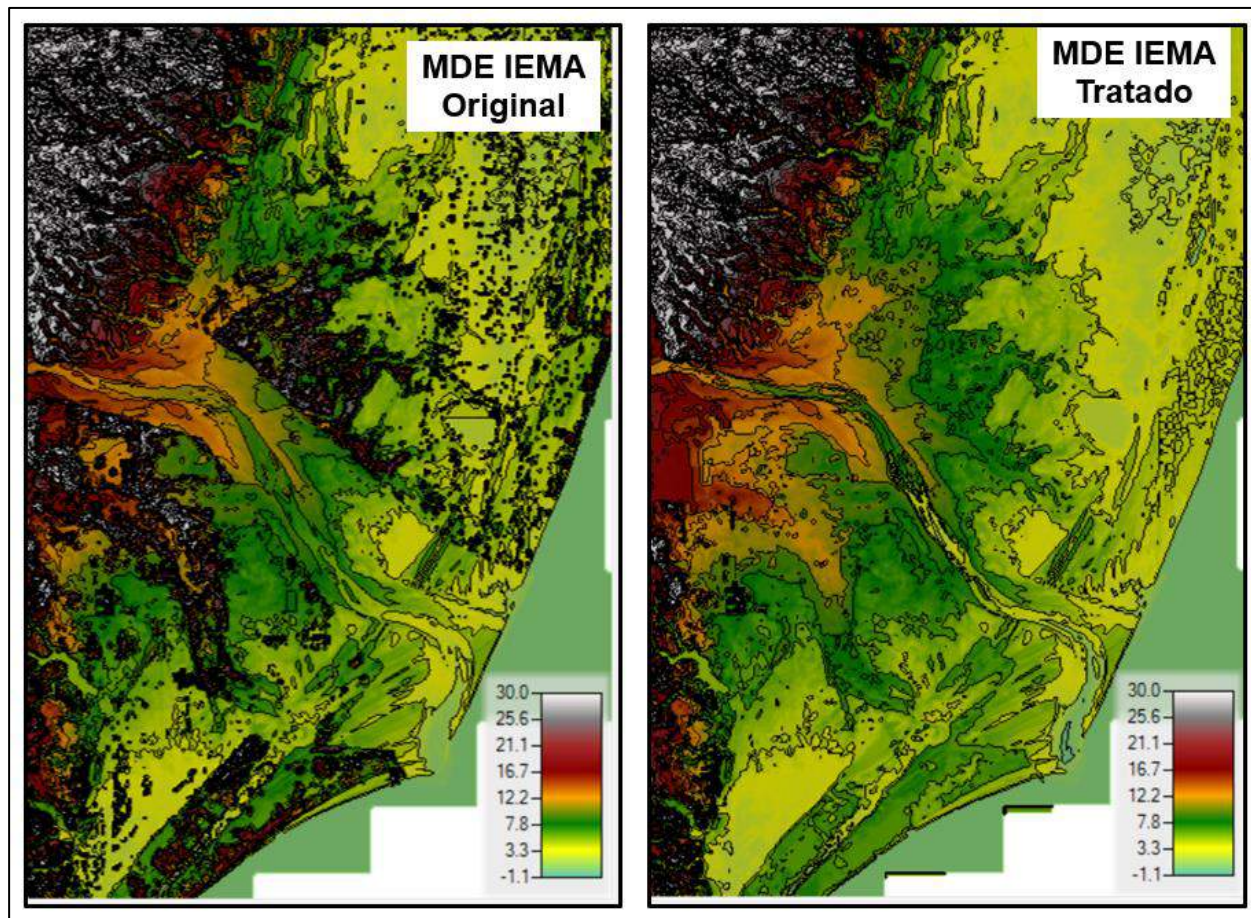


Figura 6-71 – Comparação entre o MDE IEMA original e o MDE tratado.

6.8 Etapa 8 – Análise dos canais de drenagem e lagoas no trecho compreendido entre a sede municipal de Linhares e a foz do rio Doce

No trecho entre a sede municipal de Linhares e a foz do rio Doce existem muitas lagoas e canais de drenagem influenciados por enchentes periódicas no rio Doce. Os canais de drenagem constituem um sistema de drenagem artificial implantado pelo extinto Departamento Nacional de Obras de Saneamento – DNOS. A localização destes pode ser verificada na Base Hidrográfica Ottocodificada 5K (ANA, 2018) para a bacia do rio Doce.

À margem esquerda do rio Doce estão localizadas as lagoas: do Aviso, do Meio, Piaba, Arural, da Testa, Monsarás, Zacarias, Martins, da Piaba, do Doutor, Nova, Salgada e Cacimbas. Os principais

rios à margem esquerda são: do Norte, Monsarás, Ipiranga e Ibiriba. O eixo principal do sistema de drenagem da região litorânea, a leste da BR 101 e ao norte do rio Doce possui mais de 40 km de comprimento, e recebe muitos outros canais de menor porte conectando a Lagoa de Dentro ao rio Monsarás, que deságua diretamente no oceano Atlântico (CONSÓRCIO ECOPLAN – LUME, 2010). À margem direita do rio Doce estão localizadas as lagoas Areal, Areão (Pandolfi), Boa Vista, Parda, São João, Nova e Cacimbas. Os principais rios são: Riacho e Comboios.

6.8.1 Canais de Drenagem

Os canais de drenagem existentes na porção estuarina do Espírito Santo estão representados de acordo com a topografia LiDAR e MDE IEMA tratado. É importante ressaltar que não foi realizada a escavação destes canais pois não há levantamento de suas profundidades e cadastro de suas dimensões, além disso, a capacidade de escoamento de vazão nesses é irrelevante se comparado às vazões de cheia inseridas nos modelos (vazões de tempo de retorno notáveis e as cheias de 2016 e 2020). Destaca-se que estes canais, apesar de receberem as vazões de cheia do rio Doce, não estão todos inseridos na bacia hidrográfica deste rio, de modo que seu comportamento hidrodinâmico não foi considerado nas simulações, sendo apenas representadas pela geometria disponível na topografia citada, uma vez que essas são estruturas secundárias ao objeto do estudo, assim como as lagoas.

Salienta-se que o objetivo do estudo é a modelagem hidrodinâmica do rio Doce, que possui um controle hidráulico sobre todos os canais e lagoas existentes em suas margens. Portanto, entende-se que é possível interpretar o alcance das cheias do rio Doce sobre essas estruturas, sendo conservadora, uma vez que o escoamento fluvial neste caso ocorrerá por cima dessa região, podendo superestimar as inundações.

As **Figura 6-72** a **Figura 6-75** ilustram a representação dos canais tanto no MDE IEMA quanto no MDT IEMA e na topografia LiDAR, nas quais observa-se que a representação no MDE é mais fidedigna ao uso e ocupação do solo na região em comparação ao MDT IEMA. Os canais encontram-se representados em grande parte do MDE, porém, a **Figura 6-75** também ilustra regiões onde esses não são representados. Na **Figura 6-76** é possível visualizar a mancha de inundação sobre canais de drenagem onde ela se encontra contida em alguns trechos.

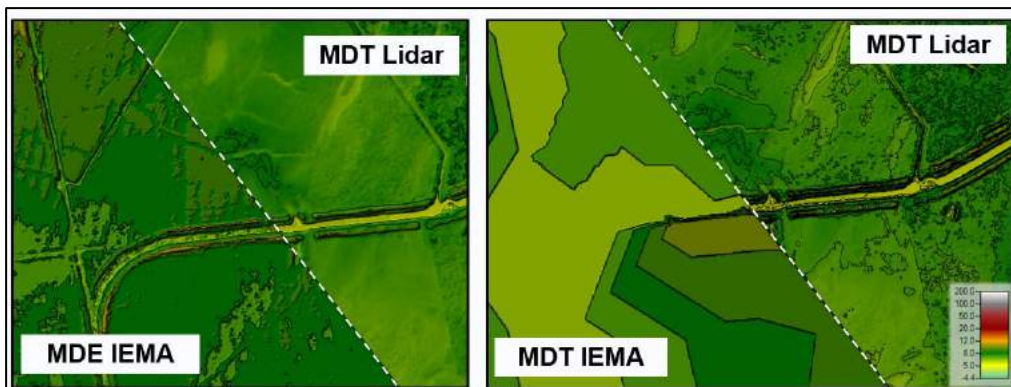


Figura 6-72 - Comparação entre MDT IEMA e MDE IEMA tratado em região com canal de drenagem na margem direita do rio Doce.

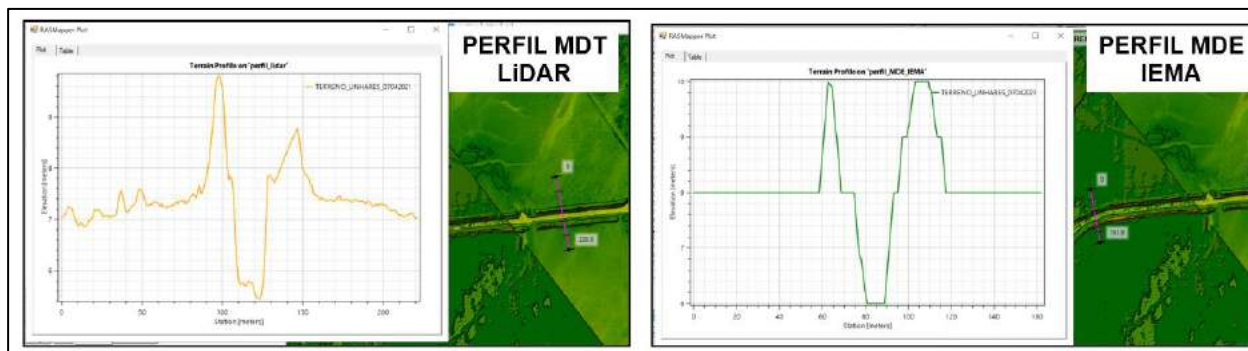


Figura 6-73 - Comparação entre perfil transversal de canal de drenagem na topografia LiDAR e MDE IEMA tratado na margem direita do rio Doce.

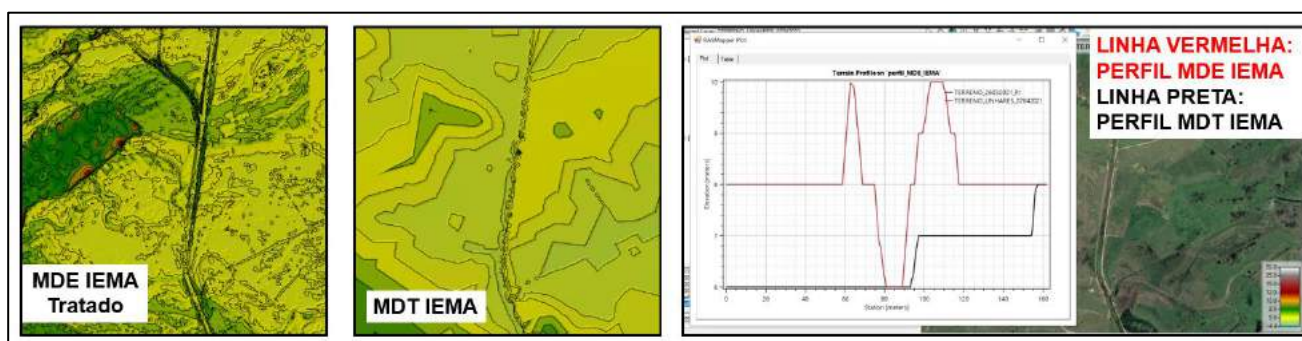


Figura 6-74 – Comparação entre representação de canal à margem esquerda do rio Doce nas topografias MDE IEMA tratada e MDT IEMA.

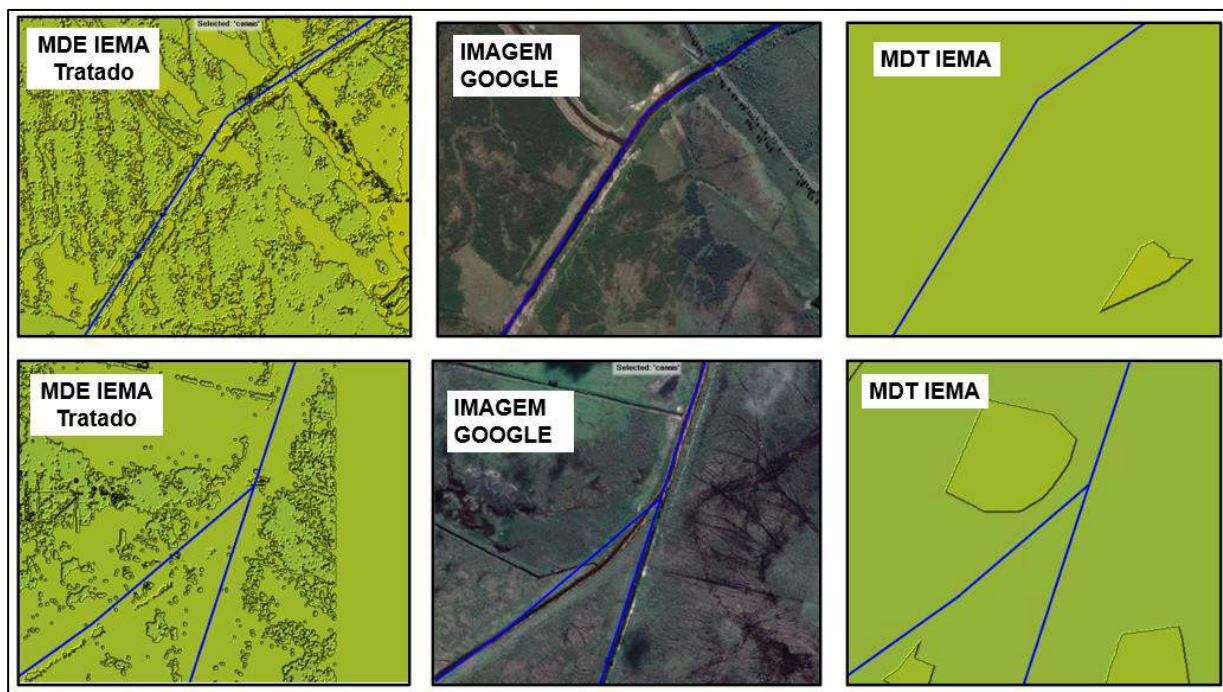


Figura 6-75 – Comparação entre a representação de canais no MDE IEMA tratado e MDT IEMA.

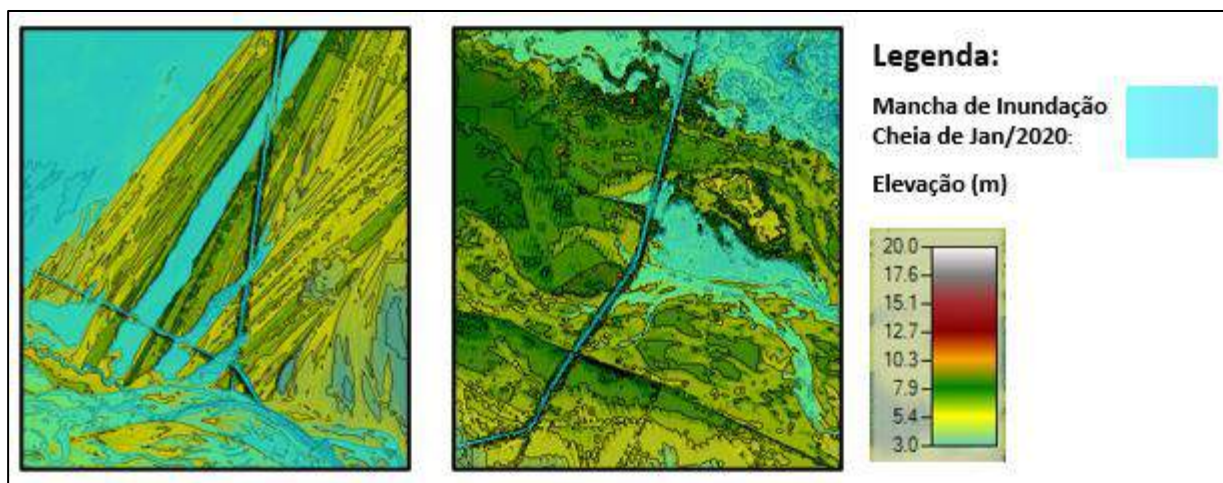


Figura 6-76 – Representação da mancha de inundação sobre os canais de drenagem.

6.8.2 Lagoas

Com relação às lagoas situadas na planície de inundação do trecho entre Linhares e a foz, aquelas mais relevantes se tratando de área alagada e proximidade ao rio Doce e a comunidades, são as lagoas: Monsarás, Areão (Pandolfi), Areal, Martins e Zacarias.

Ressalta-se que estas lagoas, localizadas próximas à foz, apesar de receberem as vazões de cheia do rio Doce, não estão inseridas na bacia hidrográfica deste, de modo que seu comportamento hidrodinâmico não foi considerado nas simulações, sendo apenas representadas pela geometria disponível na topografia LiDAR e MDE IEMA, uma vez que essas são estruturas secundárias ao objeto do estudo, assim como os canais de drenagem de Linhares. Salienta-se que o objetivo do estudo é a modelagem hidrodinâmica do rio Doce, que possui um controle hidráulico sobre todos os canais e lagoas existentes em suas margens. Portanto, entende-se que é possível interpretar o alcance das cheias do rio Doce sobre essas estruturas, obtendo-se neste caso resultados também considerados conservadores.

- Lagoa Monsarás

A lagoa de Monsarás está conectada ao rio Doce a partir de um canal, conforme observado na **Figura 6-77**. A lagoa também recebe contribuições do rio do Norte e de dois canais de drenagem que a conectam à Lagoa de Dentro e à Lagoa Martins. A lagoa encontra-se adjacente ao oceano sendo classificada como laguna costeira, que é definida como sendo um “sistema marinho raso, geralmente orientado paralelamente à costa separado do oceano por uma barreira interligado pelo menos intermitentemente ao oceano por um ou mais canais” (Kjerfve, 1994, in Kjerfve et al, 2002).

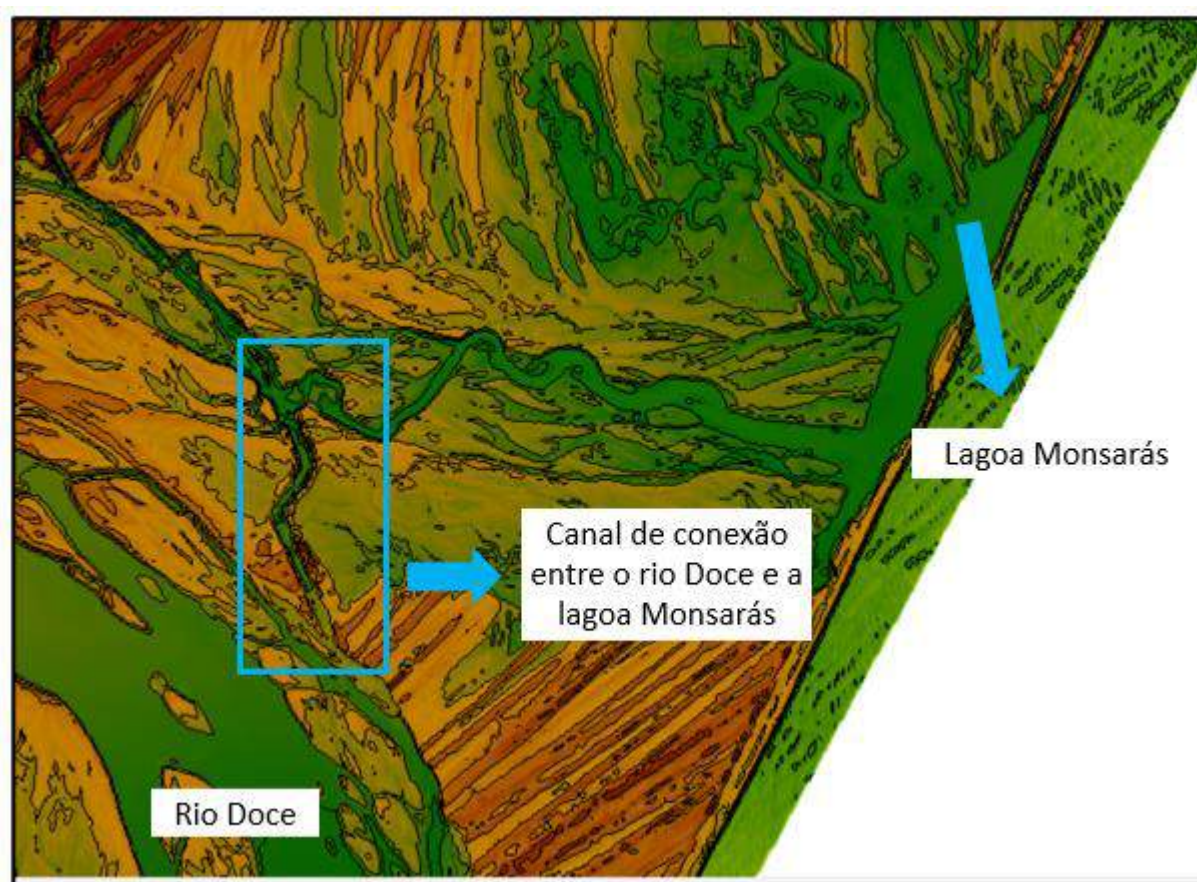


Figura 6-77 – Conexão entre a lagoa Monsarás e o rio Doce.

A **Figura 6-78** apresenta registros de imagens de satélite da lagoa Monsarás em períodos de cheia para diferentes datas e vazões conforme disposto na **Tabela 6-2** .

Tabela 6-2 – Descrição das vazões referentes às imagens de satélite analisadas – lagoa Monsarás.

Data Imagem	Satélite	Vazão Média em Colatina	Lagoa Monsarás
21/01/2003	LANDSAT 7 ETM	5.761 no dia 21/01/03; 7.566 no dia 19/01/03	Lagoa transborda para o mar
03/01/2011	LANDSAT 5	6.998 no dia 01/01/11	Lagoa transborda para o mar
14/01/2012	LANDSAT 7 ETM	5.793 no dia 12/01/12	Lagoa transborda para o mar
26/12/2013	LANDSAT 8 OLI/TIRS	11.655 no dia 24/12/13	Lagoa transborda para o mar
18/12/2016	LANDSAT 8 OLI/TIRS	2.692 no dia 18/12/16	Lagoa não transborda para o mar

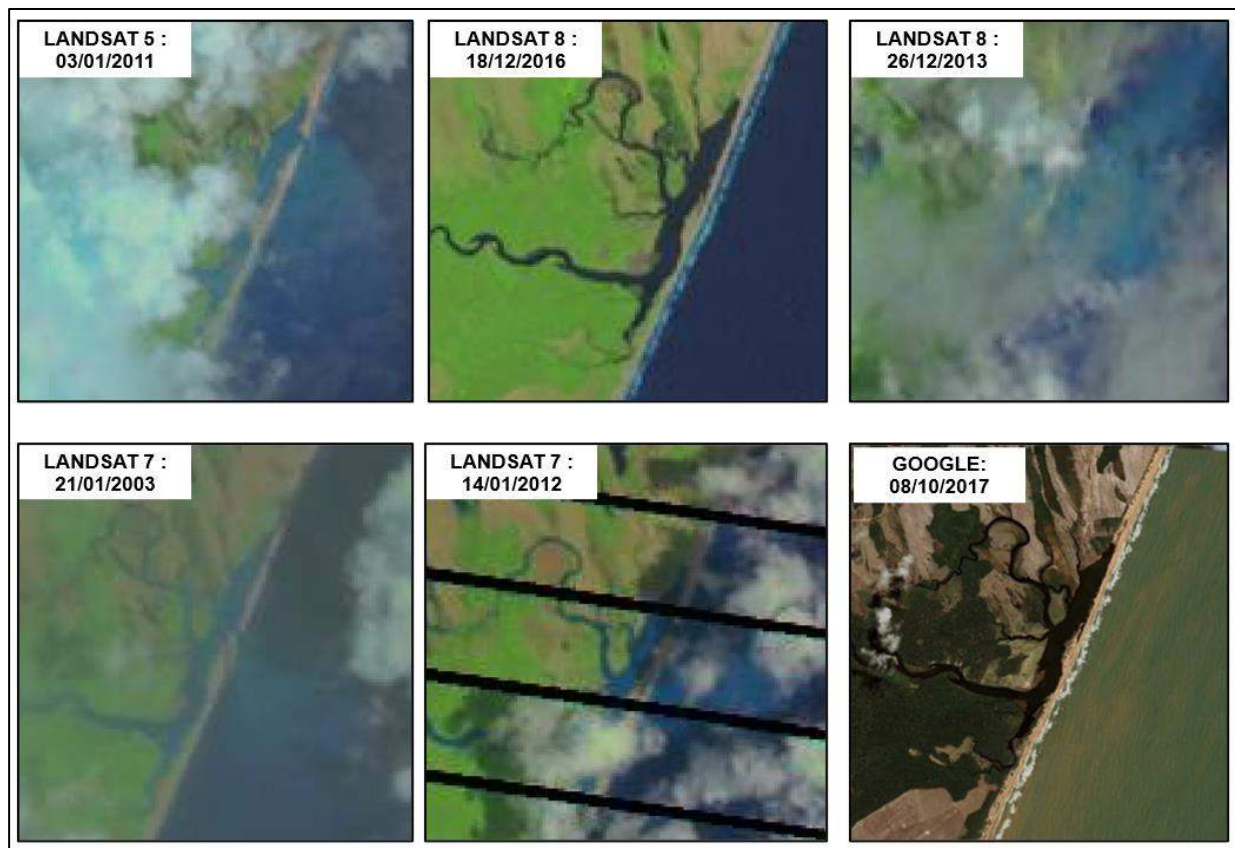


Figura 6-78 – Imagens do satélite Landsat na região da lagoa Monsarás em diferentes datas de cheias e imagem Google em período de estiagem.

As imagens de satélite indicam que a lagoa transborda para o mar para vazões superiores àquela do evento de 18/12/2016 que registrou vazão semelhante à cheia de tempo de retorno de entre 1 e 1,5 anos. Nas imagens de 03/01/2011 e 21/01/2003 nota-se que o transbordamento se dá por um canal estreito situado em locais diferentes para cada imagem. Além disso, a imagem Google de 08/10/2017 indica que em períodos de estiagem a lagoa não apresenta conexão com o oceano. Portanto, a lagoa Monsarás é interligada ao oceano intermitentemente de modo que para cheias superiores àquela do evento de 18/12/2016 o transbordamento para o oceano ocorre por canal estreito.

Segundo Pinheiro & Joyeux (2007), na lagoa Monsarás ocorre a pesca de arrasto apenas quando a boca da barra está aberta e ligando a lagoa ao mar de modo que o escoamento de água doce para o mar a deixa mais rasa. A boca da barra é frequentemente aberta manualmente pela comunidade local, visando o desalagamento de lavouras e casas. Após a cheia de 2020, segundo portal de notícias da Prefeitura Municipal de Linhares e portal de notícias Radar Capixaba, a boca da barra foi aberta na tarde de terça-feira do dia 28/01/2020 para escoar água proveniente da cheia do rio Doce (**Figura 6-79** e **Figura 6-80**). A medida foi uma ação conjunta entre o Sindicato Rural Patronal de Linhares e as secretarias municipais de Meio Ambiente e de Obras e Serviços Urbanos, a pedido de moradores e produtores rurais da região. Na topografia LiDAR a divisão entre a lagoa Monsarás e o oceano é estabelecida por um estreito dique de areia com elevação máxima aproximada de 4,5 m, porém não há representações de canais estreitos na topografia LiDAR.



Figura 6-79 – Abertura da boca da barra em 28/01/2020. **Fonte:** Portal de Notícias da Prefeitura Municipal de Linhares.



Figura 6-80 – Canal aberto em boca da barra em 28/01/2020. Fonte: Portal de Notícias Radar Capixaba.

De acordo com Miranda *et al.* (2002), a dinâmica de intensidade de marés em lagunas costeiras então relacionadas com as condições dos canais e aberturas para o oceano. Neste sentido, segundo Kjerfve (1986), as lagunas costeiras são classificadas em: sufocada, restrita e vazada (**Figura 6-81**). A lagoa de Monsarás se aproxima de uma lagoa restrita que é definida como ambiente costeiro amplo orientado paralelo ao oceano onde a troca de água com o oceano ocorre através de dois ou mais canais estreitos. Nas lagunas restritas a maré e energia das ondas gravitacionais tem intensidade moderada (Kjerfve, 1986).

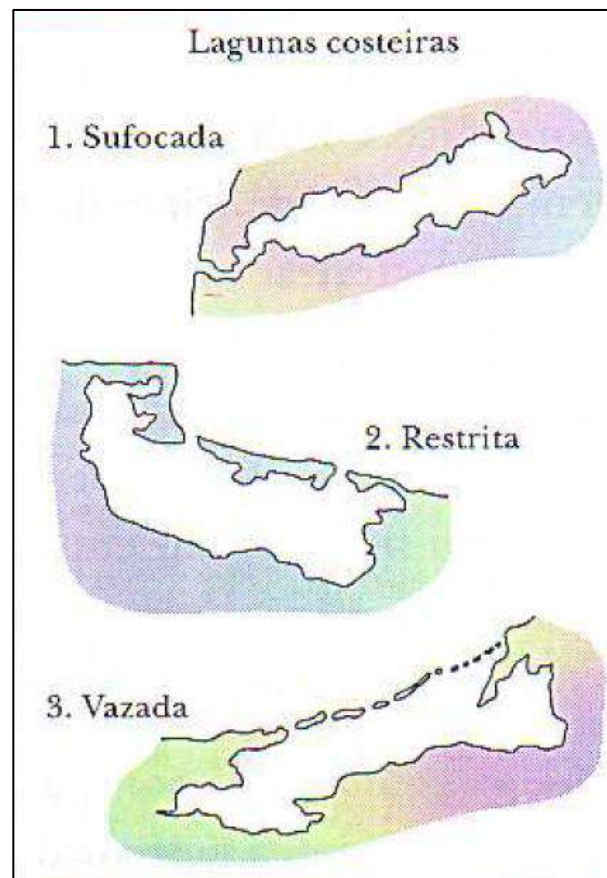


Figura 6-81 – Classificação de lagunas costeiras segundo Kjerfve (1986). **Fonte:** Miranda *et al.* (2002).

- Lagoas Areão (Pandolfi) e Areal

As lagoas Areão (Pandolfi) e Areal estão situadas à margem direita do rio Doce e não apresentam conexão direta com este. Conforme observado em imagens de satélite de períodos de cheia (**Figura 6-82 e Tabela 6- 3**), para eventos superiores àquele datado de 18/12/2016 (vazão semelhante àquela de TR entre 1 e 1,5 anos, segundo medição em Colatina), nota-se que a água do rio Doce atinge estas lagoas.

Tabela 6- 3- Descrição das vazões referentes às imagens de satélite analisadas – lagoas Areão (Pandolfi) e Areal.

Data Imagem	Satélite	Vazão Média em Colatina	Lagoas Areão (Pandolfi) e Areal
21/01/2003	LANDSAT 7 ETM	5.761 no dia 21/01/03; 7.566 no dia 19/01/03	Lagoas são atingidas
14/01/2012	LANDSAT 7 ETM	5.793 no dia 12/01/12	Lagoas são atingidas
26/12/2013	LANDSAT 8 OLI/TIRS	11.655 no dia 24/12/13	Lagoas são atingidas
18/12/2016	LANDSAT 8 OLI/TIRS	2.692 no dia 18/12/16	Lagoas não são atingidas

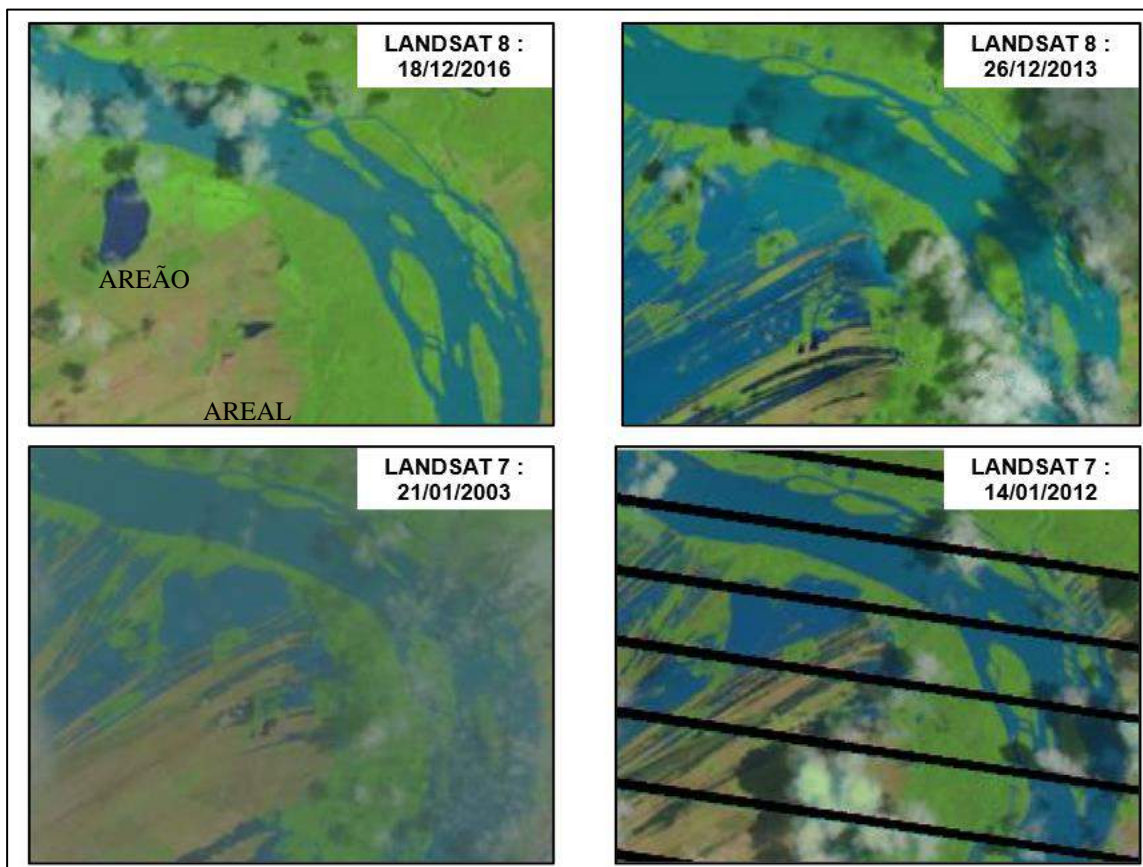


Figura 6-82 – Imagens de Satélite Landsat em períodos de cheia na região das Lagoas Areal e Areão (Pandolfi).

- Lagoas Martins e Zacarias

As lagoas Martins e Zacarias estão localizadas na margem esquerda do rio Doce. Para estas lagoas, não há levantamento topobatimétrico. A lagoa Martins está conectada à lagoa Monsarás a partir de um canal de drenagem e encontra-se representada no MDT LiDAR conforme ilustrado na **Figura 6-83**. No MDT LiDAR a lagoa Martins apresenta elevação aproximada equivalente à 3,0 m.

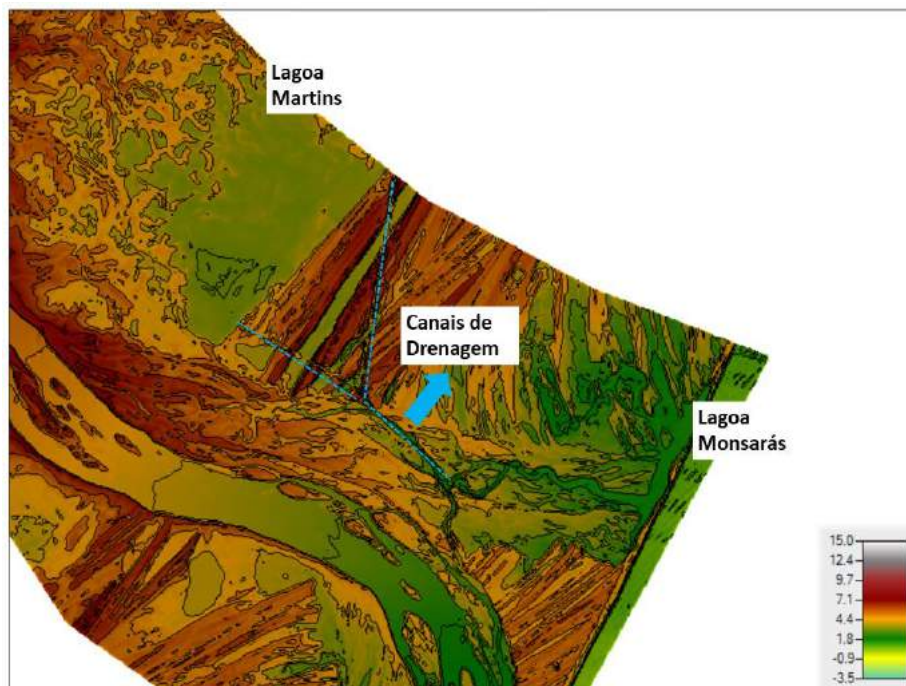


Figura 6-83 – Conexão entre a lagoa Martins e a Lagoa Monsarás por canais de drenagem representados no MDT LiDAR.

A lagoa Zacarias está localizada mais distante do rio Doce e não está representada no MDT LiDAR. Sua representação no MDE IEMA indica um nível d'água aproximado de 2,0m. Conforme observado em imagens de satélite de períodos de cheia (**Figura 6-84** e **Tabela 6-4**) para eventos superiores àquele datado de 18/12/2016 (vazão semelhante àquela de TR entre 1 e 1,5 anos, segundo medição em Colatina) e 10/12/2013 (vazão inferior àquela de TR de 1 ano, segundo medição em Colatina), nota-se que a água do rio Doce atinge estas lagoas.

Tabela 6-4 – Descrição das vazões referentes às imagens de satélite analisadas – lagoa Martins e Zacarias.

Data Imagem	Satélite	Vazão Média em Colatina	Lagoas Martins e Zacarias
21/01/2003	LANDSAT 7 ETM	5.761 no dia 21/01/03; 7.566 no dia 19/01/03	Lagoa Martins não é atingida
14/01/2012	LANDSAT 7 ETM	5.793 no dia 12/01/12	Ambas as lagoas são atingidas
10/12/2013	LANDSAT 8 OLI/TIRS	1.344 no dia 10/12/13	Lagoas não são atingidas
26/12/2013	LANDSAT 8 OLI/TIRS	11.655 no dia 24/12/13	Ambas as lagoas são atingidas
18/12/2016	LANDSAT 8 OLI/TIRS	2.692 no dia 18/12/16	Lagoas não são atingidas
28/01/2020	LANDSAT 8 OLI/TIRS	5.502 no dia 28/01/20	Lagoa Zacarias não é atingida

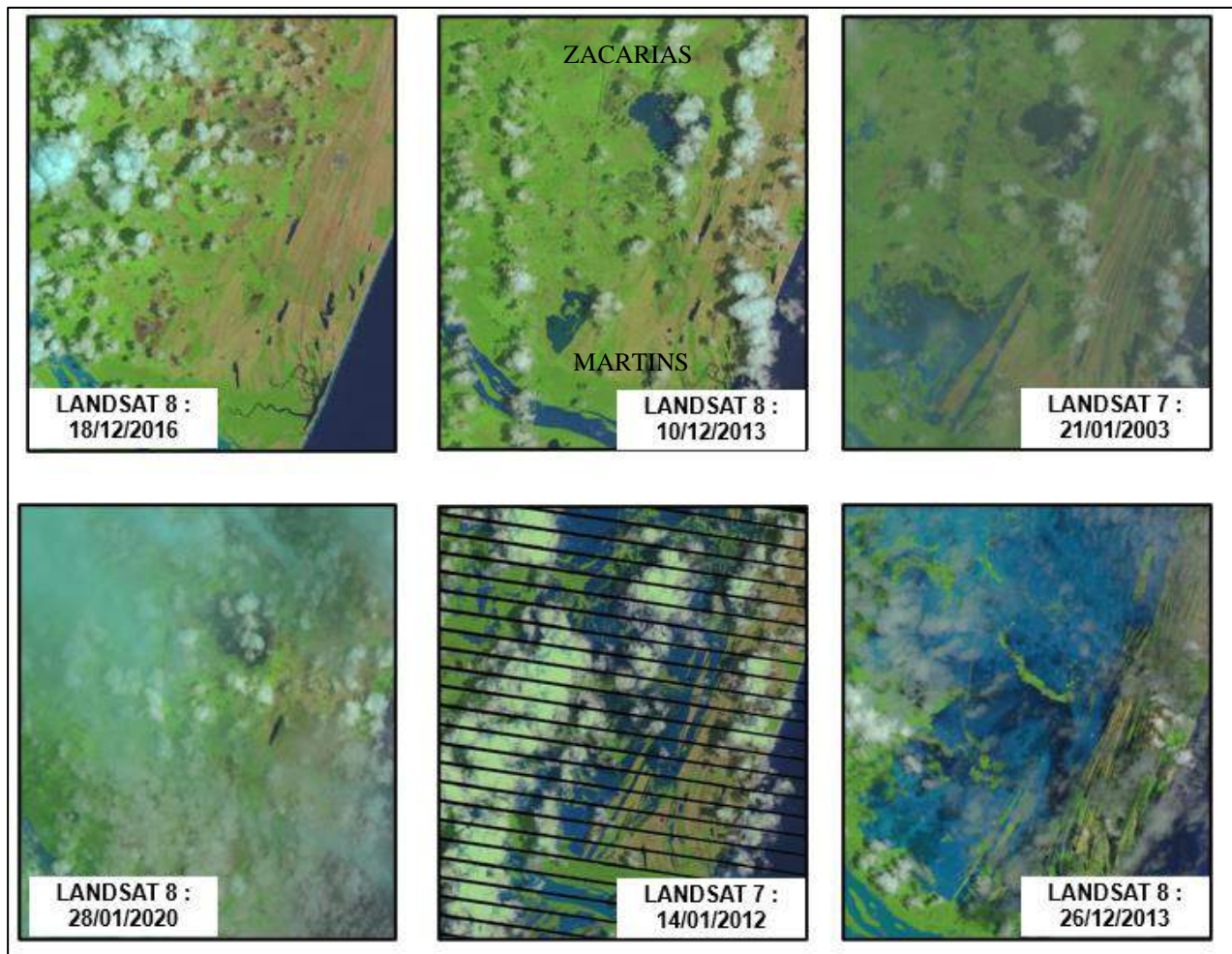


Figura 6-84 – Imagens de satélite Landsat em diferentes datas de na região das lagoas Martins e Zacarias.

6.9 Etapa 9 - Elaboração de um modelo digital de terreno único com a junção da topografia e batimetrias do rio e reservatórios.

Para a elaboração de Modelo Digital de Terreno (MDT) que contemple a topografia LiDAR e também as batimetrias (do rio e dos reservatórios), será criado um arquivo *raster* virtual que abrange as camadas topografia LiDAR e batimetria interpolada recortada pela máscara descrita no item 6.6 sobrepostas nesta ordem, conforme ilustra a **Figura 6-85**. Posteriormente, o raster virtual criado será convertido para o formato Geotiff, de modo a gerar dois arquivos para contemplar as regiões situadas

nos fusos 23S e 24S da projeção UTM. No trecho do rio Doce compreendido entre o município de Linhares e a foz adicionou-se também a região do MDE do IEMA tratado ao modelo digital de terreno único.

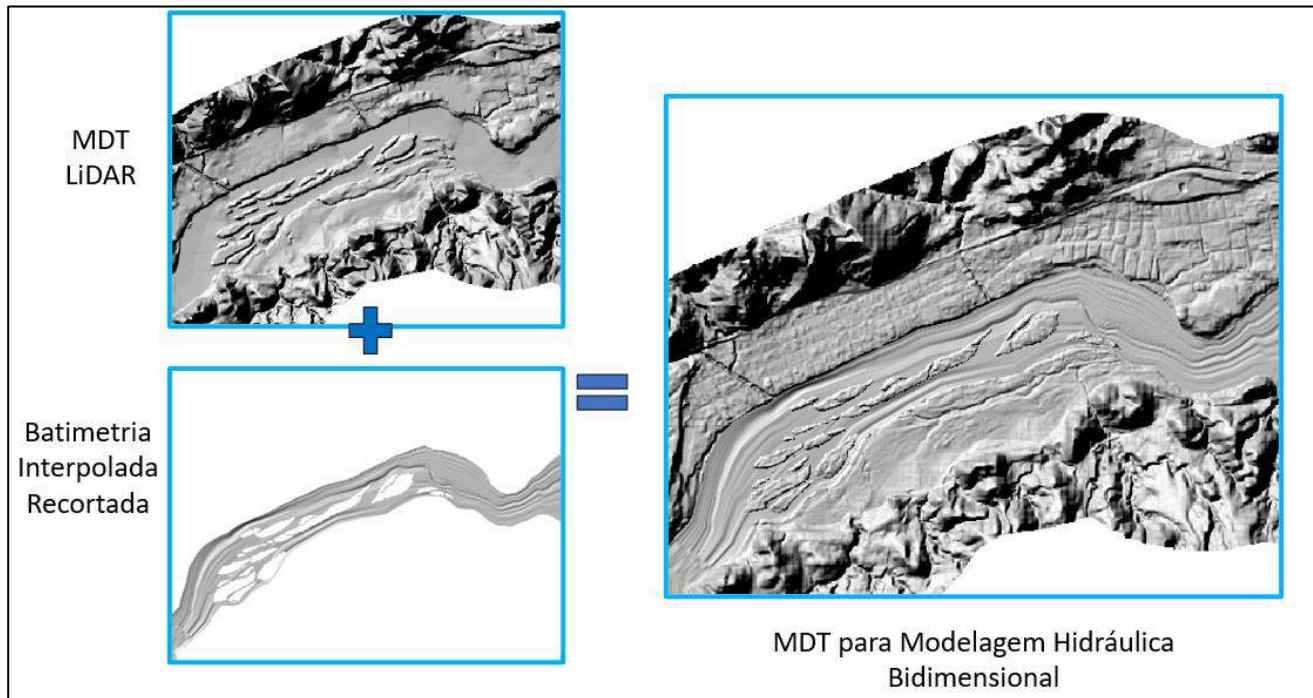


Figura 6-85 – Camadas para criação de raster virtual.

Os dois modelos digitais de terreno utilizados nesse estudo, o primeiro utilizado nas simulações bidimensionais das sedes municipais e nas simulações unidimensionais do trecho 13 a 16, e o segundo nas simulações bidimensionais do trecho 16 (entre a sede de Linhares e a foz do rio Doce), estão disponíveis no Apêndice 12.4.

7 ESTUDO HIDROLÓGICO

Para o desenvolvimento da regionalização de vazões foram analisadas estações fluviométricas existentes na bacia do rio Doce no trecho entre a UHE Risoleta Neves e a foz, cujos registros encontram-se disponíveis gratuitamente no Sistema de Informações Hidrológicas (HIDROWEB) da Agência Nacional de Águas - ANA. A **Tabela 7-1** apresenta as estações analisadas e a **Figura 7-1** ilustra a localização.

A Fundação Renova disponibiliza por meio do site <http://www.monitoramentoriadoce.org/> os dados de monitoramento do Programa de Monitoramento Quali-quantitativo Sistemático de Água e Sedimento (PMQQS). Esses dados não foram utilizados neste trabalho uma vez que existe um histórico pequeno de dados, já que esse monitoramento foi implementado a partir de 31 de julho de 2017, o que não possibilita uma análise estatística robusta para este fim aqui proposto.

Tabela 7-1 – Estações fluviométricas analisadas.

Código	Nome	Rio	Latitude	Longitude	Área de Drenagem (km²)	Quantidade de anos consistidos dentro do período homogêneo	Disponibilidade de Dados
56425000	Fazenda Cachoeira D'Antas	Rio Doce	-19,9944	-42,6744	10100	32	De 22/11/1981 a 31/08/2020
56430000*	Ponte do Peres	Rio Doce	-19,9	-42,5833	12800	0	De 01/07/1968 a 31/01/1978
56539000	Cachoeira dos Óculos Montante	Rio Doce	-19,7769	-42,4764	15900	32	De 13/09/1974 a 31/08/2020
56540001*	Cachoeira dos Óculos	Rio Doce	-19,7667	-42,4833	16100	0	De 21/10/1972 a 31/08/1975
56719998	Belo Oriente	Rio Doce	-19,3297	-42,3761	24200	33	De 18/10/1986 a 31/08/2020
56720000*	Cachoeira Escura	Rio Doce	-19,3314	-42,3717	24200	0	De 26/08/1939 a 31/08/1986
56850000	Governador Valadares	Rio Doce	-18,8831	-41,9508	40500	33	De 15/01/1938 a 31/08/2020
56920000	Tumiritinga	Rio Doce	-18,9711	-41,6417	55100	32	De 01/07/1972 a 31/08/2020
56941000*	Barra Do Cuieté	Rio Doce	-19,0664	-41,5356	59500	0	De 01/01/1972 a 30/11/1979
56948000*	Resplendor	Rio Doce	-19,3167	-41,25	61200	0	De 06/01/1938 a 30/11/1982
56948005	Resplendor – Jusante	Rio Doce	-19,3431	-41,2461	61200	14	De 01/05/1984 a 31/10/2004
56994500	Colatina	Rio Doce	-19,5333	-40,6297	76400	31	De 01/01/1938 a 31/08/2020
56994502*	Colatina – Jusante	Rio Doce	-19,5333	-40,6333	76400	0	De 18/09/1976 a 31/05/1983
56994510*	Colatina Corpo de Bombeiros (Linígrafo)	Rio Doce	-19,5303	-40,6236	76400	26	De 17/10/1985 a 30/11/2014
56998000*	Linhares	Rio Doce	-19,4075	-40,0639	82100	5	De 01/01/1967 a 09/12/1993

*Estações descartadas por apresentarem série histórica de medição inferior a 20 anos e/ou inconsistência de dados e/ou período de dados fora do período homogêneo de 1986 a 2020. A estação Colatina Corpo de Bombeiros, foi descartada, em razão da proximidade com a estação Colatina, que possui série histórica mais completa.

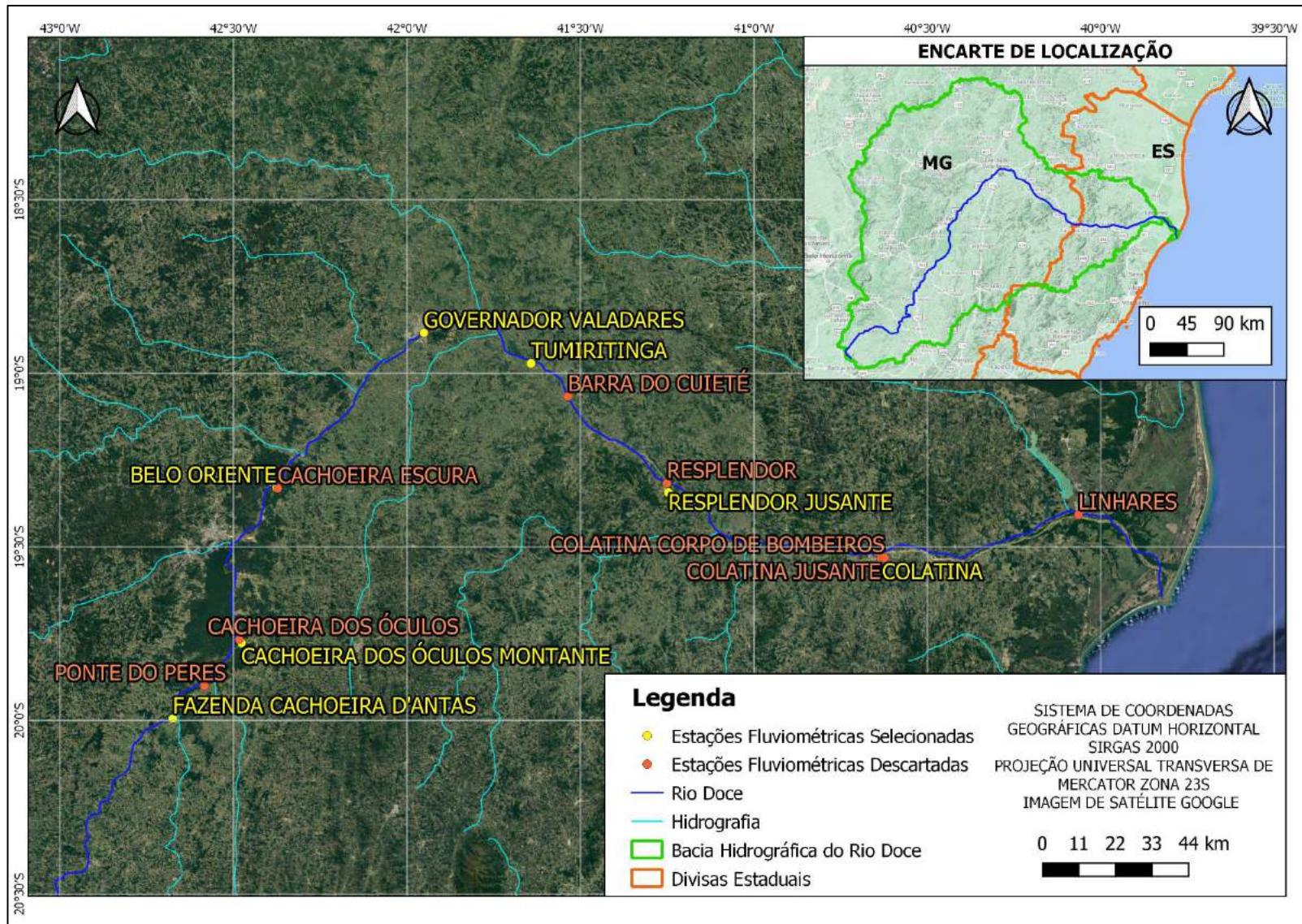


Figura 7-1 – Localização das estações fluviométricas analisadas.

Para o estudo de regionalização foi realizada a consistência dos registros diários de vazão das estações fluviométricas da **Tabela 7-1** que apresentam série histórica superior a 20 anos dentro do período homogêneo de 1986 a 2020, descartando os anos com falhas nos meses de cheia. As estações fluviométricas selecionadas foram Fazenda Cachoeira D’Antas, Cachoeira dos Óculos Montante, Belo Oriente, Governador Valadares, Tumiritinga, Resplendor-Jusante e Colatina.

7.1 Curvas-Chave e Análise de Frequência

As séries de medições dos resumos de descarga das estações selecionadas foram analisadas quanto a consistência e *outliers*. Os dados consistidos foram analisados graficamente em conjunto com os dados de medições diárias, de modo a avaliar suas aderências e comportamento da curva-chave.

Após a análise de consistência e aderência dos dados, foi realizada a análise de frequência das estações com séries de medições consistentes. Foram analisadas as seguintes distribuições teóricas de probabilidade: Exponencial, Gumbel e Lognormal. Salienta-se que não foram analisadas curvas teóricas de 3 parâmetros em razão da pouca disponibilidade de dados, inferior à 50 amostras, critério adotado pela HIDROBR para adoção do terceiro parâmetro, o qual induz a uma grande sensibilidade do ramo superior das curvas de ajuste quando analisadas curvas com poucos dados amostrais, enviesando os resultados. Tal critério é também citado no livro “Hidrologia Estatística” dos autores Mauro Naghettini e Éber José Andrade Pinto, publicado pela CPRM em 2007.

Conforme será detalhado nos subitens a seguir, onde são apresentadas as curvas-chave e análises de frequência para cada estação utilizada, verificou-se que as estações Fazenda Cachoeira d’Antas, Cachoeira dos Óculos Montante e Belo Oriente apresentaram melhor ajuste à distribuição de probabilidade pela curva Exponencial, enquanto para as demais estações em estudo, Governador Valadares, Tumiritinga, Resplendor Jusante e Colatina, um melhor ajuste foi observado para a curva de Gumbel.

Para melhor avaliar a capacidade de ajuste das distribuições selecionadas aos dados fluviométricos de cada estação, foram realizados testes de aderência amplamente utilizados em estudos hidrológicos: Kolmogorov-Smirnov, Qui-Quadrado, Anderson-Darling e Filliben.

7.1.1 Estação Fazenda Cachoeira D'Antas (56425000)

A estação Fazenda Cachoeira D'Antas, posicionada no rio Doce, no município São José do Goiabal/MG, possui uma área de drenagem de 10.100 km² e apresenta dados diários de vazão entre 22/11/1981 e 31/12/2020 e 135 medições de cota e vazão entre 22/11/1981 e 05/02/2020 presentes no Resumo de Descargas. A **Figura 7-2** ilustra a curva-chave dessa estação, onde é possível notar que todos os dados diários se apresentam aderentes à tendência do Resumo de Descargas.

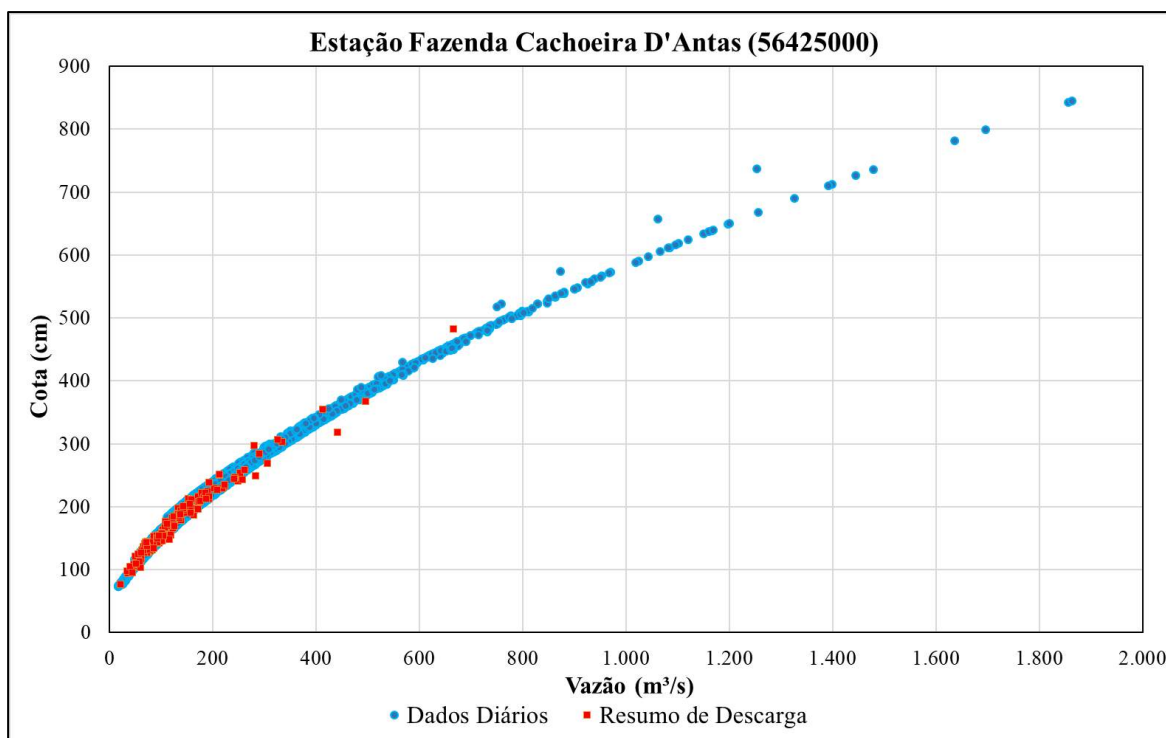


Figura 7-2 – Curva-chave Estação Fazenda Cachoeira D'Antas.

A série de dados de vazões diárias da estação Fazenda Cachoeira D'Antas apresenta falhas em meses chuvosos para os anos hidrológicos de 1981-1982, 1988-1989 e 2015-2016. As máximas anuais referentes a estes anos foram descartadas pois não é recomendado realizar o preenchimento de falhas de séries para análise de dados diários. A **Tabela 7-2** apresenta a série de vazões máximas anuais da estação. A distribuição de probabilidade teórica que melhor se ajustou aos dados disponíveis de vazão

para esta estação foi a Exponencial, como pode ser constatado visualmente nas **Figura 7-3** e **Figura 7-4**. Além dessa constatação visual, o item 7.1.8 apresenta os testes de aderência realizados.

Tabela 7-2 – Série de vazões máximas anuais da estação Fazenda Cachoeira D’Antas.

Ano Hidrológico	Vazão Máxima Anual	Ano Hidrológico	Vazão Máxima Anual
1981-1982 *	778	2001-2002	643
1982-1983	629	2002-2003	939
1983-1984	765	2003-2004	864
1984-1985	1.398	2004-2005	1.166
1985-1986	728	2005-2006	688
1986-1987	497	2006-2007	880
1987-1988	677	2007-2008	716
1988-1989 *	343	2008-2009	1.862
1989-1990	736	2009-2010	641
1990-1991	1.025	2010-2011	932
1991-1992	1.019	2011-2012	1.200
1992-1993	641	2012-2013	546
1993-1994	521	2013-2014	478
1994-1995	449	2014-2015	339
1995-1996	567	2015-2016 *	559
1996-1997	1.855	2016-2017	592
1997-1998	528	2017-2018	825
1998-1999	400	2018-2019	399
1999-2000	651	2019-2020	1.481
2000-2001	586		

* Anos hidrológicos descartados pois apresentam falhas em meses chuvosos.

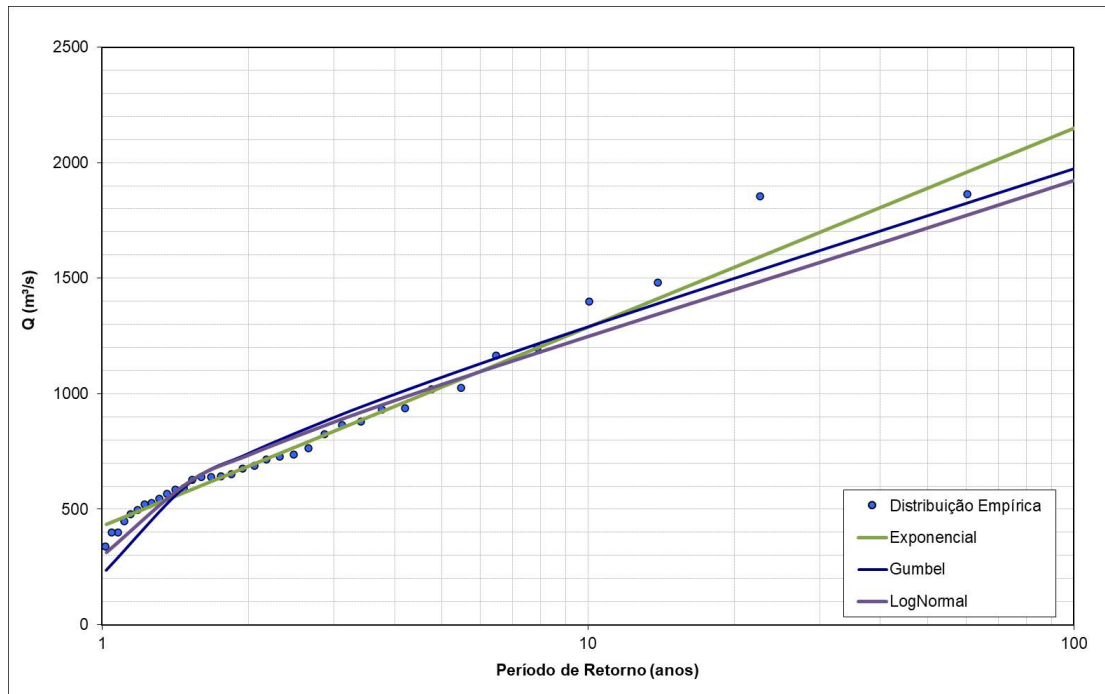


Figura 7-3 – Distribuição de probabilidade Estação Fazenda Cachoeira D'Antas.

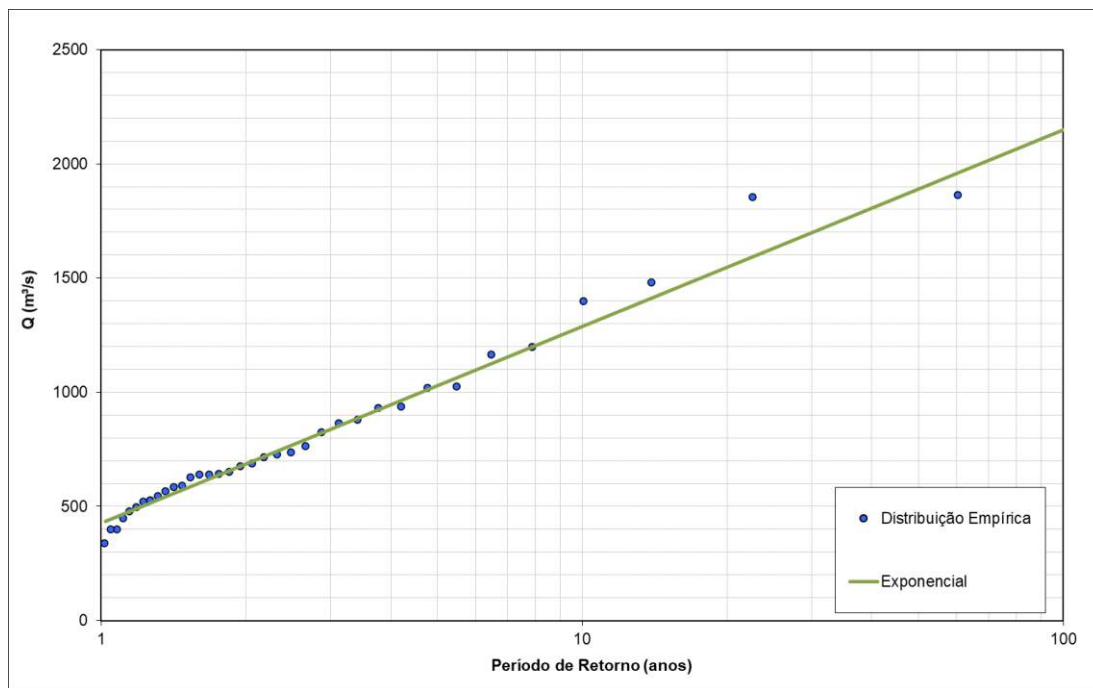


Figura 7-4 – Distribuição escolhida para Estação Fazenda Cachoeira D'Antas.

7.1.2 Estação Cachoeira dos Óculos Montante (56539000)

A estação Cachoeira dos Óculos Montante, localizada no rio Doce, no município de Córrego Novo/MG, possui uma área de drenagem de 15.900 km² e apresenta dados diários de vazão entre 13/09/1974 e 31/12/2020 e 155 medições de cota e vazão entre 16/01/1974 e 31/01/2020 presentes no Resumo de Descargas. A **Figura 7-5** ilustra a curva-chave dessa estação, onde é possível notar que todos os dados diários se apresentam aderentes à tendência do Resumo de Descargas.

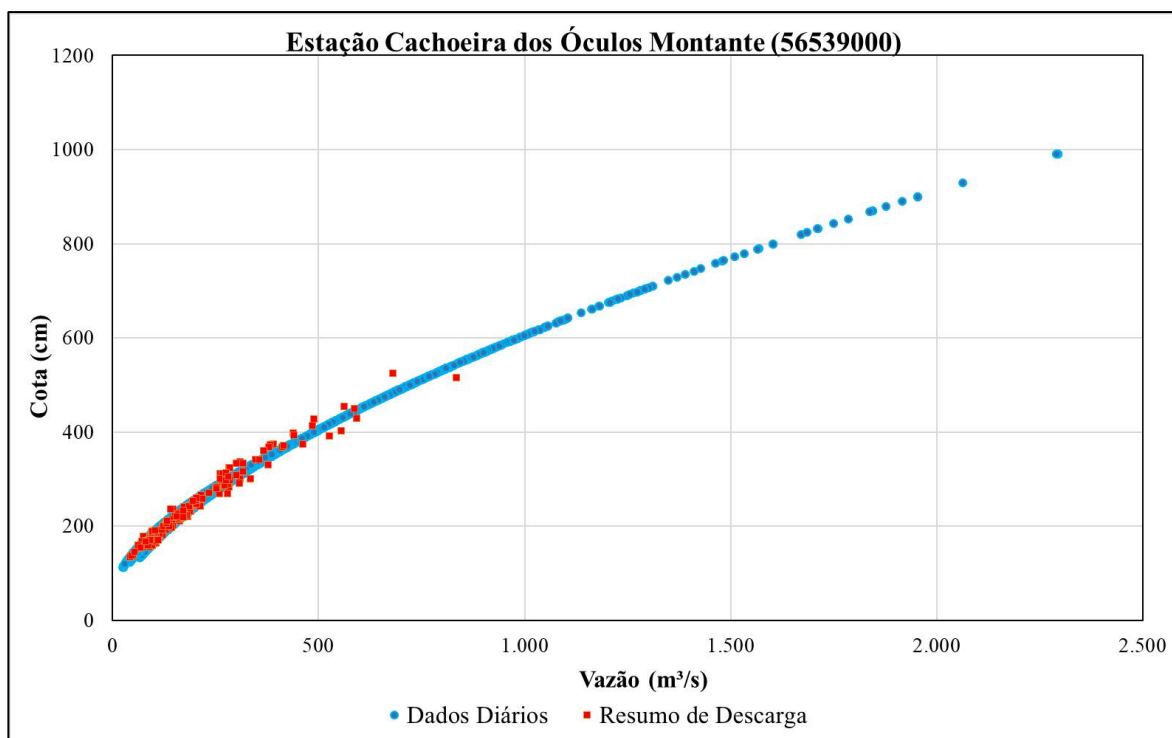


Figura 7-5 – Curva-chave Estação Cachoeira dos Óculos Montante.

A série de dados de vazões diárias da estação Cachoeira dos Óculos Montante apresenta falhas em meses chuvosos para os anos hidrológicos de 1980-1981, 1988-1989, 2018-2019 e 2019-2020. O ano de 2019-2020 apresentou falha em fevereiro/20. Entretanto este ano não foi descartado tendo em vista que os máximos anuais de todas as outras estações ocorreram no final de janeiro de 2020. Os demais anos com falhas foram descartados pois não é recomendado realizar o preenchimento de falhas de séries para análise de dados diários. A **Tabela 7-3** apresenta a série de vazões máximas anuais da

estação. A distribuição de probabilidade teórica que melhor se ajustou aos dados disponíveis de vazão para esta estação foi a Exponencial, como pode ser percebido visualmente nas **Figura 7-6** e **Figura 7-7**. Além dessa constatação visual, o item 7.1.8 apresenta os testes de aderência realizados.

Tabela 7-3 - Série de vazões máximas anuais da estação Cachoeira dos Óculos Montante.

Ano Hidrológico	Vazão Máxima Anual	Ano Hidrológico	Vazão Máxima Anual
1974-1975	991	1997-1998	680
1975-1976	574	1998-1999	532
1976-1977	863	1999-2000	860
1977-1978	922	2000-2001	802
1978-1979	2.294	2001-2002	844
1979-1980	1.509	2002-2003	1.348
1980-1981 *	668	2003-2004	988
1981-1982	1.056	2004-2005	1.483
1982-1983	977	2005-2006	813
1983-1984	1.016	2006-2007	1.002
1984-1985	1.917	2007-2008	726
1985-1986	1.105	2008-2009	1.838
1986-1987	613	2009-2010	868
1987-1988	876	2010-2011	1.273
1988-1989 *	461	2011-2012	1.953
1989-1990	897	2012-2013	644
1990-1991	1.019	2013-2014	609
1991-1992	1.056	2014-2015	516
1992-1993	826	2015-2016	682
1993-1994	632	2016-2017	855
1994-1995	637	2017-2018	1.054
1995-1996	694	2018-2019 *	508
1996-1997	1.953	2019-2020	1.710

* Anos hidrológicos descartados pois apresentam falhas em meses chuvosos.

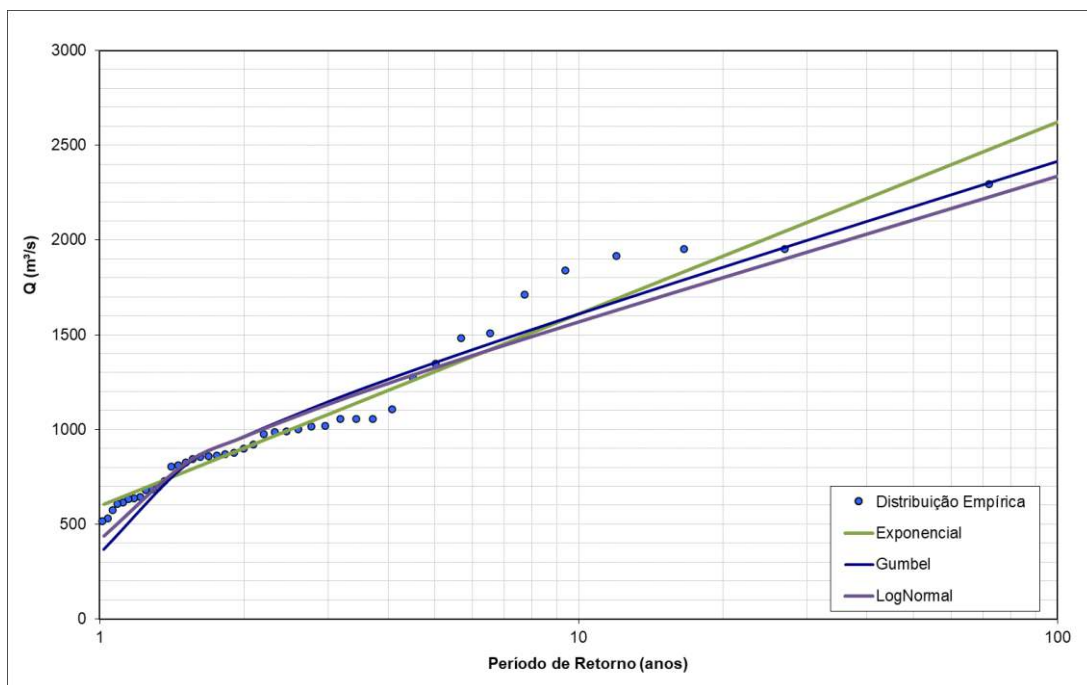


Figura 7-6 – Distribuição de probabilidade Estação Cachoeira dos Óculos Montante.

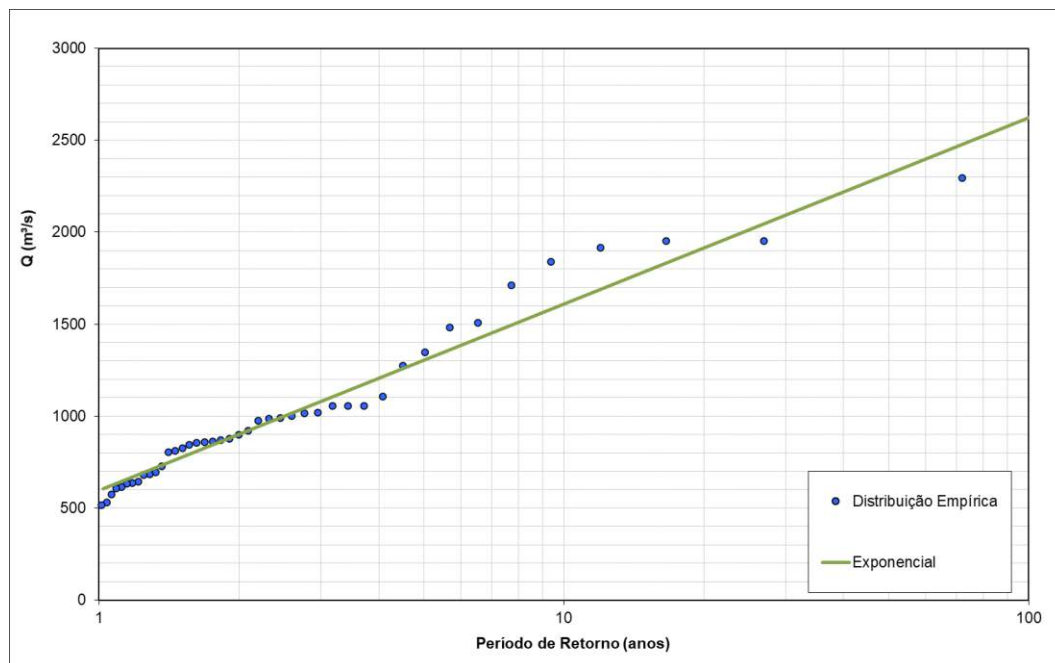


Figura 7-7 – Distribuição escolhida para a Estação Cachoeira dos Óculos Montante.

7.1.3 Estação Belo Oriente (56719998)

A estação Belo Oriente, localizada no rio Doce, no município de Belo Oriente/MG, possui uma área de drenagem de 24.200 km² e apresenta dados diários de vazão entre 18/10/1986 e 31/12/2020 e 108 medições de cota e vazão entre 14/07/1987 e 29/01/2020 presentes no Resumo de Descargas.

A **Figura 7-8** ilustra a curva-chave dessa estação, onde é possível notar que todos os dados diários se apresentam aderentes às tendências do Resumo de Descargas. É importante ressaltar que há duas tendências divididas em dois períodos, sendo o primeiro entre 01/01/1986 e 30/06/2015 e o segundo entre 01/07/2015 e 31/01/2020.

Esta instabilidade da curva-chave ocorre, pois o rio Doce possui, em alguns trechos, o leito móvel, em razão da elevada quantidade de arraste de material de fundo. Essa condição gera uma alteração da calha a cada grande evento de cheia, podendo ser encontradas diferentes relações Cota vs Vazão, conforme pode ser observado nesta estação, a qual apresenta duas tendências.

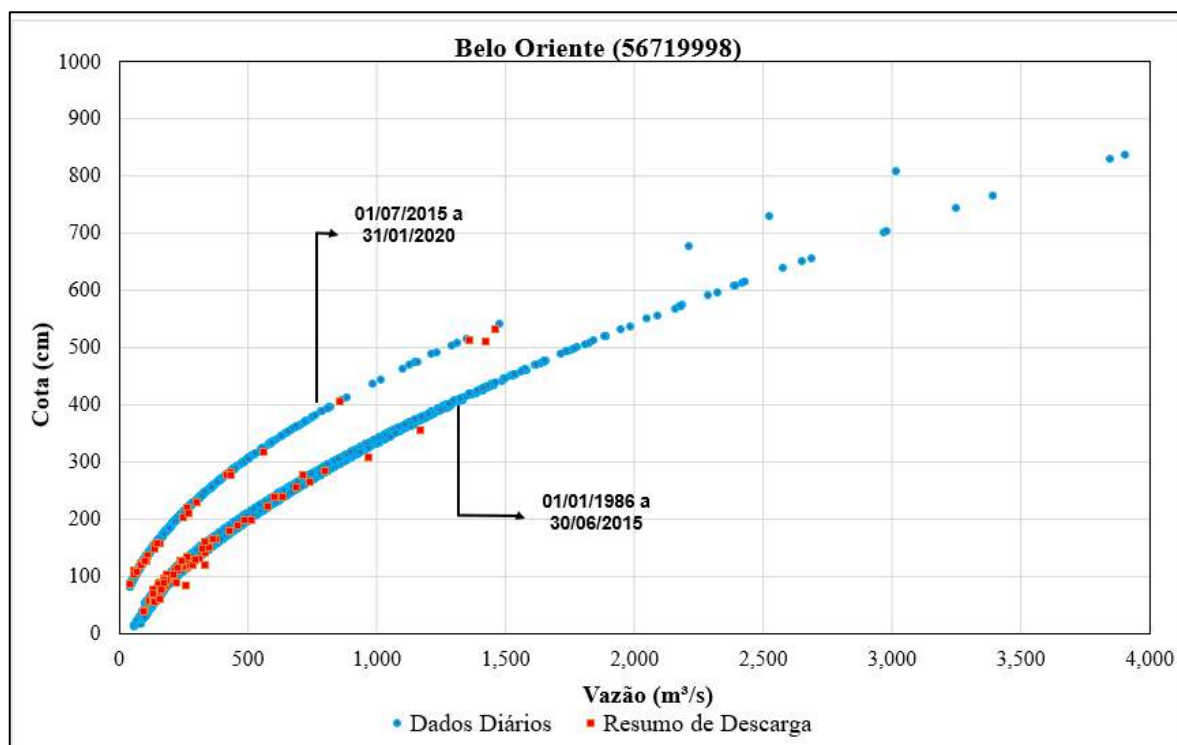


Figura 7-8 – Curva-chave Estação Belo Oriente.

A série de dados de vazões diárias da estação Belo Oriente apresenta falhas em meses chuvosos para o ano hidrológico de 1988-1989. A máxima anual referente a este ano foi descartada pois não é recomendado realizar o preenchimento de falhas de séries para análise de dados diários. A **Tabela 7-4** apresenta a série de vazões máximas anuais da estação. A distribuição de probabilidade teórica que melhor se ajustou aos dados disponíveis de vazão para esta estação foi a Exponencial, como pode ser constatado visualmente nas **Figura 7-9** e **Figura 7-10**. Além dessa constatação visual, o item 7.1.8 apresenta os testes de aderência realizados.

Tabela 7-4 - Série de vazões máximas anuais da estação Belo Oriente.

Ano Hidrológico	Vazão Máxima Anual	Ano Hidrológico	Vazão Máxima Anual
1986-1987	1.028	2003-2004	1.502
1987-1988	1.276	2004-2005	2.578
1988-1989 *	658	2005-2006	1.462
1989-1990	1.443	2006-2007	1.325
1990-1991	1.756	2007-2008	1.093
1991-1992	1.951	2008-2009	2.652
1992-1993	1.651	2009-2010	1.373
1993-1994	1.134	2010-2011	1.655
1994-1995	1.335	2011-2012	2.982
1995-1996	1.543	2012-2013	967
1996-1997	3.907	2013-2014	1.263
1997-1998	1.285	2014-2015	691
1998-1999	885	2015-2016	1.225
1999-2000	1.290	2016-2017	1.350
2000-2001	1.193	2017-2018	1.315
2001-2002	1.447	2018-2019	781
2002-2003	2.419	2019-2020	2.969

* Ano hidrológico descartado pois apresenta falhas em meses chuvosos.

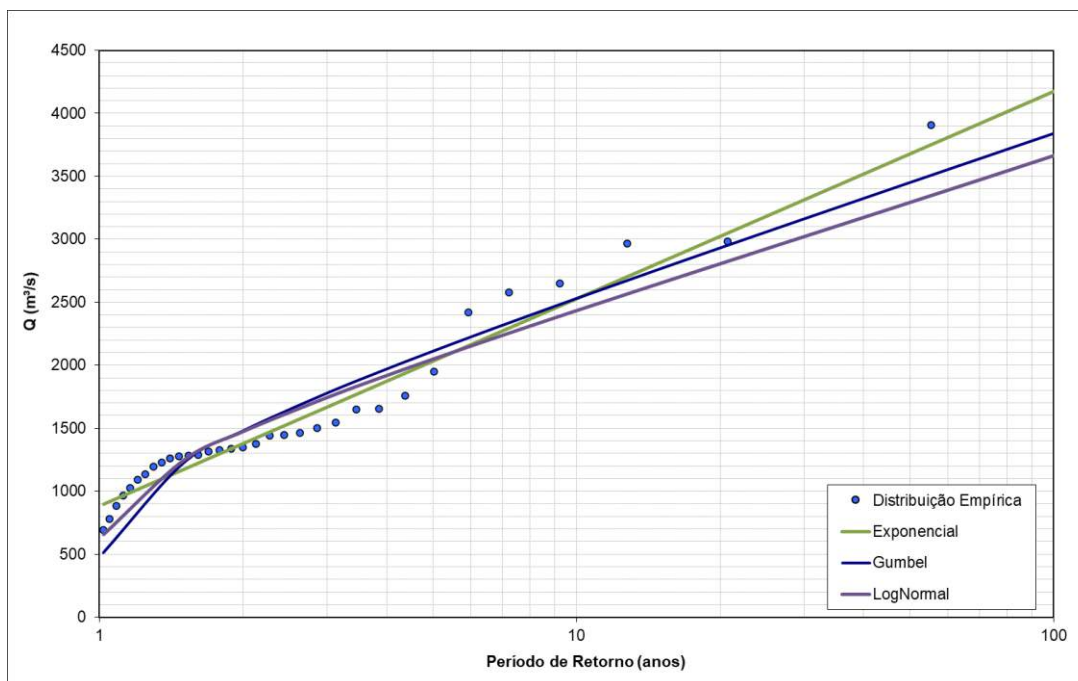


Figura 7-9 – Distribuição de probabilidade Estação Belo Oriente.

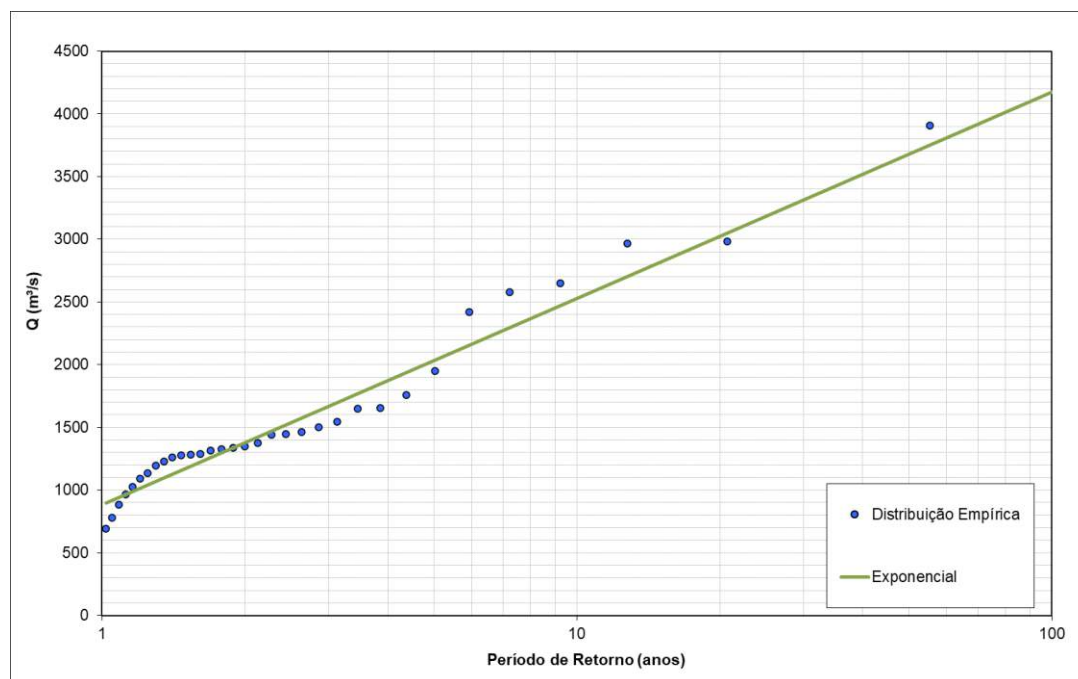


Figura 7-10 – Distribuição escolhida para a Estação Belo Oriente.

7.1.4 Estação Governador Valadares (56850000)

A estação Governador Valadares, posicionada no rio Doce, no município de Governador Valadares/MG, possui uma área de drenagem de 40.500 km² e apresenta dados diários de vazão entre 15/01/1938 e 31/12/2020 e 163 medições de cota e vazão entre 26/06/1969 e 11/02/2020 presentes no Resumo de Descargas. A **Figura 7-11** ilustra a curva-chave dessa estação, onde é possível notar que todos os dados diários se apresentam aderentes à tendência do Resumo de Descargas.

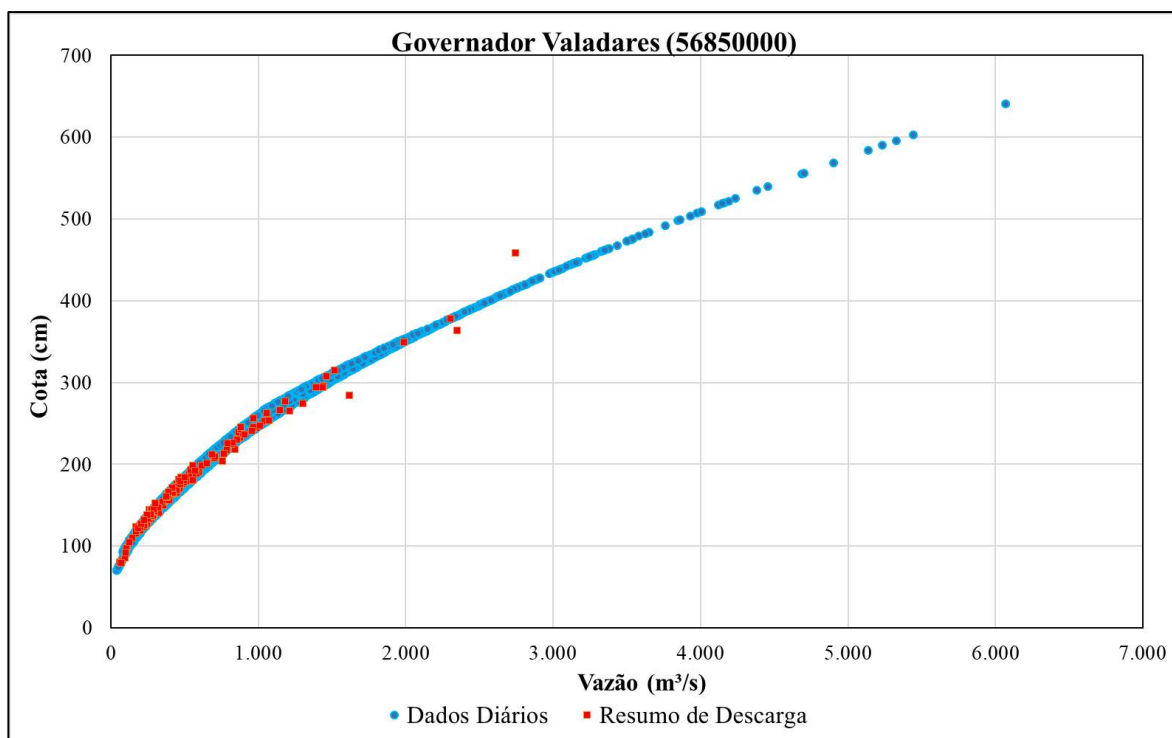


Figura 7-11 – Curva-chave Estação Governador Valadares.

A série de dados de vazões diárias da estação Governador Valadares apresenta falhas em meses chuvosos para os anos hidrológicos de 1968-1969, 1978-1979, 1988-1989 e 2019-2020. O ano de 2019-2020 apresentou falha em novembro/19, dezembro/19 e fevereiro/20. Entretanto este ano não foi descartado tendo em vista que os máximos anuais de todas as outras estações ocorreram no final de janeiro de 2020. Os demais anos com falhas foram descartados pois não é recomendado realizar o preenchimento de falhas de séries para análise de dados diários. A **Tabela 7-5** apresenta a série de

vazões máximas anuais da estação. A distribuição de probabilidade teórica que melhor se ajustou aos dados disponíveis de vazão para esta estação foi a Gumbel, como pode ser constatado visualmente nas **Figura 7-12** e **Figura 7-13**. Além dessa constatação visual, o item 7.1.8 apresenta os testes de aderência realizados.

Tabela 7-5 - Série de vazões máximas anuais da estação Governador Valadares.

Ano Hidrológico	Vazão Máxima Anual	Ano Hidrológico	Vazão Máxima Anual
1968-1969 *	463	1994-1995	1.949
1969-1970	2.136	1995-1996	2.661
1970-1971	1.246	1996-1997	6.071
1971-1972	2.446	1997-1998	2.113
1972-1973	2.601	1998-1999	1.539
1973-1974	1.687	1999-2000	2.014
1974-1975	1.627	2000-2001	1.675
1975-1976	1.412	2001-2002	2.565
1976-1977	2.723	2002-2003	3.582
1977-1978	2.352	2003-2004	2.280
1978-1979 *	3.847	2004-2005	4.119
1979-1980	2.529	2005-2006	2.661
1980-1981	1.617	2006-2007	2.529
1981-1982	3.128	2007-2008	1.746
1982-1983	2.192	2008-2009	3.693
1983-1984	2.226	2009-2010	2.036
1984-1985	4.458	2010-2011	3.352
1985-1986	2.493	2011-2012	4.700
1986-1987	1.451	2012-2013	1.409
1987-1988	2.036	2013-2014	3.037
1988-1989 *	1.071	2014-2015	1.063
1989-1990	2.517	2015-2016	3.158
1990-1991	2.625	2016-2017	2.169
1991-1992	3.285	2017-2018	2.641
1992-1993	2.434	2018-2019	1.304
1993-1994	1.811	2019-2020	4.909

* Anos hidrológicos descartados pois apresentam falhas em meses chuvosos.

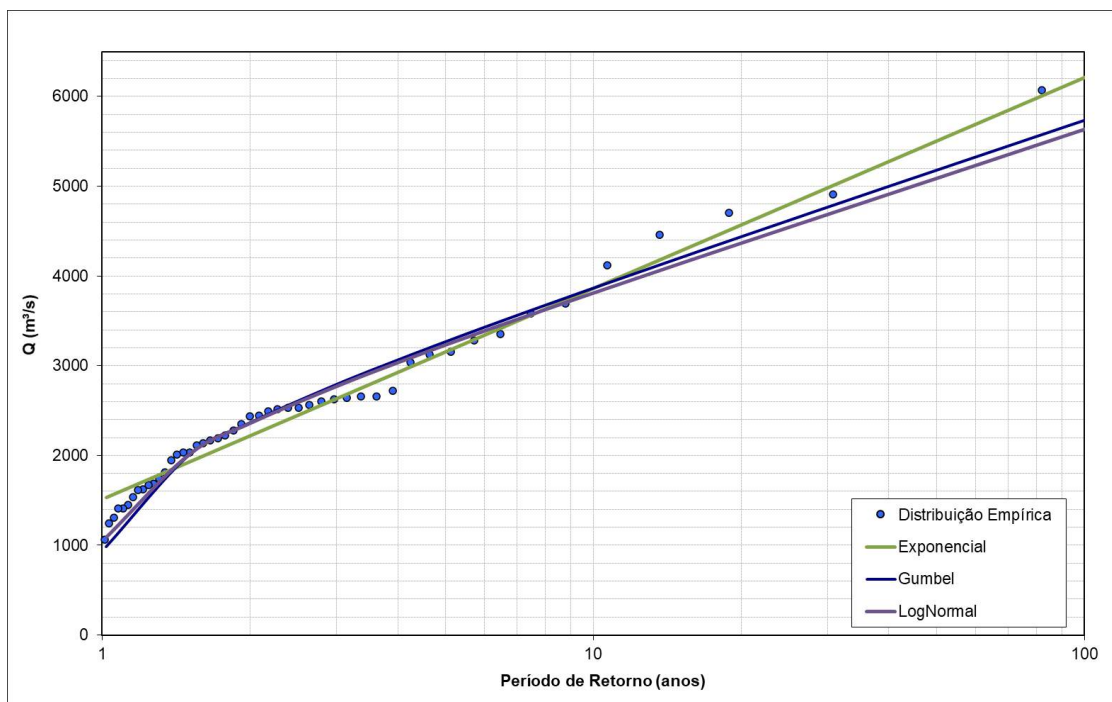


Figura 7-12 – Distribuição de probabilidade Estação Governador Valadares.

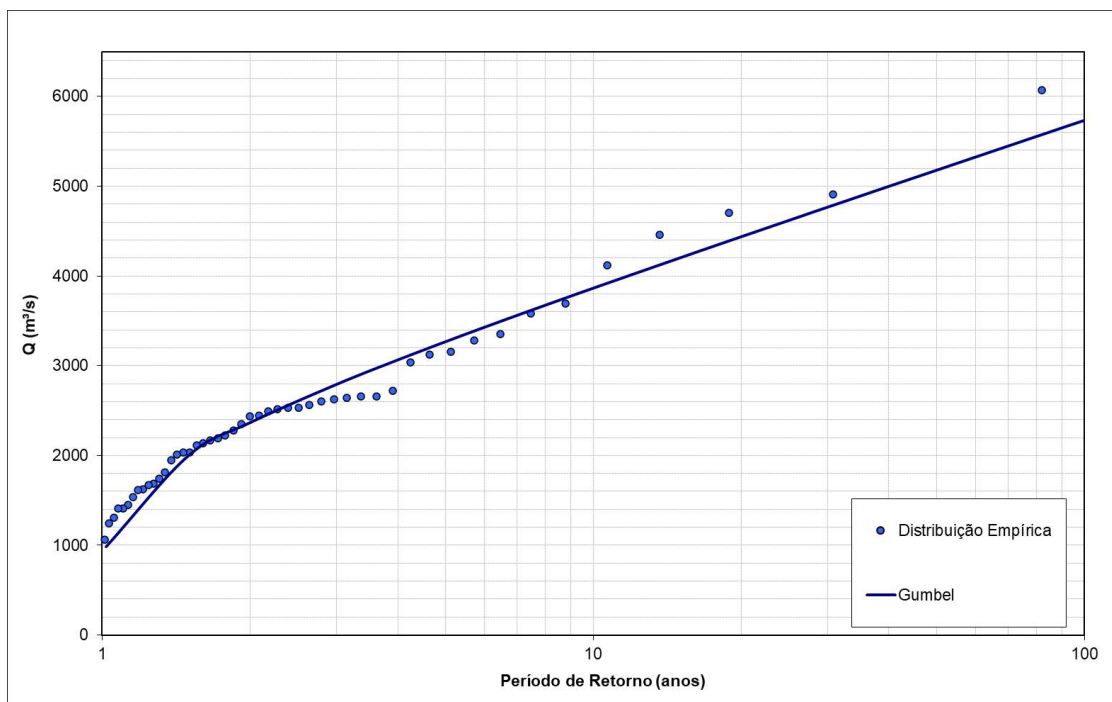


Figura 7-13 – Distribuição escolhida para a Estação Governador Valadares.

7.1.5 Estação Tumiritinga (56920000)

A estação Tumiritinga, localizada no rio Doce, no município de município de Galiléia/MG, possui uma área de drenagem de 55.100 km² e apresenta dados diários de vazão entre 01/07/1972 e 30/11/2020 e 157 medições de cota e vazão entre 09/10/1972 e 26/09/1979 presentes no Resumo de Descargas. A **Figura 7-14** ilustra a curva-chave dessa estação, onde é possível notar que todos os dados diários se apresentam aderentes à tendência do Resumo de Descargas.

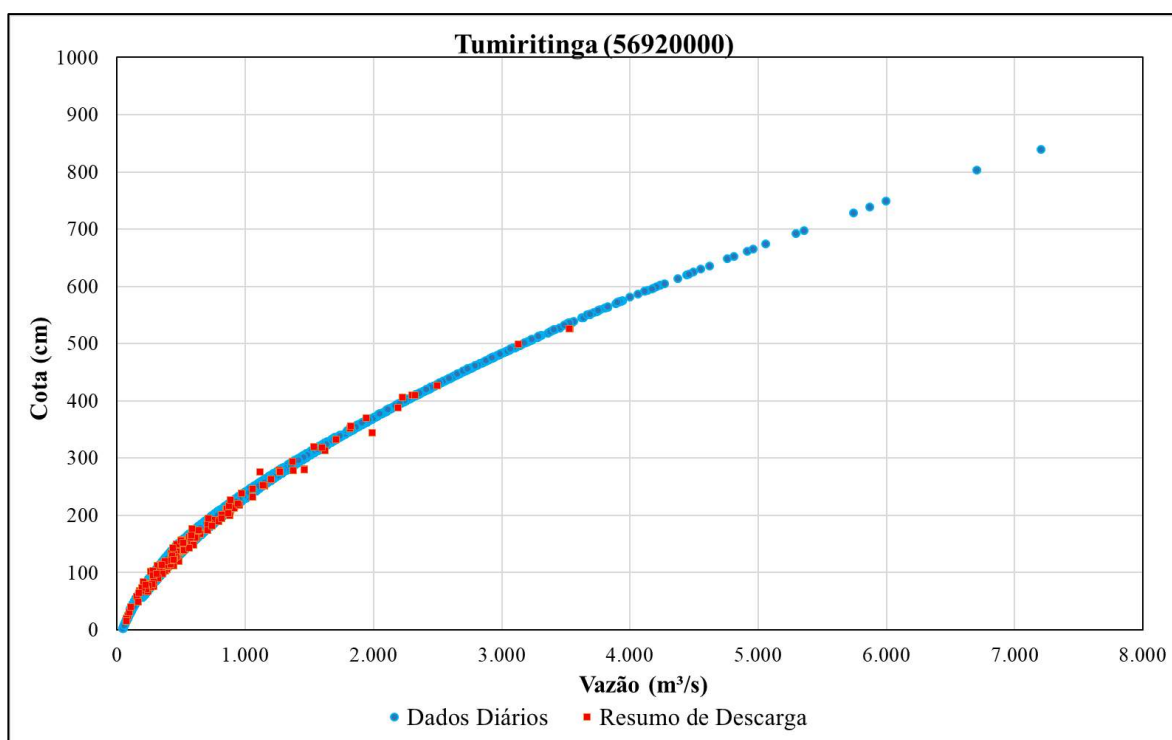


Figura 7-14 – Curva-chave Estação Tumiritinga.

A série de dados de vazões diárias da estação Tumiritinga apresenta falhas em meses chuvosos para os anos hidrológicos de 1978-1979 e 1988-1989. As máximas anuais referentes a estes anos foram descartadas pois não é recomendado realizar o preenchimento de falhas de séries para análise de dados diários. A **Tabela 7-6** apresenta a série de vazões máximas anuais da estação. A distribuição de probabilidade teórica que melhor se ajustou aos dados disponíveis de vazão para esta estação foi a

Gumbel, como pode ser constatado visualmente nas **Figura 7-15** e **Figura 7-16**. Além dessa constatação visual, o item 7.1.8 apresenta os testes de aderência realizados.

Tabela 7-6 - Série de vazões máximas anuais da estação Tumiritinga.

Ano Hidrológico	Vazão Máxima Anual	Ano Hidrológico	Vazão Máxima Anual
1972-1973	3.542	1996-1997	7.207
1973-1974	2.180	1997-1998	2.794
1974-1975	1.949	1998-1999	1.838
1975-1976	1.814	1999-2000	2.146
1976-1977	3.358	2000-2001	1.845
1977-1978	2.655	2001-2002	3.178
1978-1979 *	5.357	2002-2003	3.942
1979-1980	3.061	2003-2004	2.610
1980-1981	2.105	2004-2005	4.622
1981-1982	3.824	2005-2006	3.308
1982-1983	3.032	2006-2007	3.238
1983-1984	3.100	2007-2008	2.475
1984-1985	5.868	2008-2009	4.171
1985-1986	3.388	2009-2010	2.183
1986-1987	1.698	2010-2011	4.116
1987-1988	2.511	2011-2012	5.059
1988-1989 *	1.207	2012-2013	1.672
1989-1990	3.110	2013-2014	4.061
1990-1991	3.159	2014-2015	1.171
1991-1992	4.271	2015-2016	3.488
1992-1993	3.032	2016-2017	2.243
1993-1994	2.163	2017-2018	2.985
1994-1995	2.088	2018-2019	1.542
1995-1996	3.042	2019-2020	4.999

* Anos hidrológicos descartados pois apresentam falhas em meses chuvosos.

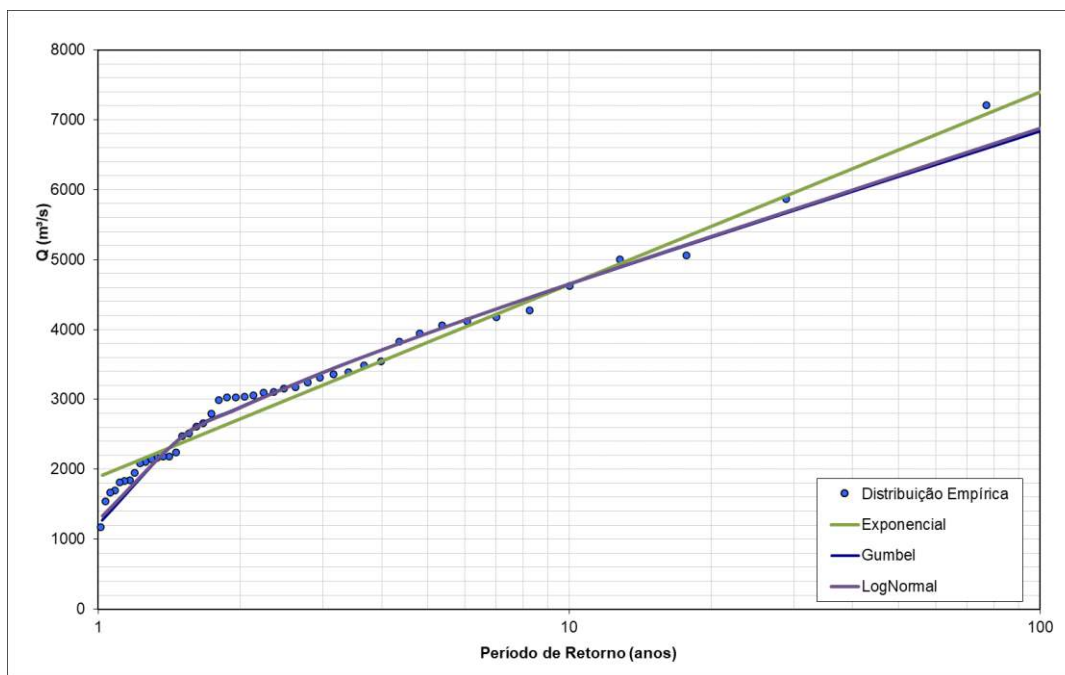


Figura 7-15 – Distribuição de probabilidade Estação Tumiritinga.

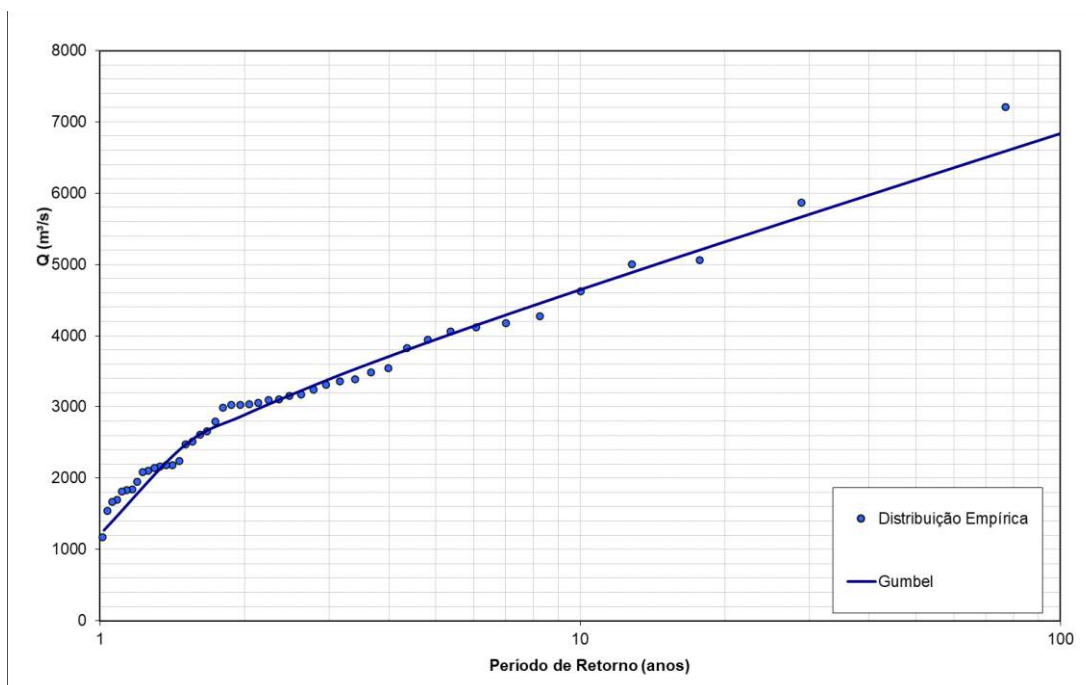


Figura 7-16 – Distribuição escolhida para a Estação Tumiritinga.

7.1.6 Estação Resplendor Jusante (56948005)

A estação Resplendor Jusante, localizada no rio Doce, no município de Resplendor/MG, possui uma área de drenagem de 61.200 km² e apresenta dados diários de vazão entre 01/05/1984 e 31/10/2004 e 62 medições de cota e vazão entre 21/03/1984 e 06/04/2000 presentes no Resumo de Descargas.

A **Figura 7-17** ilustra a curva-chave dessa estação, onde é possível notar que todos os dados diários se apresentam aderentes à tendência do Resumo de Descargas. Salienta-se que para esta estação foram disponibilizados os dados apenas até 2004, contudo, por se tratar de dados diários, optou-se por não realizar o preenchimento do período faltante, além disso, trata-se de uma importante estação em termos de posicionamento geográfico, não sendo justificável sua eliminação da análise.

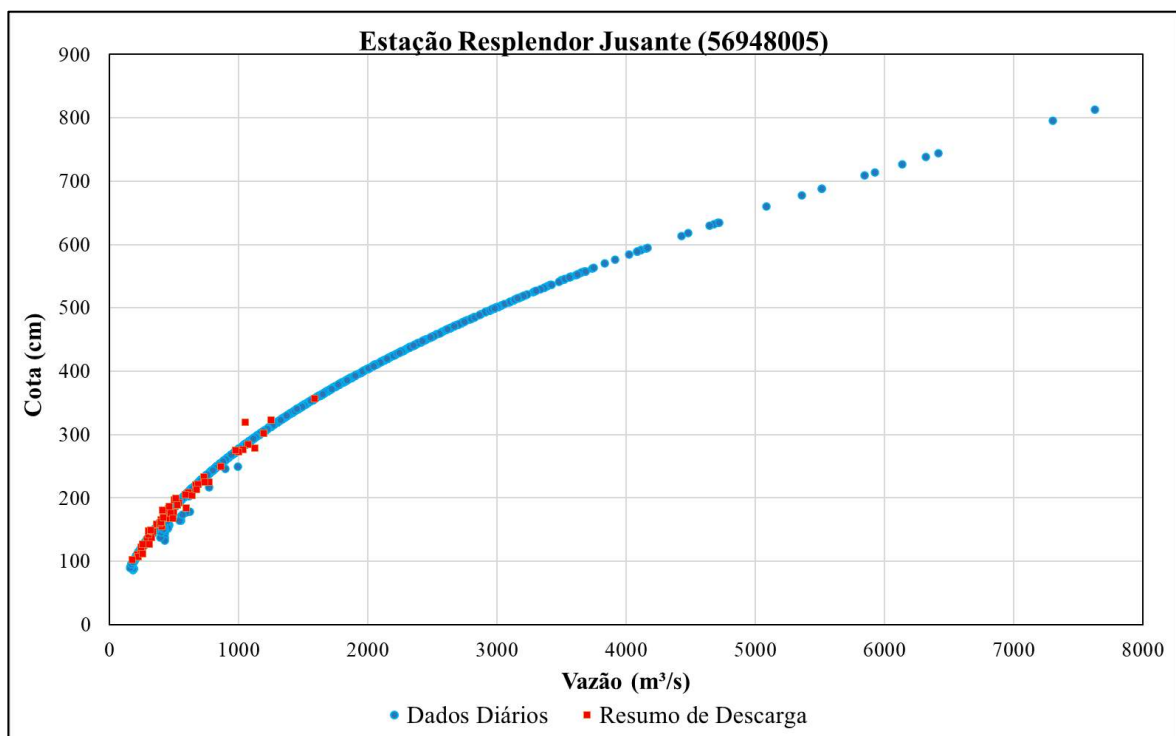


Figura 7-17 – Curva-chave Estação Resplendor Jusante.

A série de dados de vazões diárias da estação Resplendor Jusante apresenta falhas em meses chuvosos para os anos hidrológicos de 1984-1985, 1985-1986, 1986-1987, 1987-1988, 1988-1989 e 1989-1990. As máximas anuais referentes a estes anos foram descartadas pois não é recomendado realizar o preenchimento de falhas de séries para análise de dados diários. A **Tabela 7-7** apresenta a série de vazões máximas anuais da estação. A distribuição de probabilidade teórica que melhor se ajustou aos dados disponíveis de vazão para esta estação foi a Gumbel, como pode ser constatado visualmente nas **Figura 7-18** e **Figura 7-19**. Além dessa constatação visual, o item 7.1.8 apresenta os testes de aderência realizados.

Tabela 7-7 - Série de vazões máximas anuais da estação Resplendor Jusante.

Ano Hidrológico	Vazão Máxima Anual	Ano Hidrológico	Vazão Máxima Anual
1984-1985 *	6.419	1994-1995	2.011
1985-1986 *	3.735	1995-1996	3.497
1986-1987 *	1.691	1996-1997	7.630
1987-1988 *	2.491	1997-1998	3.173
1988-1989 *	1.151	1998-1999	1.992
1989-1990 *	3.103	1999-2000	2.152
1990-1991	3.497	2000-2001	1.830
1991-1992	4.482	2001-2002	3.479
1992-1993	3.339	2002-2003	5.088
1993-1994	2.279	2003-2004	3.162

* Anos hidrológicos descartados pois apresentam falhas em meses chuvosos.

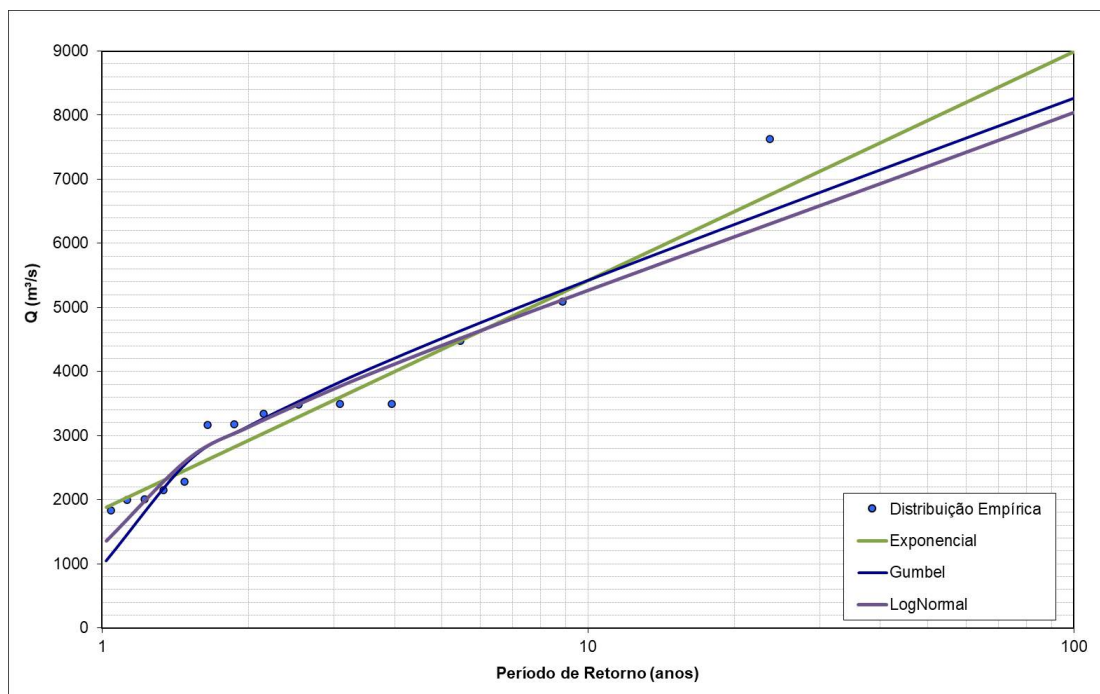


Figura 7-18 – Distribuição de probabilidade Estação Resplendor Jusante.

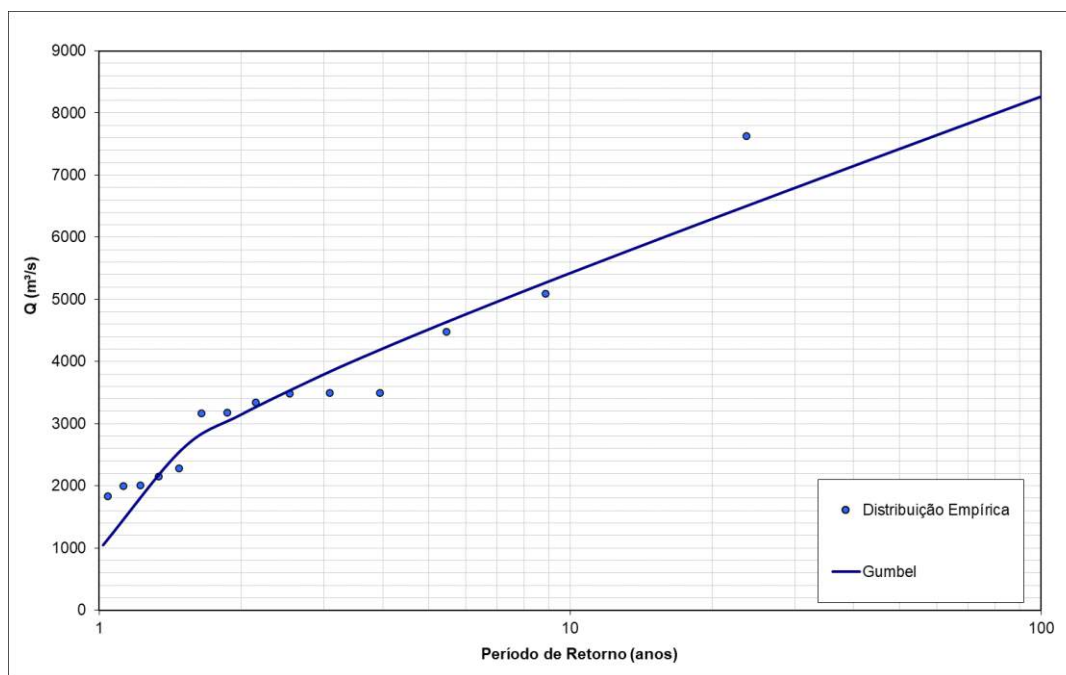


Figura 7-19 – Distribuição escolhida para a Estação Resplendor Jusante.

7.1.7 Estação Colatina (56994500)

A estação Colatina, localizada no rio Doce, no município de Colatina/ES, possui uma área de drenagem de 76.400 km² e apresenta dados diários de vazão entre 01/01/1938 e 31/12/2020 e 279 medições de cota e vazão entre 23/01/1939 e 30/01/2020 presentes no Resumo de Descargas. A **Figura 7-20** ilustra a curva-chave dessa estação, onde é possível notar que todos os dados diários se apresentam aderentes às tendências do Resumo de Descargas.

Segundo os dados do portal Hidroweb, a estação Colatina apresenta 16 equações de curvas-chave diferentes válidas para períodos distintos. Assim como explicitado no item 7.1.3, esta instabilidade da curva-chave ocorre pois o rio Doce possui, em alguns trechos, o leito móvel, em razão da elevada quantidade de arraste de material de fundo. Essa condição gera uma alteração da calha a cada grande evento de cheia, podendo ser encontradas diferentes relações Cota vs Vazão.

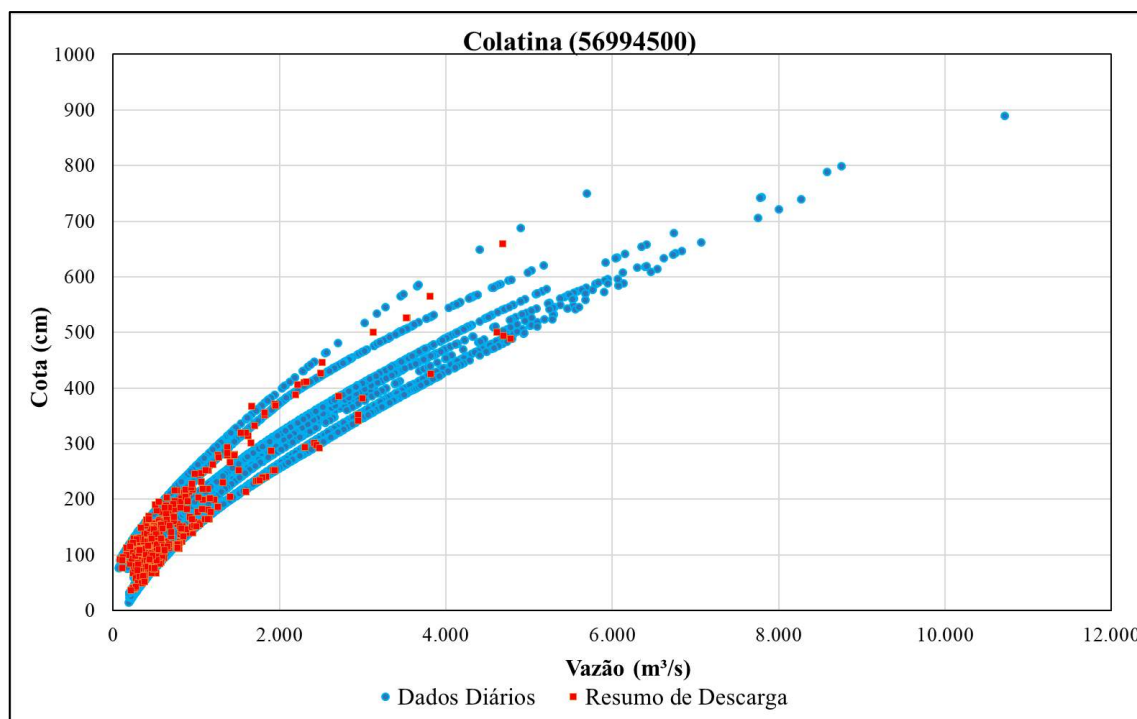


Figura 7-20 – Curva-chave Estação Colatina.

A série de dados de vazões diárias da estação Colatina apresenta falhas em meses chuvosos para os anos hidrológicos de 1942-1943, 1977-1978, 1978-1979, 1979-1980, 1980-1981, 1981-1982, 1982-1983, 1984-1985, 1988-1989, 1989-1990 e 2014-2015. As máximas anuais referentes a estes anos foram descartadas pois não é recomendado realizar o preenchimento de falhas de séries para análise de dados diários. A **Tabela 7-8** apresenta a série de vazões máximas anuais da estação. A distribuição de probabilidade teórica que melhor se ajustou aos dados disponíveis de vazão para esta estação foi a Gumbel, como pode ser visto nas **Figura 7-21** e **Figura 7-22**

Tabela 7-8 - Série de vazões máximas anuais da estação Colatina.

Ano Hidrológico	Vazão Máxima Anual	Ano Hidrológico	Vazão Máxima Anual
1938-1939	4.801	1979-1980 *	0
1939-1940	2.390	1980-1981 *	0
1940-1941	3.798	1981-1982 *	0
1941-1942	4.815	1982-1983 *	1.013
1942-1943 *	5.682	1983-1984	4.731
1943-1944	6.539	1984-1985 *	4.815
1944-1945	4.815	1985-1986	4.242
1945-1946	5.098	1986-1987	2.034
1946-1947	2.465	1987-1988	3.039
1947-1948	3.597	1988-1989 *	1.385
1948-1949	6.125	1989-1990 *	1.305
1949-1950	2.914	1990-1991	4.443
1950-1951	4.026	1991-1992	5.198
1951-1952	4.470	1992-1993	3.979
1952-1953	3.982	1993-1994	2.946
1953-1954	2.946	1994-1995	2.465
1954-1955	2.826	1995-1996	5.761
1955-1956	3.172	1996-1997	9.820
1956-1957	6.310	1997-1998	4.261
1957-1958	2.675	1998-1999	2.985
1958-1959	1.794	1999-2000	3.389
1959-1960	4.084	2000-2001	2.688
1960-1961	6.480	2001-2002	4.899
1961-1962	3.004	2002-2003	7.566
1962-1963	5.445	2003-2004	5.533
1963-1964	3.659	2004-2005	7.192
1964-1965	3.760	2005-2006	4.713
1965-1966	4.525	2006-2007	5.149

Ano Hidrológico	Vazão Máxima Anual	Ano Hidrológico	Vazão Máxima Anual
1966-1967	3.584	2007-2008	2.499
1967-1968	4.430	2008-2009	7.121
1968-1969	2.707	2009-2010	3.513
1969-1970	4.057	2010-2011	6.999
1970-1971	2.068	2011-2012	8.056
1971-1972	4.511	2012-2013	2.557
1972-1973	5.489	2013-2014	11.655
1973-1974	2.585	2014-2015 *	871
1974-1975	2.465	2015-2016	3.819
1975-1976	2.752	2016-2017	2.692
1976-1977	3.992	2017-2018	3.677
1977-1978 *	723	2018-2019	2.705
1978-1979 *	0	2019-2020	5.502

* Anos hidrológicos descartados pois apresentam falhas em meses chuvosos.

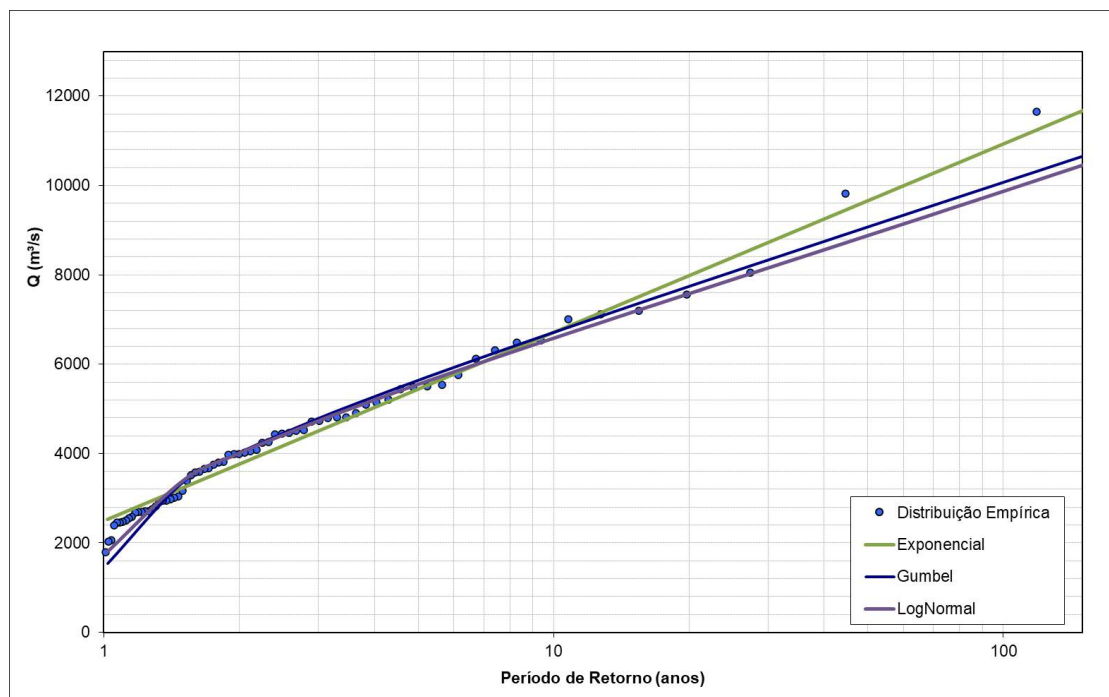


Figura 7-21 – Distribuição de probabilidade Estação Colatina.

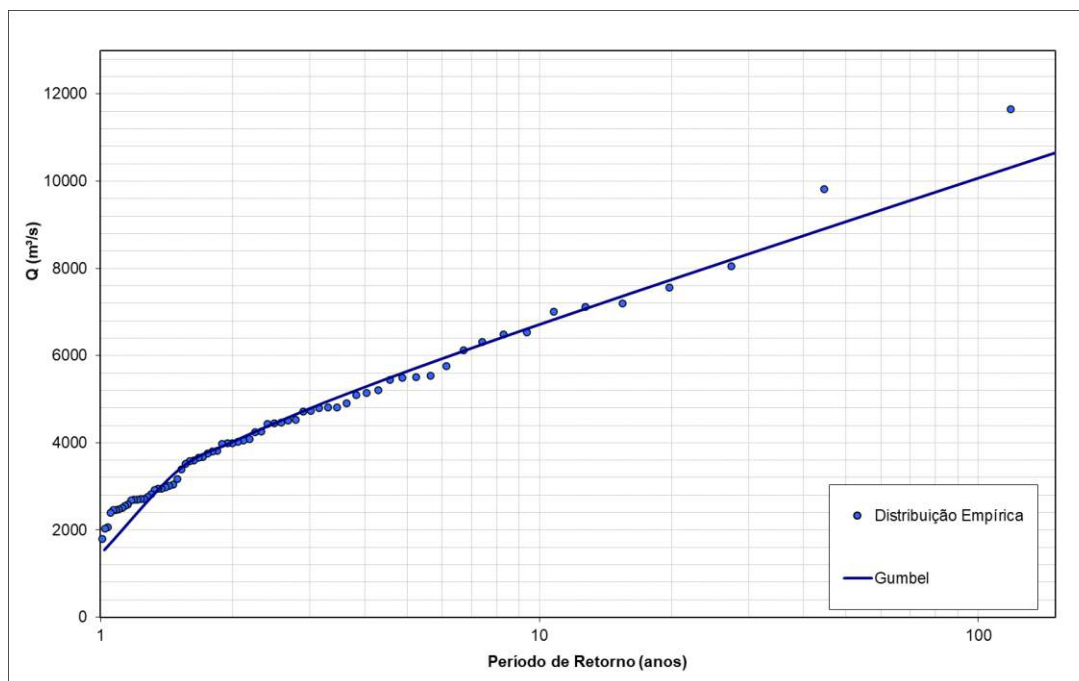


Figura 7-22 – Distribuição escolhida para a Estação Colatina.

A **Tabela 7-9** apresenta os principais parâmetros das estações utilizadas no estudo.

Tabela 7-9 – Principais parâmetros estações utilizadas.

Estação	Média	Desvio padrão	Assimetria	Distribuição	Posição	Escala
56425000	801,73	373,63	1,49	Exponencial	428,10	373,63
56539000	1035,04	440,14	1,28	Exponencial	594,90	440,14
56719998	1597,79	714,72	1,60	Exponencial	883,07	714,72
56850000	2530,67	1020,68	1,37	Gumbel	2071,32	795,82
56920000	3083,56	1196,00	1,18	Gumbel	2545,32	932,52
56948005	3400,68	1550,25	1,66	Gumbel	2703,00	1208,73
56994500	4323,71	1831,90	1,50	Gumbel	3499,28	1428,33

7.1.8 Testes de aderência

A partir dos dados de vazões máximas adimensionalizadas para cada uma das estações fluviométricas selecionadas, foram utilizados testes de aderência para verificar os ajustes das respectivas distribuições probabilísticas. Os testes de aderência realizados estão listados a seguir com uma breve descrição metodológica.

- Teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (KS)

O teste de Kolmogorov-Smirnov é um teste não paramétrico cuja estatística de teste é calculada pela máxima diferença entre as funções acumuladas de probabilidade (FAP) empírica e teórica de variáveis aleatórias contínuas. As probabilidades empíricas podem ser calculadas pela **Equação 7-1**, ao passo que as probabilidades teóricas são calculadas pelas funções acumuladas de probabilidades das distribuições probabilísticas em análise (**Equação 7-2** e **Equação 7-3**) e os valores críticos da estatística do teste são calculados em função do tamanho da amostra (NAGHETTINI e PINTO, 2007).

$$F_N(x_m) = \frac{m}{N} \quad \text{Equação 7-1}$$

$$F(x) = 1 - e^{\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)} \quad \text{Equação 7-2}$$

$$F(x) = e^{-e^{\left[\frac{y-\beta}{\alpha}\right]}} \quad \text{Equação 7-3}$$

- Teste de aderência do Qui-Quadrado (χ^2)

O teste do Qui-Quadrado pode ser aplicado tanto para variáveis contínuas como discretas. Para variáveis contínuas, são utilizados intervalos de classes com os quais se calculam frequências observadas (O_i) e frequências esperadas (E_i), utilizando as distribuições probabilísticas em análise. Assim, a estatística de teste é calculada a partir da **Equação 7-4** e deve ser comparada com os valores críticos da estatística de testes dispostos em Naghettini e Pinto (2007).

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \frac{(O_i - E_i)^2}{O_i}$$

Equação 7-4

- Teste de aderência de Anderson-Darling (AD)

O teste de Anderson-Darling (AD) é um teste não-paramétrico que pondera mais fortemente as caudas das distribuições, ou seja, que é mais sensível as maiores ou menores observações. Assim como o teste de Kolmogorov-Smirnov, o teste de Anderson-Darling se baseia na diferença entre funções acumuladas de probabilidades (FAP) empírica, $F_N(x_m)$, e teórica, $F_X(x_m)$, de variáveis aleatórias contínuas, porém utiliza a divisão da diferença entre as probabilidades por $\sqrt{F_X(x_m)[1 - F_X(x_m)]}$ para atribuir mais peso às caudas. Assim, a estatística de teste é calculada a partir da **Equação 7-5** e deve ser comparada com os valores críticos dispostos em Naghettini e Pinto (2007).

$$A^2 = -N - \sum_{i=1}^N \frac{(2i - 1)\{\ln F_X(x_i) + \ln[1 - F_X(x_{N-i+1})]\}}{N}$$

Equação 7-5

- Teste de aderência de Filliben

O teste de Filliben se baseia na hipótese de que a existência de uma forte associação linear entre os dados observados em ordem crescente (x_i) e os quantis teóricos (w_i) calculados a partir da **Equação 7-6** é um indicador de que as observações podem ter sido extraídas da distribuição de probabilidade em questão. Assim, a estatística de teste é calculada a partir da **Equação 7-7** e deve ser comparada com os valores críticos dispostos em Naghettini e Pinto (2007).

$$w_i = F_x^{-1}(1 - q_i)$$

Equação 7-6

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - x_{med}) \cdot (w_i - w_{med})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - x_{med})^2 \cdot \sum_{i=1}^N (w_i - w_{med})^2}}$$

Equação 7-7

Para a aplicação dos testes de aderência descritos acima, foi utilizado o programa Análise de Frequência Local de Eventos Anuais (ALEA), desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos (DEHR-UFMG), e a linguagem de programação R por meio das bibliotecas de funções *kSamples* e *ppcc*. A **Tabela 7-10** apresenta o resultado dos testes de aderência para as sete estações fluviométricas analisadas. Todos os testes de aderência foram aceitos tendo em vista a ocorrência de p-valores acima do valor crítico de 0,05.

Tabela 7-10 – P-valores calculados para cada estação fluviométrica nos diferentes testes de aderência.

Distribuição de Frequência	Nome	Cód.	P-valor			
			Kolmogorov-Smirnov	Qui-Quadrado	Anderson-Darling	Filliben
Exponencial	Fazenda Cachoeira D'Antas	56425000	0,929	0,423	0,275	0,672
	Cachoeira dos Óculos Montante	56539000	0,944	0,805	0,327	0,317
	Belo Oriente	56719998	0,456	0,923	0,501	0,527
Gumbel	Governador Valadares	56850000	0,737	0,520	0,888	0,523
	Tumiritinga	56920000	0,964	0,233	0,867	0,816
	Resplendor Jusante	56948005	0,654	0,434	0,267	0,278
	Colatina	56994500	0,095	0,161	0,737	0,836

7.2 Regionalização de Vazões

Para realizar o cálculo das vazões de tempo de retorno notáveis de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos no trecho de interesse foi utilizado o método de regionalização denominado *index-flood*, ou cheia-índice. Este método assume que, em uma região homogênea, as vazões adimensionais (razão entre vazão máxima e fator de adimensionalização) obedecem a uma distribuição de probabilidades única, ou seja, uma mesma distribuição de frequência para os dados avaliados, a partir de um fator de escala local denominado *index-flood* ou fator de adimensionalização. Cabe destacar que neste estudo o fator de adimensionalização adotado foi a média das vazões máximas das séries diárias ($Q_{\text{med-máx}}$).

Dessa forma, para cada série calculou-se a $Q_{med-máx}$ e, posteriormente, adimensionalizou-se a mesma seu respectivo parâmetro índice. Por meio da série adimensionalizada obteve-se os parâmetros das distribuições Exponencial para as estações Fazenda Cachoeira d’Antas, Cachoeira dos Óculos Montante e Belo Oriente, e Gumbel para as estações Governador Valadares, Tumiritinga, Resplendor Jusante e Colatina. É importante ressaltar que foi considerado um período de medição homogêneo entre o ano hidrológico de 1986-1987 e o ano hidrológico de 2019-2020.

Os valores das médias das vazões máximas e parâmetros regionais da distribuição Exponencial das estações Fazenda Cachoeira d’Antas, Cachoeira dos Óculos Montante e Belo Oriente são apresentados na **Tabela 7-11**, enquanto os valores das médias das vazões máximas e parâmetros regionais da distribuição Gumbel das estações Governador Valadares, Tumiritinga, Resplendor Jusante e Colatina são apresentados na **Tabela 7-12**.

Tabela 7-11 – Parâmetros regionais distribuição de probabilidade Exponencial.

Estação		Nº dados da série	desvio padrão	(média - desvio padrão)
Fazenda Cachoeira D’Antas	56425000	32	0,4806	0,5194
Cachoeira dos Óculos Montante	56539000	32	0,4180	0,5820
Belo Oriente	56719998	33	0,4473	0,5527
Parâmetros Regionais			0,449	0,551

Tabela 7-12 – Parâmetros regionais distribuição de probabilidade Gumbel.

Estação		Nº dados da série	α	β
Governador Valadares	56850000	33	0,3295	0,8099
Tumiritinga	56920000	32	0,3180	0,8165
Resplendor Jusante	56948005	14	0,3554	0,7949
Colatina	56994500	31	0,3694	0,7868
Parâmetros Regionais			0,340	0,803

A fim de construir uma curva regional, os parâmetros de posição e escala das distribuições ajustadas para cada estação foram ponderados, resultando em parâmetros e uma distribuição regional que obteve um ajuste satisfatório nas séries de cada estação, podendo ser utilizada como uma curva representativa para a região. A curva regional obtida para a distribuição Exponencial é apresentada na **Figura 7-23**, enquanto a curva regional obtida para a distribuição Gumbel é apresentada na **Figura 7-24**. Salienta-se que o ramo inferior a 2 anos de tempo de retorno dessa curva não está bem ajustado, porém essa é uma característica inerente à distribuição de Gumbel, contudo, os valores das vazões notáveis estudadas são sempre superiores, sendo, dessa maneira, representativos os resultados da curva teórica para os tempos de retorno de interesse. Para vazões inferiores a 2 anos, iremos gerar uma curva ajustada com a empírica.

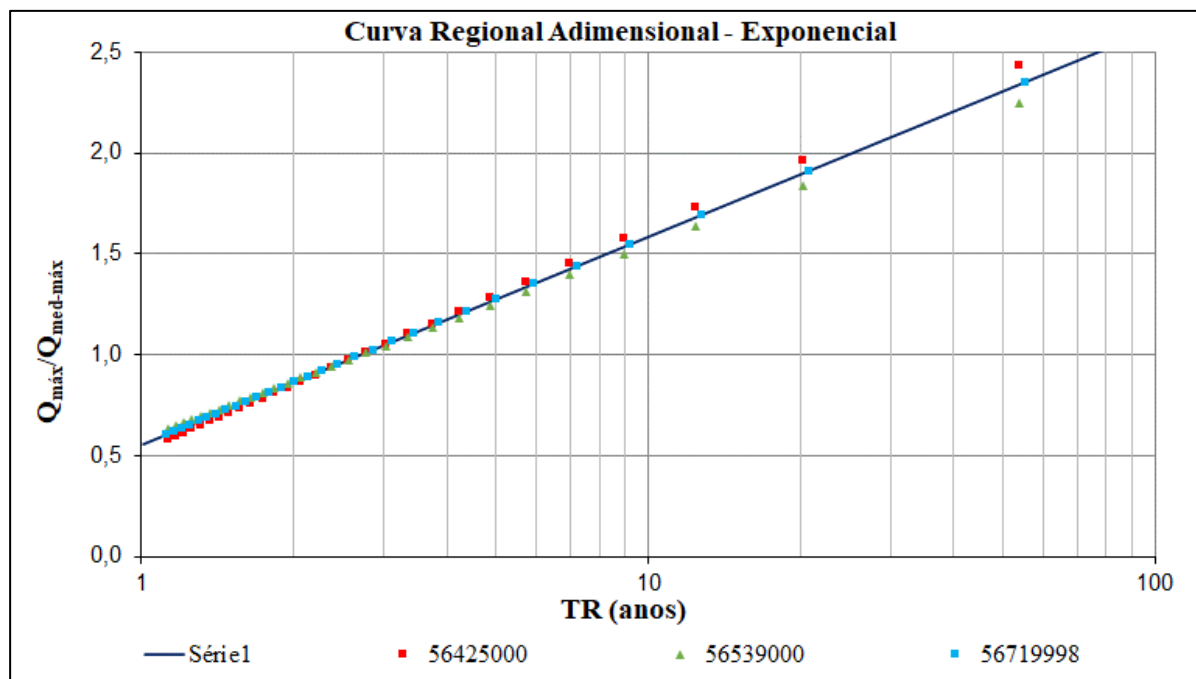


Figura 7-23 –Curva regional distribuição Exponencial.

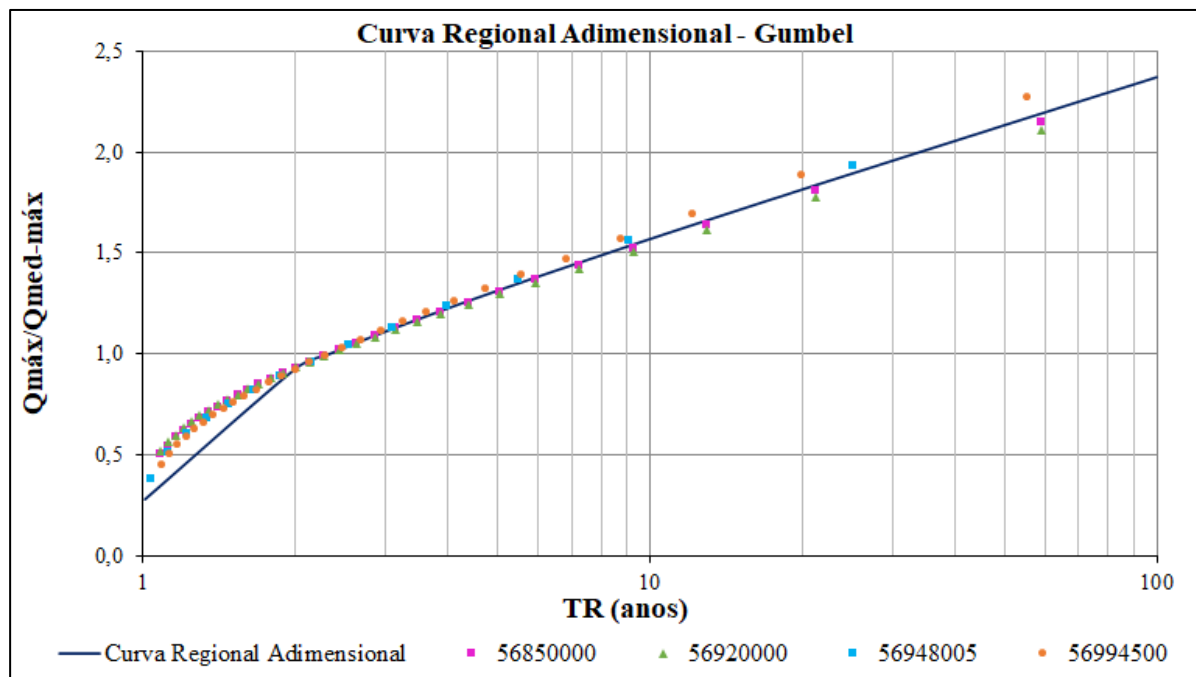


Figura 7-24 – Curva regional distribuição Gumbel.

A partir dos pares ordenados de área de drenagem e $Q_{med-máx}$ apresentados na **Tabela 7-13** plotou-se a equação regional que define o comportamento das vazões para diferentes áreas de drenagem, apresentada na **Figura 7-25**.

Tabela 7-13 – Área de drenagem e $Q_{med-máx}$ das estações.

Código	Área de Drenagem (km ²)	$Q_{med-máx}$ (m ³ /s)
56425000	10100	792
56539000	15900	978
56719998	24200	1598
56850000	40500	2640
56920000	55100	3090
56948005	61200	3401
56994500	76400	4464

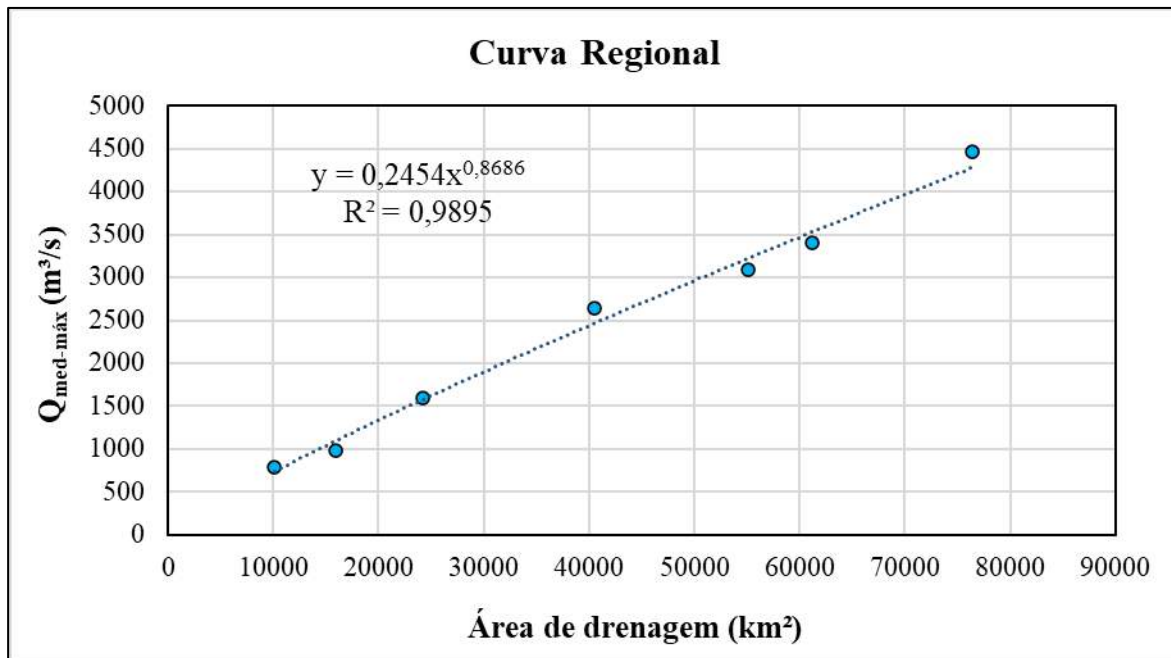


Figura 7-25 – Curva Regional.

7.2.1 Definição das vazões nos trechos

Com o objetivo de caracterizar as contribuições de vazões dos afluentes representativos do rio Doce, foram definidos pontos de controle subdividindo o trecho de interesse. Ao todo foram definidos 20 pontos de controle cujas áreas de drenagem foram delimitadas e calculadas.

A partir da área de drenagem de cada ponto, utilizou-se a equação da curva regional para calcular a vazão de tempo de retorno de 2,72 anos (referente aos pontos de controle entre as estações Fazenda Cachoeira D’Antas e Belo Oriente) e 2,33 anos (referente aos pontos de controle entre as estações Governador Valadares e Colatina). O valor de 2,72 anos corresponde ao tempo de retorno associado ao quantil adimensionalizado de vazão equivalente a 1 considerando a distribuição Exponencial e o valor de 2,33 anos corresponde ao tempo de retorno associado ao quantil adimensionalizado de vazão equivalente a 1 considerando a distribuição Gumbel.

Posteriormente, para calcular a vazão média com tempo de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, multiplicou-se as vazões associadas aos TR de 2,72 pelos quantis regionais da distribuição

Exponencial e multiplicou-se as vazões associadas aos TR de 2,33 anos pelos quantis regionais da distribuição Gumbel (**Tabela 7-14**).

Tabela 7-14 – Quantis de frequência para as curvas Exponencial e Gumbel.

TR (anos)	Q _(T) Exponencial	Q _(T) Gumbel
2	0,862	0,928
5	1,273	1,314
10	1,584	1,570
25	1,995	1,893
50	2,306	2,132
100	2,617	2,370

Por último, os valores de vazões médias com tempo de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos foram ajustados segundo a Equação de Fuller (1914), (**Equação 7-8**), cujas vazões médias máximas diárias são convertidas em vazões máximas diárias, sendo essa metodologia amplamente utilizada no meio técnico.

$$Q_p = Q(1 + 2,66 \times A^{-0,3}) \quad \text{Equação 7-8}$$

Sendo, Q_p a vazão máxima, em m³/s, Q a vazão média máxima diária, em m³/s e A área de drenagem, em km².

Tal ajuste se faz necessário pois as vazões de pico não ocorrem nos mesmos horários em que os dados de vazão são coletados nas estações fluviométricas, provocando uma defasagem entre as vazões máximas registradas pelas séries de dados e as vazões de pico que efetivamente preencheram a calha dos cursos de água.

A **Tabela 7-15** apresenta os resultados do cálculo das vazões máximas notáveis associadas aos tempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos para os pontos de interesse. A localização dos pontos de controle é ilustrada na **Figura 7-26**.

Tabela 7-15 – Vazões obtidas por regionalização – TR de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos.

Ponto	Descrição	Área de Contribuição (km ²)	Quantis para Cálculo das Vazões	Q _{MÁXIMA} (m ³ /s)					
				TR 2 anos	TR 5 anos	TR 10 anos	TR 25 anos	TR 50 anos	TR 100 anos
0	Área de Contribuição da UHE Risoleta Neves	8.999	Exponencial	675	997	1241	1563	1806	2050
1	Rio Doce logo a jusante da UHE Risoleta Neves	10.080	Exponencial	742	1095	1363	1716	1984	2251
2	Rio Doce após confluência com Rio Casca	12.835	Exponencial	906	1337	1664	2096	2422	2749
3	Rio Doce após confluência com Rio Matipó	15.389	Exponencial	1053	1555	1934	2436	2816	3195
4	Rio Doce após confluência com Ribeirões Monbança, Cachoeira dos Óculos e Turvo	17.934	Exponencial	1195	1765	2196	2766	3197	3628
5	Rio Doce após confluência com Rio Piracicaba	23.398	Exponencial	1492	2203	2741	3452	3990	4528
6	Rio Doce após confluência com Ribeirões Água Limpa, Lagoa Nova, Taquaruçu	24.401	Exponencial	1545	2281	2839	3575	4132	4689
7	Rio Doce após confluência com Rio Santo Antônio	34.827	Gumbel	2239	3170	3787	4565	5143	5716
8	Rio Doce após confluência com Rio Corrente	38.312	Gumbel	2426	3434	4102	4945	5571	6192
9	Rio Doce logo a jusante da UHE Baguari após confluência com Rio Suaçuí Pequeno	40.913	Gumbel	2563	3628	4334	5225	5886	6543

Ponto	Descrição	Área de Contribuição (km ²)	Quantis para Cálculo das Vazões	Q _{MÁXIMA} (m ³ /s)					
				TR 2 anos	TR 5 anos	TR 10 anos	TR 25 anos	TR 50 anos	TR 100 anos
10	Rio Doce após confluência com Rio Suaçuí Grande	53.340	Gumbel	3202	4534	5415	6529	7355	8175
11	Rio Doce após confluência com Rio Batata, Rib. São Paulo, Rib. Traíra	56.277	Gumbel	3350	4743	5665	6830	7694	8552
12	Rio Doce após confluência com Rio Caratinga	59.511	Gumbel	3511	4971	5938	7159	8065	8964
13	Rio Doce área de contribuição UHE Aimorés	62.451	Gumbel	3657	5177	6184	7456	8399	9336
14	Bacia Hidrográfica Rio Manhuaçu	71.304	Gumbel	4089	5789	6915	8337	9392	10439
15	Rio Doce área de contribuição UHE Mascarenhas	73.797	Gumbel	4209	5959	7118	8582	9668	10746
16	Rio Doce a montante da sede de Colatina	75.573	Gumbel	4295	6080	7262	8756	9864	10963
17	Rio Doce após confluência com Rio Santa Maria e Rio Pancas	77.742	Gumbel	4398	6227	7437	8967	10102	11228
18	Rio Doce após confluência com Rio Bananal	79.799	Gumbel	4496	6366	7603	9167	10327	11478
19	Rio Doce após confluência com Lagoa Juparanã	82.432	Gumbel	4621	6542	7814	9421	10614	11797

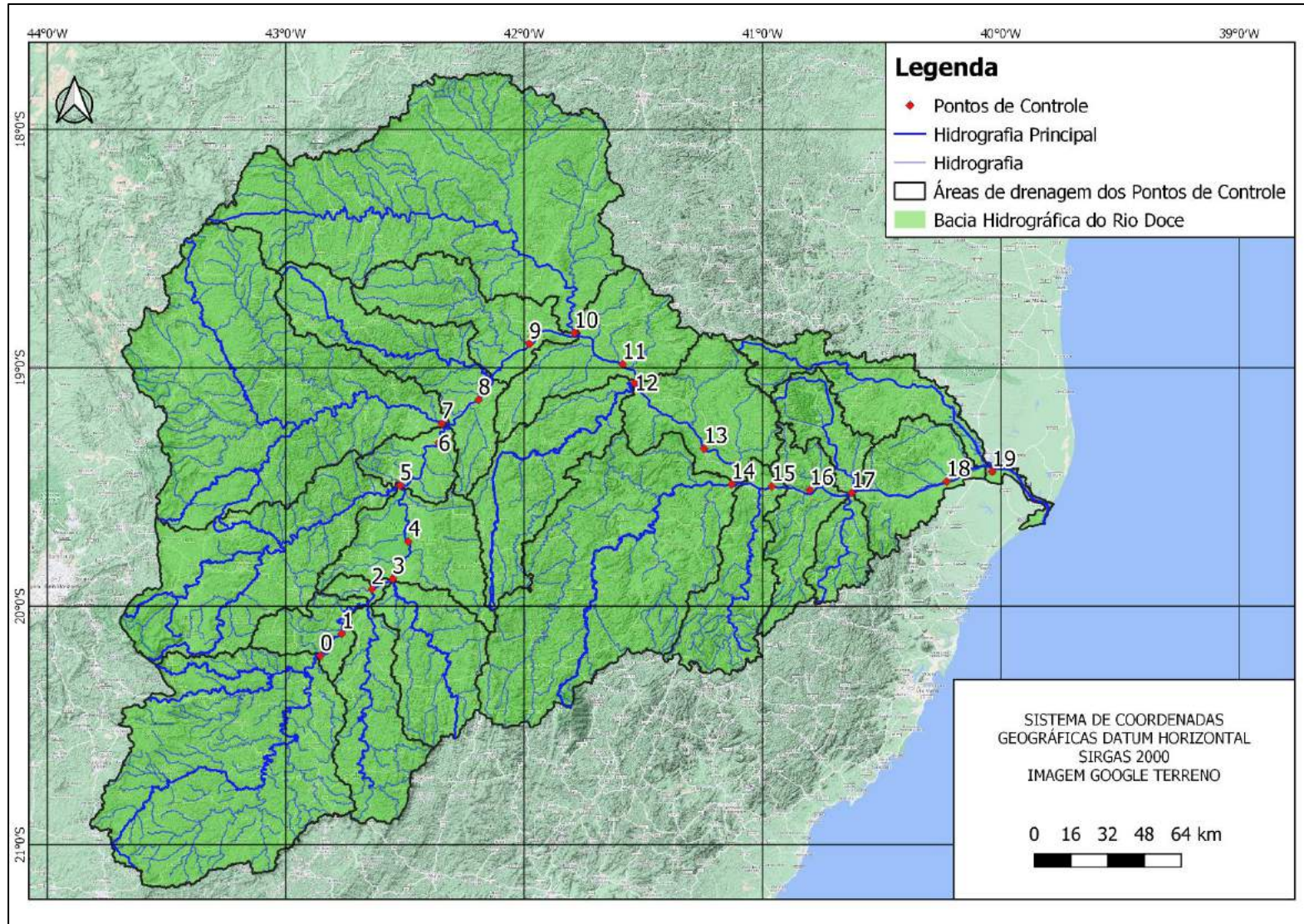


Figura 7-26 – Localização dos Pontos de Controle e Áreas de Drenagem.

7.2.2 Cálculo das Vazões das Cheias de Jan/2016 e Jan/2020

Segundo os dados diários de vazões das estações fluviométricas selecionadas para este estudo, as cheias dos anos hidrológicos de 2015/2016 e 2019/2020 ocorreram entre os dias 18 e 22 de janeiro de 2016 e entre os dias 26 e 28 de janeiro de 2020, conforme apresentado das **Figura 7-27** a **Figura 7-38**. Assim como já mencionado, a estação Resplendor possui dados até 2004, dessa forma a mesma foi desconsiderada para essa análise.

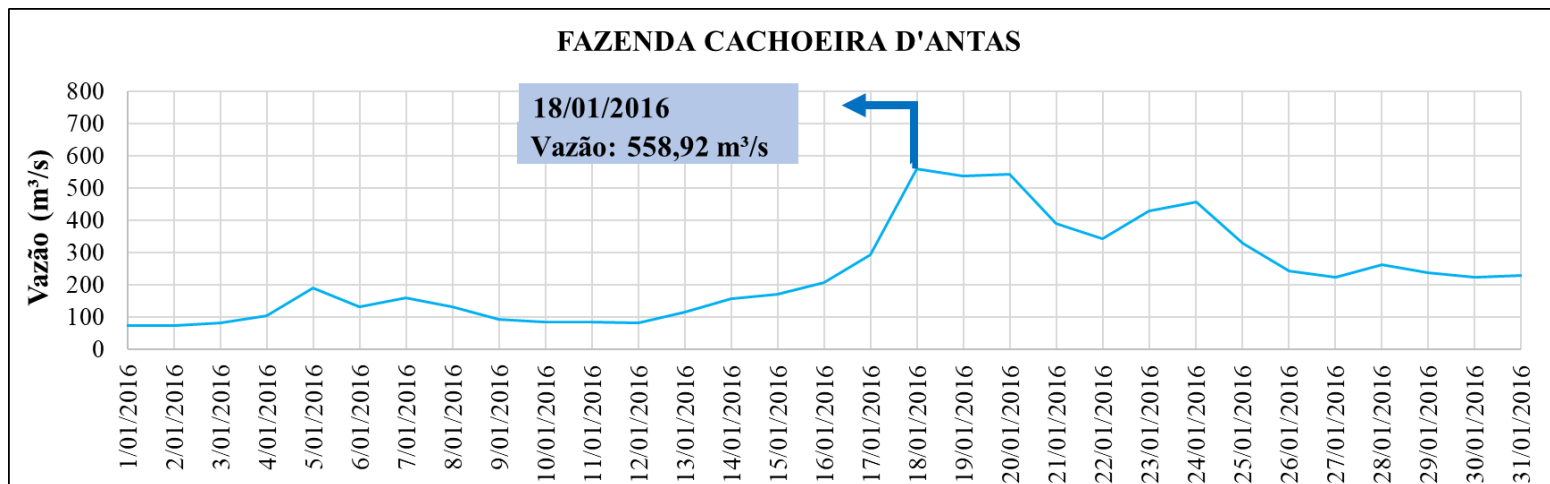


Figura 7-27 – Fluviograma janeiro de 2016 Estação Fazenda Cachoeira D’Antas.

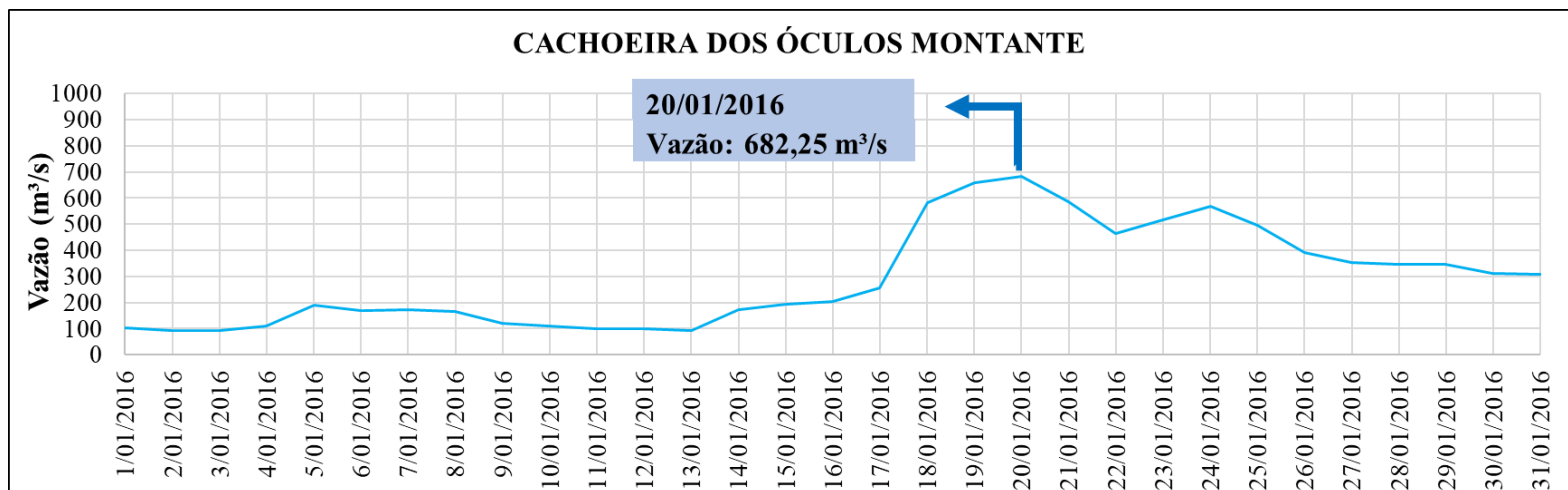


Figura 7-28 - Fluviograma janeiro de 2016 Estação Cachoeira dos Óculos Montante.

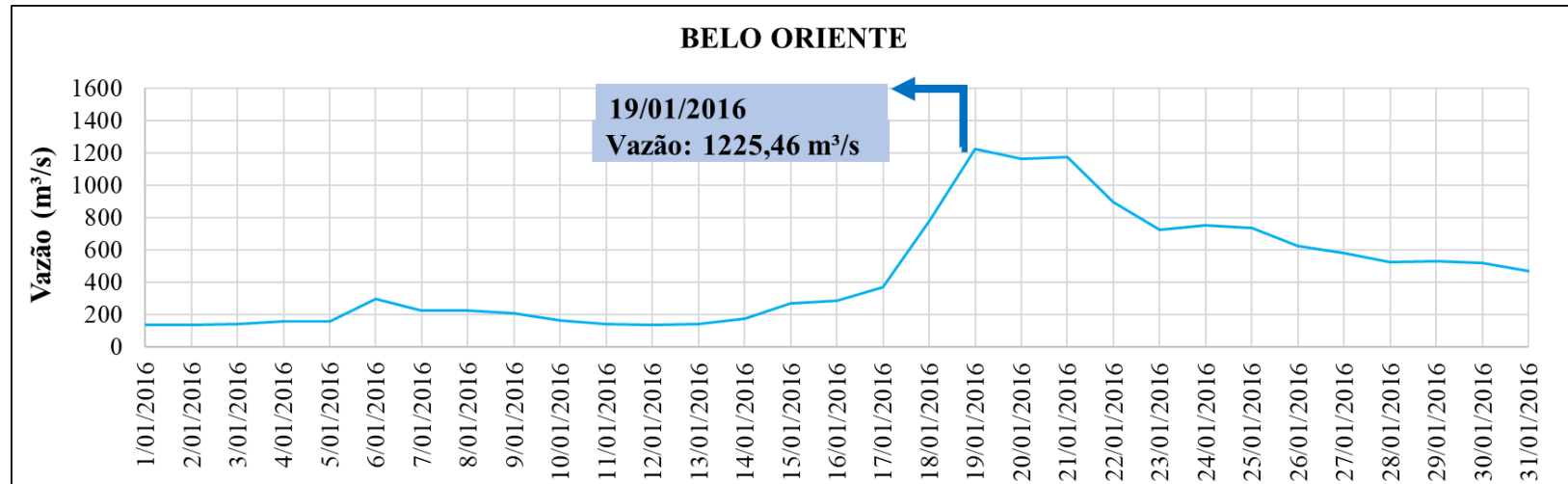


Figura 7-29 - Fluviograma janeiro de 2016 Estação Belo Oriente.

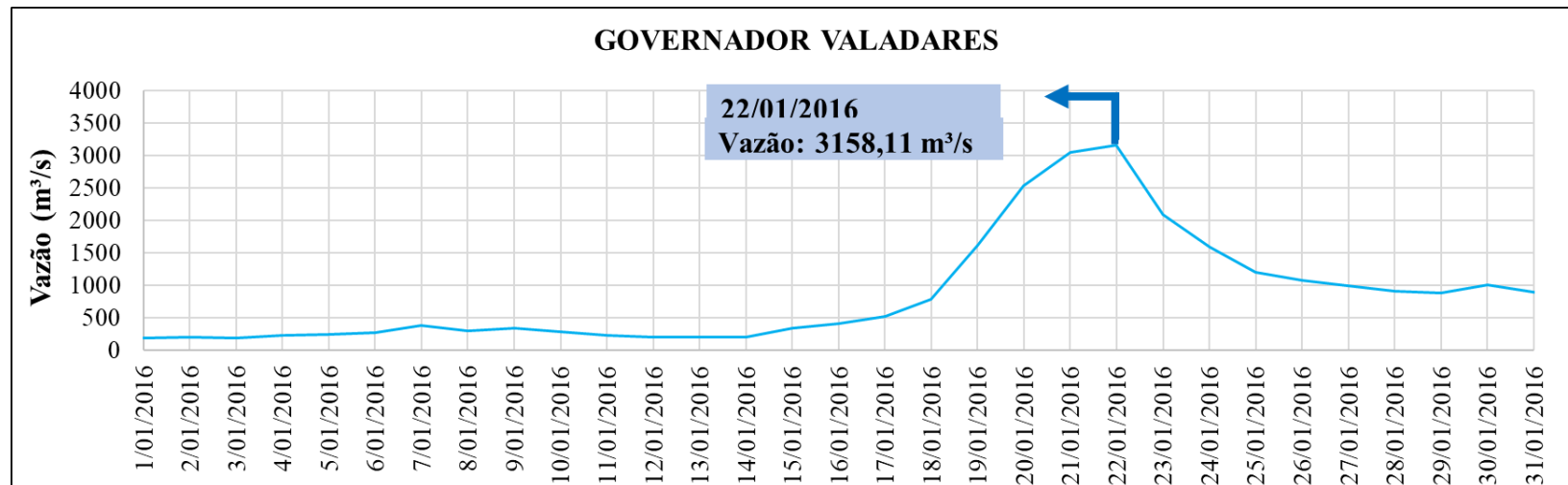


Figura 7-30 - Fluviograma janeiro de 2016 Estação Governador Valadares.

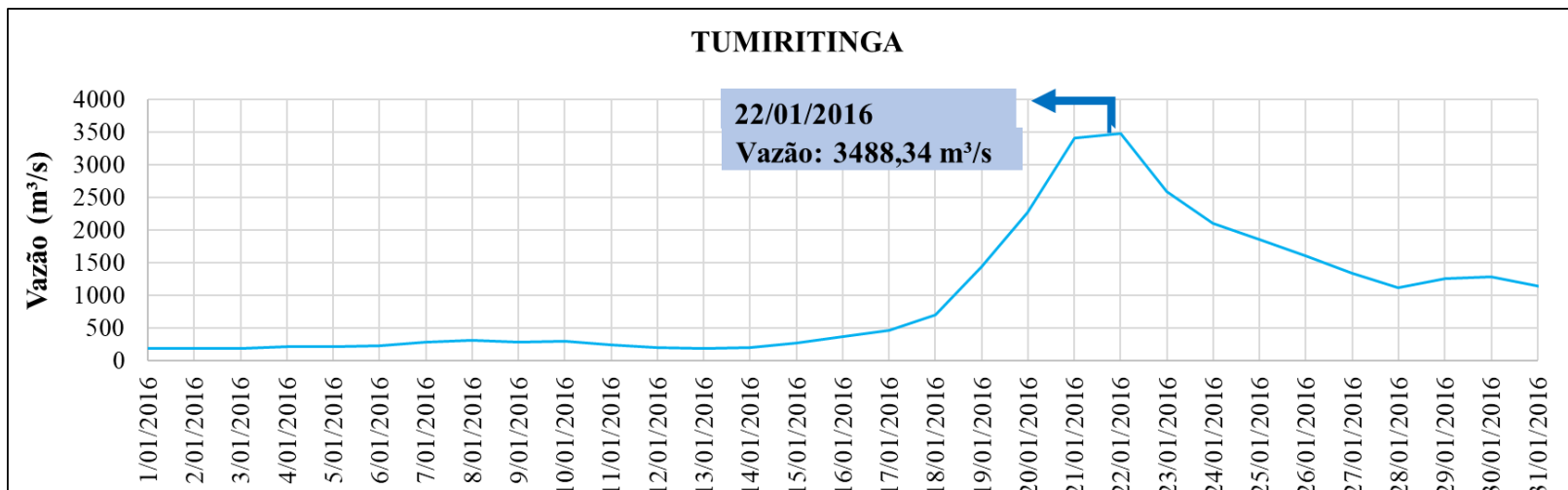


Figura 7-31 - Fluviograma janeiro de 2016 Estação Tumiritinga.

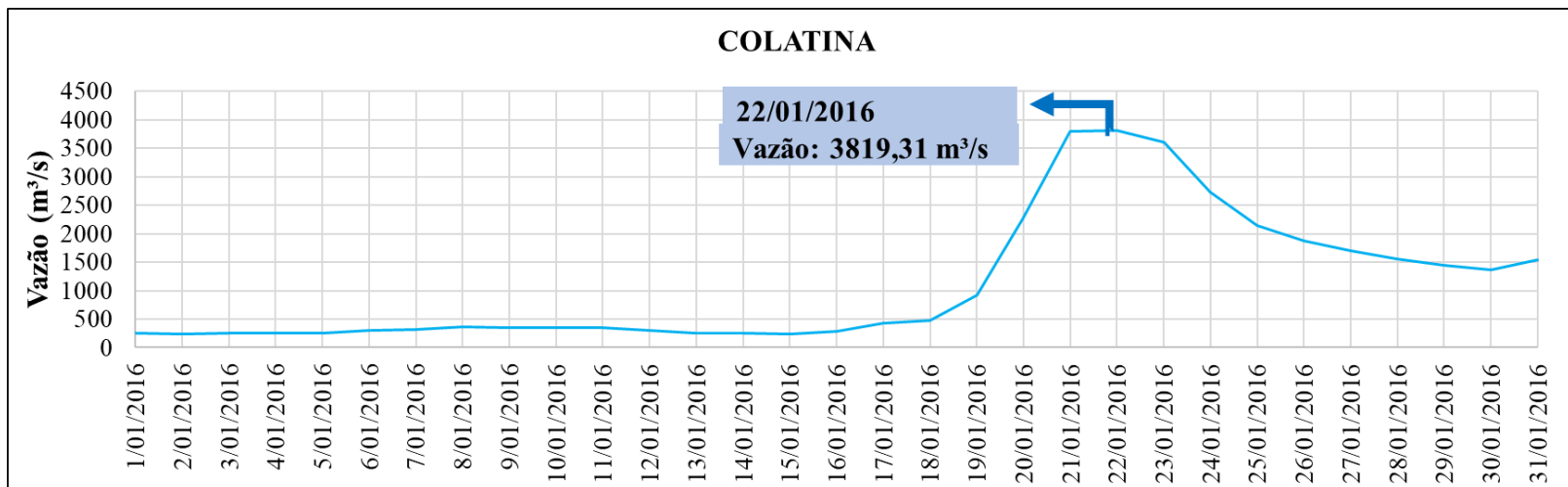


Figura 7-32 - Fluviograma janeiro de 2016 Estação Colatina.

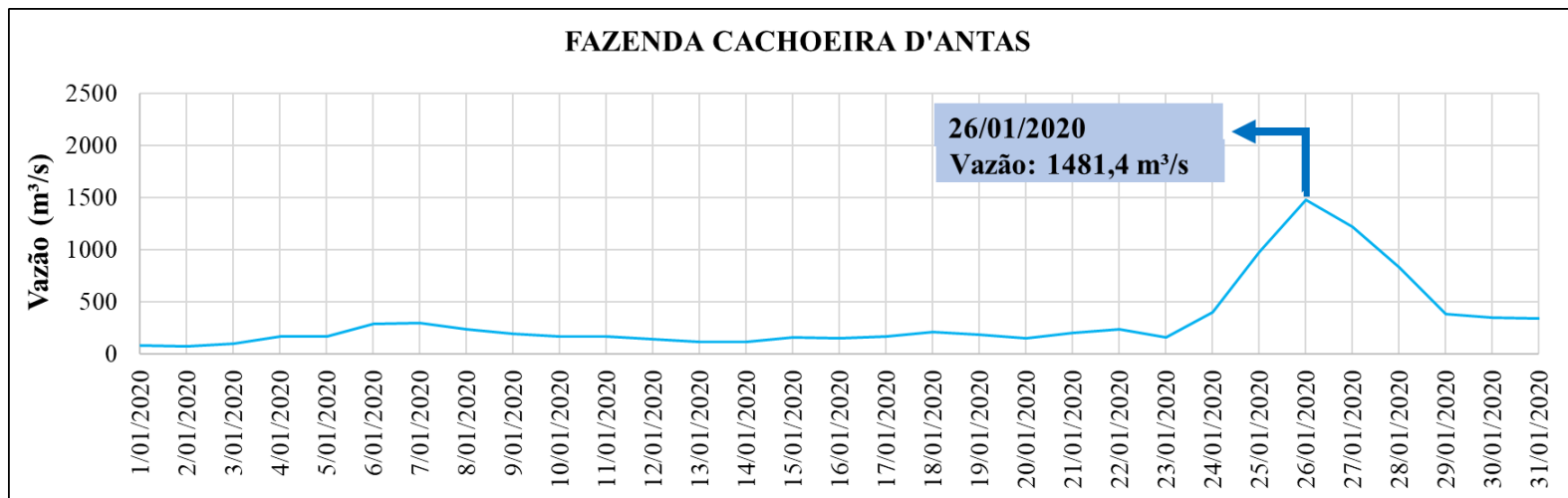


Figura 7-33 - Fluviograma janeiro de 2020 Estação Fazenda Cachoeira D'Antas.

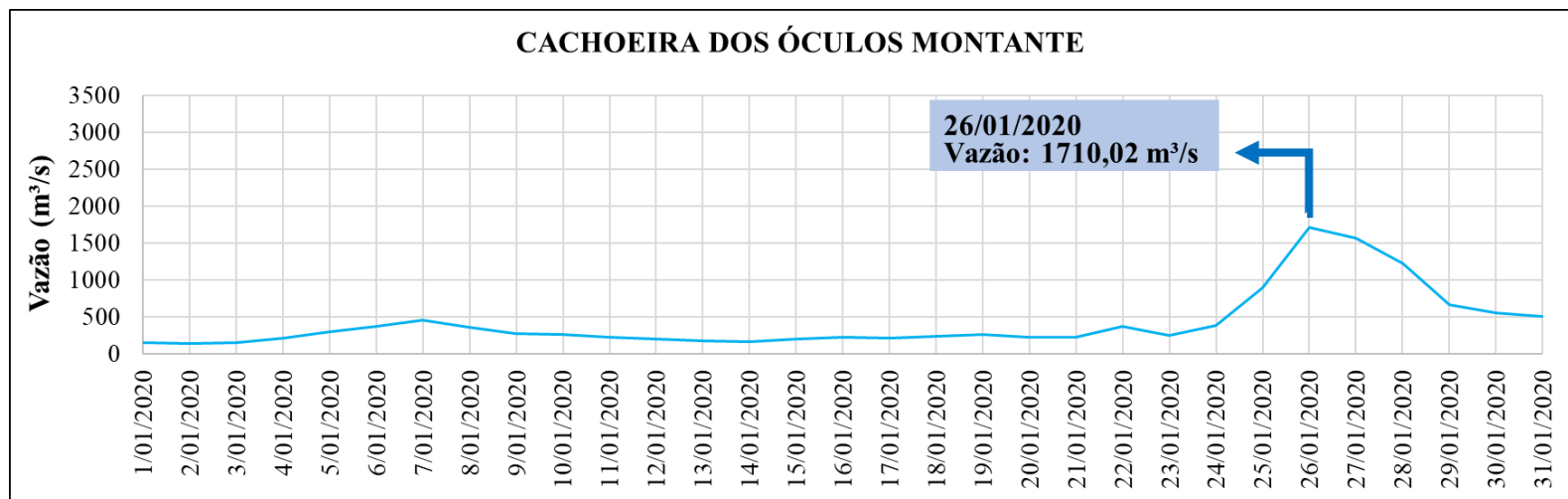


Figura 7-34 - Fluviograma janeiro de 2020 Estação Cachoeira dos Óculos Montante.

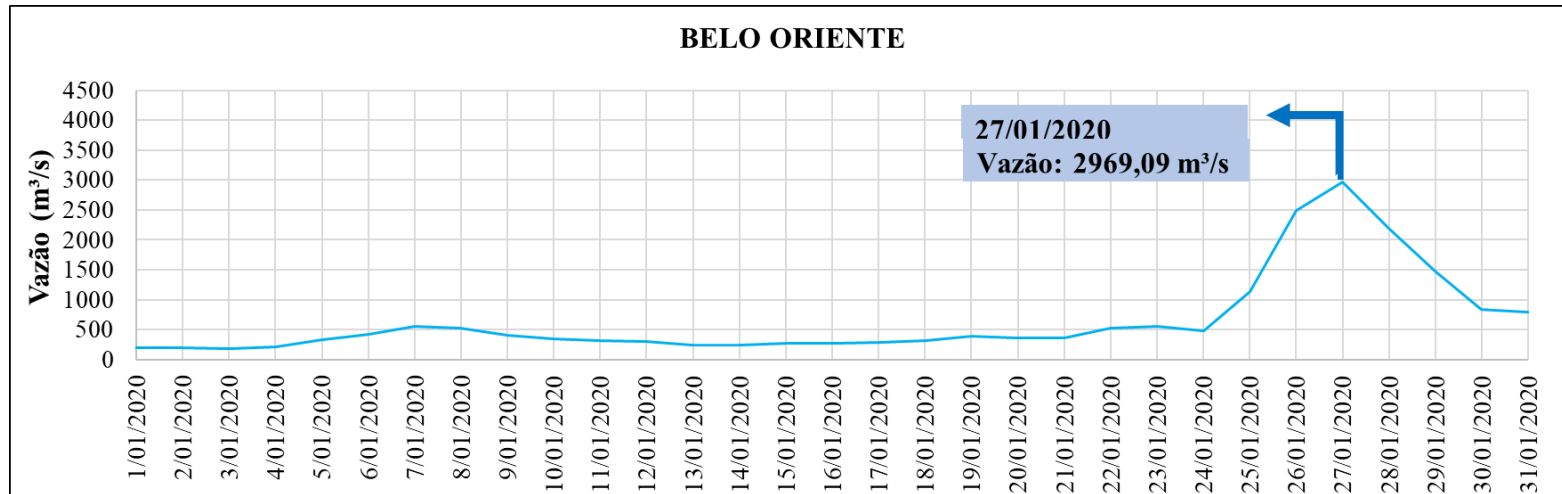


Figura 7-35 - Fluviograma janeiro de 2020 Estação Belo Oriente.

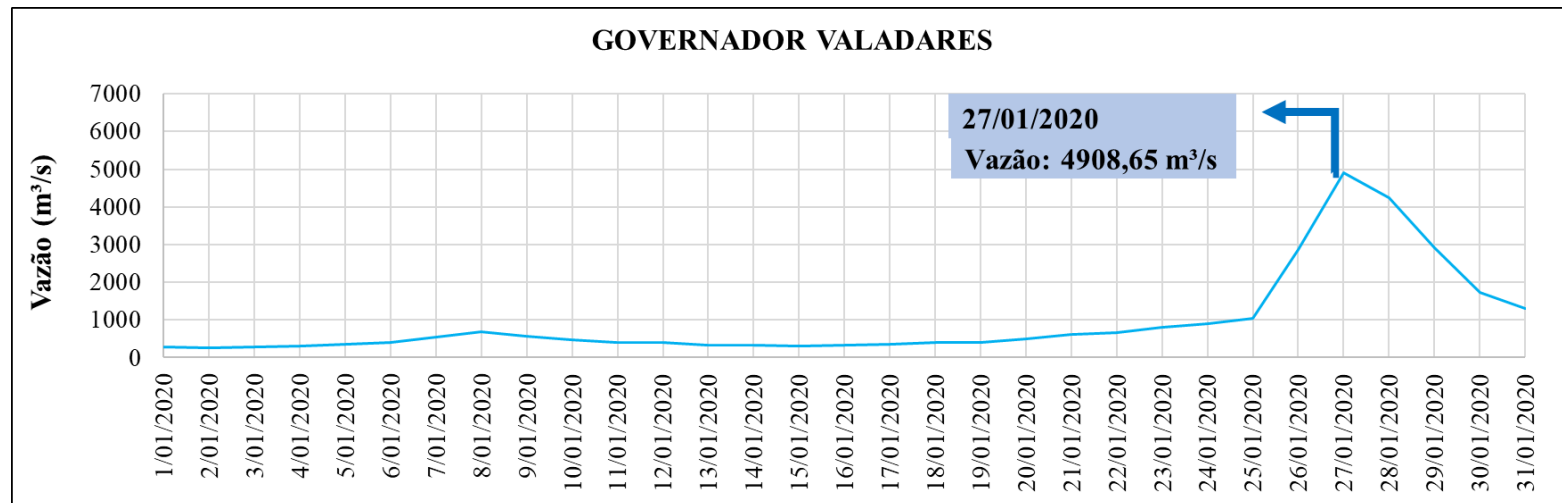


Figura 7-36 - Fluviograma janeiro de 2020 Estação Governador Valadares.

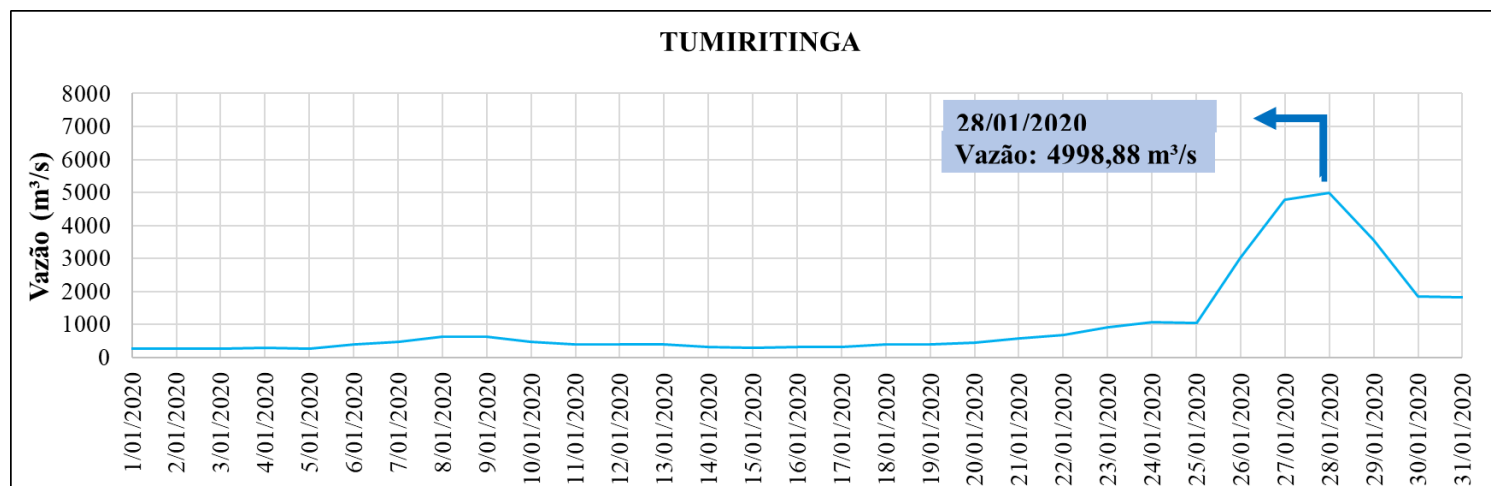


Figura 7-37 - Fluviograma janeiro de 2020 Estação Tumiritinga.

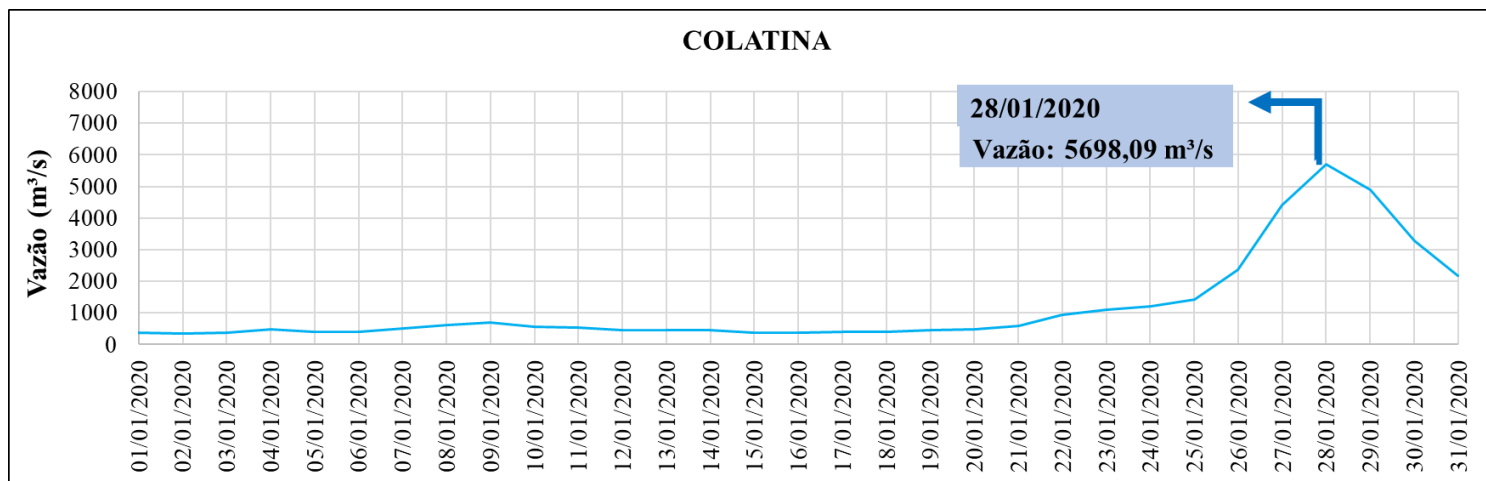


Figura 7-38 - Fluviograma janeiro de 2020 Estação Colatina.

As vazões máximas para cada estação e respectivos tempos de retorno associados são apresentados na **Tabela 7-16**. Observa-se que para o ano de 2016 as vazões de pico estão associadas à tempo de retorno que variam entre 1,22 e 4,44 anos enquanto para o ano de 2020 as vazões de pico estão associadas à tempos de retorno que variam entre 4,58 e 35,85 anos. Além disso, nota-se uma redução expressiva do TR associado para a estação Colatina, o que pode indicar uma heterogeneidade da precipitação na região ou mesmo o amortecimento das vazões provocada pelo reservatório da UHE Aimorés, sendo esse, provavelmente, o principal fator.

Tabela 7-16 –Vazões máximas anos hidrológicos de 2015-2016 e 2019-2020 e TR associados.

	Estação	Distribuição Teórica	Q_{médmax} 2016	TR (anos)	Q_{médmax} 2020	TR (anos)
56425000	Fazenda Cachoeira D'Antas	Exponencial	558,92	1,42	1481,40	16,76
56539000	Cachoeira dos Óculos Montante	Exponencial	682,25	1,22	1710,02	12,60
56719998	Belo Oriente	Exponencial	1225,46	1,61	2969,09	18,52
56850000	Governador Valadares	Gumbel	3158,11	4,44	4908,65	35,85
56920000	Tumiritinga	Gumbel	3488,34	3,28	4998,88	14,40
56994500	Colatina	Gumbel	3819,31	1,82	5501,96	4,58

Para o desenvolvimento dos cálculos das vazões nos pontos de controle, plotou-se as áreas de drenagem das estações *versus* suas respectivas vazões de pico de modo a se obter uma equação representativa para cada cheia. As curvas para a cheia de janeiro de 2016 são apresentadas na **Figura 7-39** e as curvas para a cheia de janeiro de 2020 são apresentadas na **Figura 7-40**.

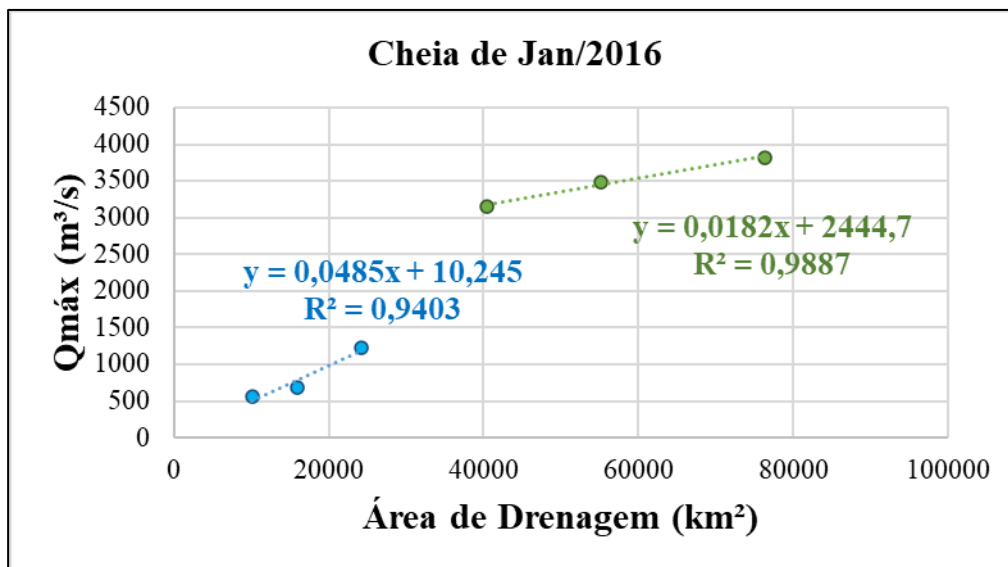


Figura 7-39 – Curvas representativas para a cheia de Jan/2016.

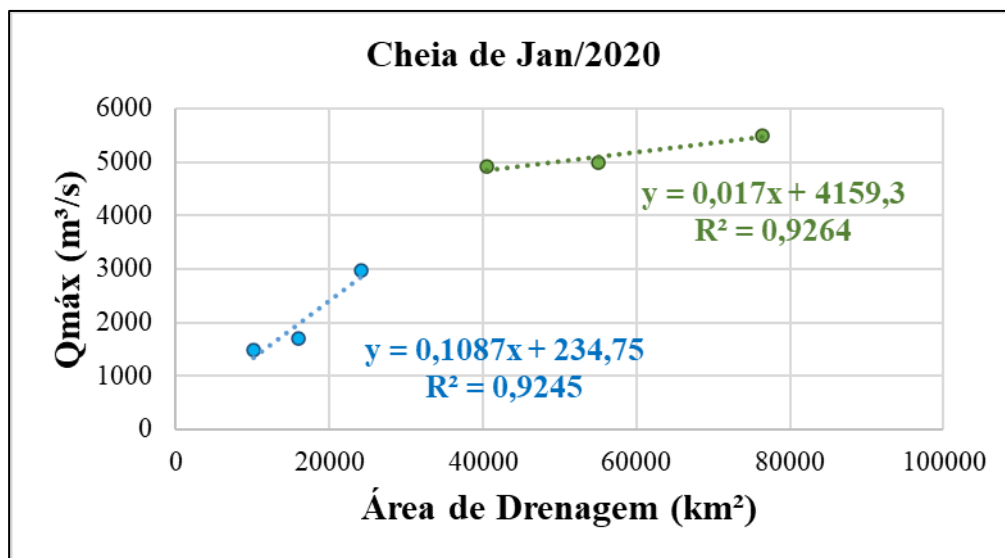


Figura 7-40 – Curvas representativas para a cheia de Jan/2020.

Como pode ser visualizado nas **Figura 7-39** e **Figura 7-40**, os coeficientes de determinação obtidos foram sempre superiores a 0,92 apontando para um bom ajuste das curvas de regressão. Além disso, pode-se observar que o trecho em estudo possui duas tendências referentes ao comportamento da vazão máxima em relação ao aumento da área de contribuição. O trecho entre as estações Fazenda

Cachoeira D'Antas e Belo Oriente (curvas azuis) possui reta com inclinação superior à inclinação da reta para o trecho entre as estações Governador Valadares e Colatina (curvas verdes). Esta diferença de inclinação resulta em uma diminuição do acréscimo de vazão por aumento de área de contribuição para o trecho mais a jusante. Entre os dois trechos mencionados, encontra-se uma região de transição correspondente ao trecho entre as estações Belo Oriente e Governador Valadares.

A partir das equações advindas das regressões lineares apresentadas nas **Figura 7-39 e Figura 7-40**, utilizou-se a área de drenagem de cada ponto de controle para calcular a vazão para os anos de cheias, 2016 e 2020. Para os pontos situados na região de transição, utilizou-se a equação da tendência mais próxima em distância. Além disso, foi utilizada a metodologia de Fuller (1914), para transformação das vazões médias máximas em máximas instantâneas para o cálculo da vazão dos pontos de controle que representarão as entradas de vazão na modelagem. Os resultados são apresentados na **Tabela 7-17**.

Tabela 7-17 – Vazões das cheias de Jan/2016 e Jan/2020 para os pontos de controle.

Ponto	Descrição	Área de Contribuição (km ²)	Q MÁXIMA(m ³ /s)	
			Jan/2016	Jan/2020
0	Área de Contribuição da UHE Risoleta Neves	8.999	524	1423
1	Rio Doce logo a jusante da UHE Risoleta Neves	10.080	583	1553
2	Rio Doce após confluência com Rio Casca	12.835	731	1884
3	Rio Doce após confluência com Rio Matipó	15.389	868	2189
4	Rio Doce após confluência com Ribeirões Monbança, Cachoeira dos Óculos e Turvo	17.934	1004	2492
5	Rio Doce após confluência com Rio Piracicaba	23.398	1294	3139
6	Rio Doce após confluência com Ribeirões Água Limpa, Lagoa Nova, Taquaruçu	24.401	1347	3258
7	Rio Doce após confluência com Rio Santo Antônio	34.827	3434	5300
8	Rio Doce após confluência com Rio Corrente	38.312	3494	5350

Ponto	Descrição	Área de Contribuição (km ²)	Q MÁXIMA (m ³ /s)	
			Jan/2016	Jan/2020
9	Rio Doce logo a jusante da UHE Baguari após confluência com Rio Suaçuí Pequeno	40.913	3540	5389
10	Rio Doce após confluência com Rio Suaçuí Grande	53.340	3762	5581
11	Rio Doce após confluência com Rio Batata, Rib. São Paulo, Rib. Traíra	56.277	3816	5627
12	Rio Doce após confluência com Rio Caratinga	59.511	3875	5679
13	Rio Doce área de contribuição UHE Aimorés	62.451	3928	5727
14	Bacia Hidrográfica Rio Manhuaçu	71.304	4091	5872
15	Rio Doce área de contribuição UHE Mascarenhas	73.797	4137	5913
16	Rio Doce a montante da sede de Colatina	75.573	4170	5942
17	Rio Doce após confluência com Rio Santa Maria e Rio Pancas	77.742	4210	5978
18	Rio Doce após confluência com Rio Bananal	79.799	4248	6012
19	Rio Doce após confluência com Lagoa Juparanã	82.432	4297	6056

7.3 Análise de Vazões de Pico Instantâneas

De forma a melhor avaliar a capacidade dos dados fluviométricos utilizados em representar as vazões máximas instantâneas, realizou-se uma análise comparativa entre dados fluviométricos de estações convencionais, com discretização temporal diária, e dados fluviométricos de estações telemétricas, com discretização temporal de 15 minutos, que melhor representam os picos dos hidrogramas de cheia. A **Tabela 7-18** apresenta as estações telemétricas utilizadas nessa análise bem como os respectivos períodos de início de monitoramento.

Tabela 7-18 – Estações Telemétricas e início de monitoramento.

Estação	Código	Início de Monitoramento Telemétrico
Fazenda Cachoeira D'Antas	56425000	junho-17
Cachoeira dos Óculos Montante	56539000	janeiro-16
Belo Oriente	56719998	agosto-16
Governador Valadares	56850000	janeiro-16
Colatina	56994510	setembro-17

A estação convencional Resplendor – Jusante (56948005) não possui monitoramento telemétrico, e por isso não foi contemplada nessa análise. A estação Tumiritinga (56920000) possui dados telemétricos apenas para o período de novembro de 2015 a janeiro de 2016.

Inicialmente, os dados disponíveis nas estações telemétricas a cada 15 minutos foram manipulados de forma a calcular os valores máximos diários. A partir disso, pode-se comparar as vazões máximas das estações telemétricas com as vazões máximas das estações convencionais. Espera-se que as vazões monitoradas nas estações convencionais sejam inferiores em comparação as vazões de estações telemétricas tendo em vista que, em geral, os dados são medidos apenas pela manhã (7:00) e pela tarde (17:00) nas estações convencionais e tendem a subestimar as vazões instantâneas de pico. Dessa forma, aplica-se o método de Fuller (1914) nas vazões calculadas para corrigir essa limitação.

Com o intuito de avaliar especificamente as vazões utilizadas na modelagem hidrodinâmica para os cenários das cheias de Jan/2016 e Jan/2020, foram comparadas as vazões simuladas calculadas pelas equações lineares (item 7.2.2) com os valores corrigidos pelo método de Fuller (1914) nas respectivas áreas de drenagem das estações fluviométricas utilizadas no estudo, com as vazões medidas nas estações convencionais e com as vazões instantâneas de pico obtidas pelas estações telemétricas, como mostra a **Tabela 7-19**.

Tabela 7-19 – Comparação entre as vazões simuladas, vazões medidas nas estações telemétricas e convencionais

2016					
Estação	Ad (km ²)	QSimulada (m ³ /s)	QConvencional (m ³ /s)	QTelemétrica (m ³ /s)	Diferença entre QSimulada e QTelemétrica (%)
Fazenda Cachoeira D'Antas	10.100	584	559	-	-
Cachoeira dos Óculos Montante	15.900	896	682	687	30%
Belo Oriente	24.200	1336	1225	1294	3,3%
Governador Valadares	40.500	3533	3158	3698	-4,5%
Tumiritinga	55.100	3794	3488	3746	1,3%
Colatina	76.400	4185	3819	-	-
2020					
Estação	Ad (km ²)	QSimulada (m ³ /s)	Convencional (m ³ /s)	QTelemétrica (m ³ /s)	Diferença entre QSimulada e QTelemétrica (%)
Fazenda Cachoeira D'Antas	10.100	1555	1481	1502	3,5%
Cachoeira dos Óculos Montante	15.900	2249	1710	1389	62%
Belo Oriente	24.200	3234	2969	3004	7,7%
Governador Valadares	40.500	5383	4909	4924	9,3%
Tumiritinga	55.100	5609	4999	-	-
Colatina	76.400	5956	5502	5514	8,0%

Como pode ser identificado na **Tabela 7-19**, as vazões calculadas pelas equações lineares (item 7.2.2) com os valores corrigidos pelo método de Fuller (1914) para os cenários de 2016 e 2020 foram superiores as vazões instantâneas de pico obtidas das estações telemétricas para todas as estações fluviométricas analisadas, conforme ilustra as **Figura 7-42** e **Figura 7-43**, com exceção apenas da estação Governador Valadares em 2016, que a vazão medida na estação telemétrica foi 4,5% superior a simulada nesse ponto. A estação Cachoeira dos Óculos Montante apresentou elevada diferença percentual entre a vazão simulada e a medida na estação telemétrica tanto em 2016, quanto em 2020, tornando a simulação conservadora. Esse fato pode ser explicado pelas equações lineares apresentadas

pela **Figura 7-39** e pela **Figura 7-40**, uma vez que em ambas o valor apresentado pela medição na estação fluviométrica convencional é inferior a curva da equação, causando essa diferença maior em relação as demais estações. Para 2020 essa diferença é amplificada, pois no pico do maior evento de cheia do período, a estação telemétrica apresentou falhas de medição, como pode ser visualizado na **Figura 7-41**. Dessa forma, o máximo valor registrado pela estação telemétrica nesse ano hidrológico foi referente ao segundo maior evento de cheia ocorrido.

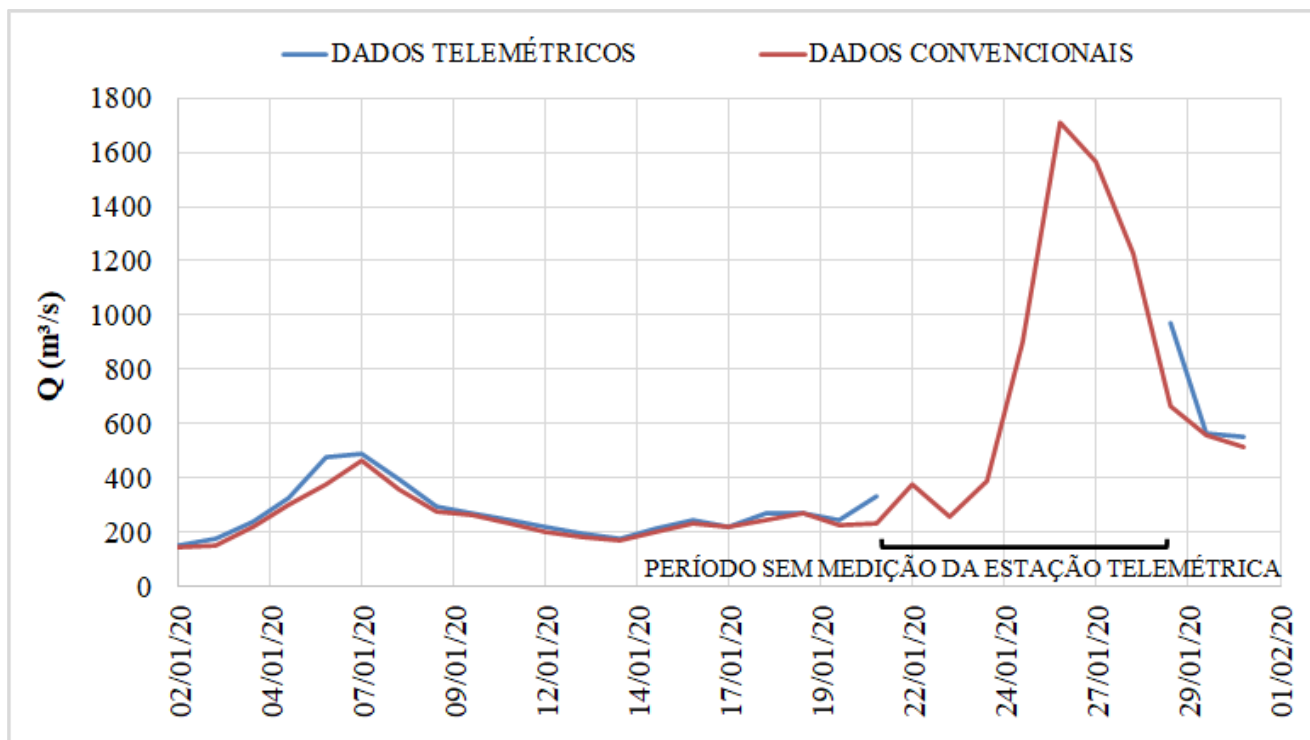


Figura 7-41 – Falha de medição do evento de jan/2020 na estação Cachoeira dos Óculos Montante.

Tendo em vista que as vazões simuladas foram superiores as vazões observadas nas estações telemétricas, identifica-se que a utilização do método de Fuller (1914) para esses cenários se mostrou uma abordagem conservadora, agindo a favor da segurança no estudo realizado.

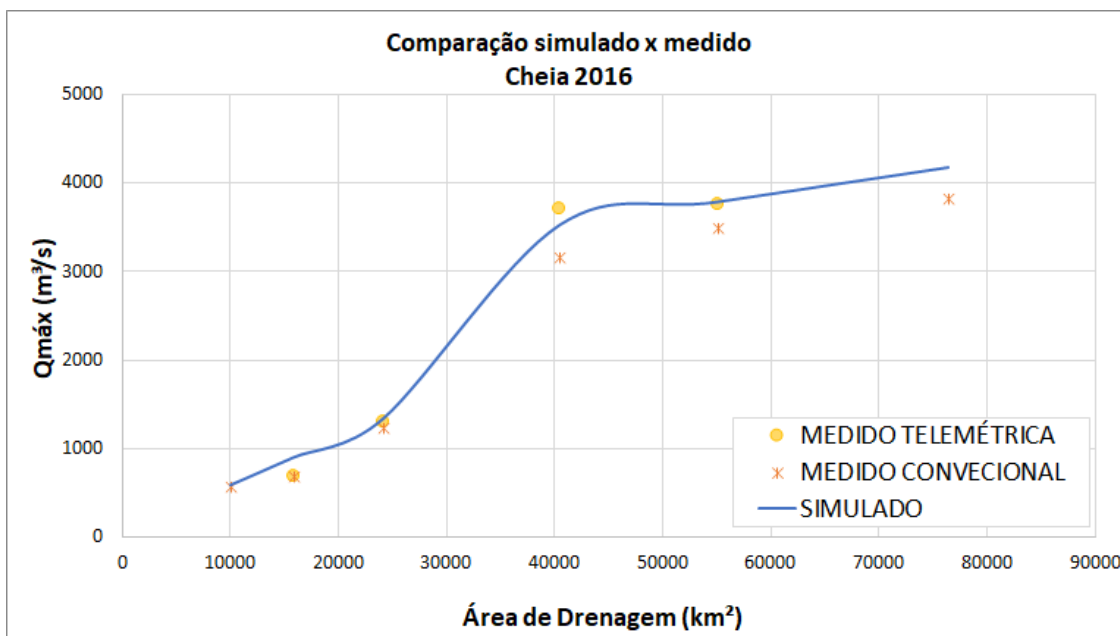


Figura 7-42 - Comparação entre vazões simuladas e medidas para cheia de Jan/2016.

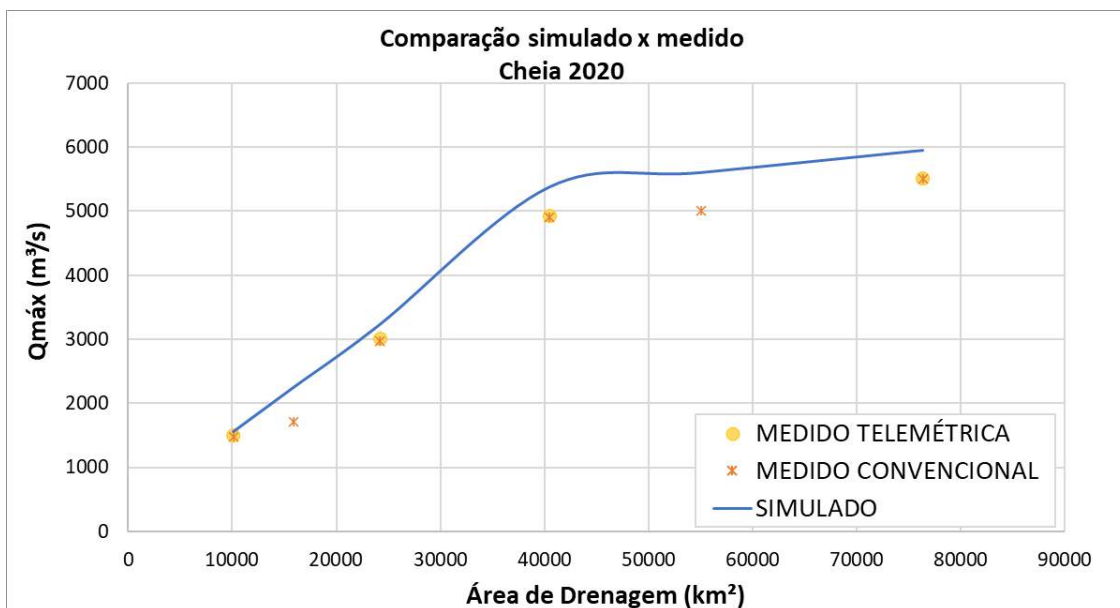


Figura 7-43 – Comparação entre vazões simuladas e medidas para cheia de Jan/2020.

8 MODELAGEM HIDRODINÂMICA

De modo a definir a planície de inundação do rio Doce para diferentes tempos de retorno e representar os eventos de cheia ocorridos em Jan/2016 e Jan/2020, foram realizadas simulações hidráulicas no trecho entre a UHE Risoleta Neves e a foz com a utilização do software HEC-RAS v. 5.0.7. As simulações realizadas, conforme Ofícios FEAM/CT - GRSA nº. 62/2020 e nº 10/2021, Nota Técnica nº 07/2021 e Deliberação nº 497/2021, incluem:

- Simulação de fluxo unidimensional abrangendo todo o Trecho T13 a T16;
- Simulação de fluxo bidimensional abrangendo a planície fluvial do rio Doce em Ipatinga;
- Simulação de fluxo bidimensional abrangendo a planície fluvial do rio Doce em Governador Valadares;
- Simulação de fluxo bidimensional abrangendo a planície fluvial do rio Doce em Aimorés e Baixo Guandu;
- Simulação de fluxo bidimensional abrangendo a planície fluvial do rio Doce no distrito de Itapina em Colatina;
- Simulação de fluxo bidimensional abrangendo a planície fluvial do rio Doce em Colatina;
- Simulação de fluxo bidimensional abrangendo a planície fluvial do rio Doce em Linhares e foz (trecho T16).

Nos itens a seguir são apresentados os dados utilizados nas simulações, os métodos e critérios considerados, o processo de calibração do modelo e discussão dos resultados das modelagens hidrodinâmicas.

8.1 Dados Utilizados

8.1.1 Modelo Digital de Terreno e Seções Topobatimétricas

O Modelo Digital de Terreno utilizado para a modelagem hidrodinâmica é descrito no item 6 e contempla a topografia levantada pelo método LiDAR, além de 188 seções topobatimétricas sendo:

- 109 seções topobatimétricas levantadas no rio Doce (DC-003 a DC0111) pela empresa Consominas Engenharia LTDA, disponibilizadas pela ANA;
- 8 seções topobatimétricas levantadas nos rios Matipó (MT-0002), Piracicaba (PC-0066), Manhuaçu (MN-0002), Caratinga (CT-0070 a CT-0073) e Santo Antônio (ST-0006) pela empresa Consominas Engenharia LTDA, disponibilizadas pela ANA;
- 25 seções topobatimétricas provenientes dos estudos de Definição da Planície de Inundação de Governador Valadares (CPRM, 2004) e Colatina-ES (CPRM, 2016), sendo 11 seções localizadas em Governador Valadares e 14 seções localizadas em Colatina;
- 6 perfis transversais de medição recente (2019) de estações fluviométricas cujos dados constam no Portal HIDROWEB, disponibilizado pela ANA: Estação Fazenda Cachoeira D'Antas (56420000), Cachoeira dos óculos Montante (56539000), Belo Oriente (56719998), Governador Valadares (56850000), Tumiritinga (56920000) e Colatina (56994500);
- 40 seções topobatimétricas complementares (SC-1 a SC-40) levantadas pelas empresas HIDROGEST, HGT e TOPGEO.

O MDT gerado a partir da interpolação das curvas de nível foi utilizado para as simulações hidrodinâmicas do trecho T13 a T16 unidimensional e simulações bidimensionais dos municípios de: Ipatinga, Governador Valadares, Aimorés, Baixo Guandu e Colatina (sede e distrito de Itapina). Para a simulação bidimensional do trecho T16 situado entre a sede de Linhares e a foz do rio Doce, utilizou-se MDT gerado a partir da nuvem de pontos, que possui acurácia vertical superior ao MDT de interpolação das curvas de nível, ambos possuem a mesma origem, o levantamento topográfico pelo método LiDAR.

8.1.2 Perfis de Linha de água - Calibração

Para realização do processo de calibração foram utilizados dados observados de vazões e níveis de água das estações fluviométricas presentes no trecho de estudo. Com relação à comparação da rugosidade do leito fluvial da época de seca e chuvosa, segundo Chow (1994), a tendência é que o valor da rugosidade diminua com o aumento da vazão e do nível de água. Esse fenômeno pode ser explicado da seguinte forma: a lâmina de água é baixa então a irregularidade do canal está exposta ao seu efeito, o que conseqüentemente aumenta o coeficiente de rugosidade. Portanto, com o intuito de caracterizar a rugosidade do leito do rio Doce em uma situação de cheia, buscaram-se dados mais recentes de vazões e níveis de água observados, que de acordo com as séries históricas das estações analisadas apresentaram tempos de retorno associados próximo a 2 anos ou superiores.

Entre a UHE Risoleta Neves e a foz do rio Doce existem estações de monitoramento operadas pela Fundação Renova e estações fluviométricas de responsabilidade da Agência Nacional das Águas-ANA operadas pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais- CPRM. No caso das estações de monitoramento da Fundação Renova, estas foram implantadas em agosto de 2017 e apresentam frequência de medições variadas com poucos dados de medição não apresentando dados de medições representativos para as situações de cheias se comparadas com as séries históricas de medições das estações fluviométricas da ANA. Portanto, estas estações não foram utilizadas para calibração do modelo hidrodinâmico. Com relação às estações fluviométricas da ANA, utilizaram-se os dados das estações: Fazenda Cachoeira D'Antas, Cachoeira dos Óculos Montante, Belo Oriente, Governador Valadares, Tumiritinga, Colatina e Linhares. A **Tabela 8-1** apresenta os dados considerados para cada estação.

Tabela 8-1 – Dados de Vazões e Níveis de água observados utilizados no processo de calibração.

Estação	Data	Vazão observada (m³/s)	Cota Observada (cm)	NA estimado (m)⁵	Origem do dado
Fazenda Cachoeira D'Antas	12/01/1983	442,00	318	252,42	Resumo de Descarga
	26/01/1985	666,00	482	253,25	Resumo de Descarga
	06/01/2012	1199,62	650	255,16	Medição diária
	31/01/2013	545,51	401	252,95	Medição diária
	04/12/2013	478,06	370	252,67	Medição diária
	30/11/2014	339,49	301	252,06	Medição diária
	18/01/2016	558,92	407	253,00	Medição diária
	16/12/2016	592,38	430	253,20	Medição diária
	05/12/2017	824,84	522	254,02	Medição diária
	01/01/2019	398,64	342	252,42	Medição diária
26/01/2020	1481,40	737	255,94	Medição diária	
Cachoeira dos Óculos Montante	05/01/2012	1952,85	900	243,44	Medição diária
	01/02/2013	643,77	468	239,21	Medição diária
	14/12/2013	608,57	453	239,06	Medição diária
	30/11/2014	516,29	412	238,66	Medição diária
	20/01/2016	682,25	500	239,52	Medição diária
	16/12/2016	855,09	566	240,17	Medição diária
	05/12/2017	1054,40	636	240,86	Medição diária
	02/1/2019	508,18	408	238,62	Medição diária
26/01/2020	1710,02	832	242,77	Medição diária	
Belo Oriente	06/01/2012	2982,50	702	204,48	Medição diária
	02/02/2013	966,64	331	201,55	Medição diária
	24/12/2013	1262,53	392	202,03	Medição diária
	01/12/2014	690,82	252	200,92	Medição diária
	19/01/2016	1225,46	487	202,78	Medição diária
	17/12/2016	1350,08	515	203,00	Medição diária

⁵ Para as medições diárias o NA foi calculado de acordo com a relação cota x profundidade do Resumo de Descarga. Para as medições do resumo de descarga o NA foi calculado somando-se a profundidade medida à cota de fundo ajustada.

Estação	Data	Vazão observada (m³/s)	Cota Observada (cm)	NA estimado (m) ⁵	Origem do dado
	06/12/2017	1291,46	503	202,90	Medição diária
	07/02/2018	1427,00	510	202,68	Resumo de Descarga
	01/01/2019	781,28	378	201,91	Medição diária
	27/01/2020	2969,00	808	205,31	Medição diária
	29/01/2020	1462,25	532	203,25	Resumo de Descarga
Governador Valadares	06/01/2012	4700,01	556	157,64	Medição diária
	02/02/2013	1408,54	303	155,11	Medição diária
	25/12/2013	3037,17	438	156,46	Medição diária
	01/12/2014	1063,25	269	154,77	Medição diária
	22/01/2016	3158,11	447	156,55	Medição diária
	17/12/2016	2169,27	366	155,74	Medição diária
	06/12/2017	1539,81	315	155,23	Medição diária
	08/02/2018	2640,50	406	156,14	Medição diária
	02/01/2019	1303,94	293	155,01	Medição diária
	27/01/2020	4908,65	569	157,77	Medição diária
Tumiritinga	18/01/1978	2303,00	409	132,07	Resumo de Descarga
	09/03/1978	2327,00	410	131,94	Resumo de Descarga
	16/01/1983	2196,00	387	131,84	Resumo de Descarga
	07/01/2012	5058,60	674	134,33	Medição diária
	01/02/2013	1671,77	251	130,23	Medição diária
	24/12/2013	4061,34	587	133,48	Medição diária
	17/12/2014	1171,39	337	131,06	Medição diária
	22/01/2016	3488,34	533	132,96	Medição diária
	17/12/2016	2243,02	401	131,68	Medição diária
	06/12/2017	1719,80	339	131,08	Medição diária
	08/02/2018	2985,37	483	132,47	Medição diária
	02/01/2019	1542,34	317	130,86	Medição diária
	28/01/2020	4998,88	669	134,28	Medição diária
Colatina	07/01/2012	8055,77	706	37,62	Medição diária
	02/02/2013	2557,42	339	33,95	Medição diária
	24/12/2013	11655,20	890	39,46	Medição diária

Estação	Data	Vazão observada (m ³ /s)	Cota Observada (cm)	NA estimado (m) ⁵	Origem do dado
	17/12/2014	870,93	155	32,11	Medição diária
	22/01/2016	3819,31	585	36,41	Medição diária
	18/12/2016	2691,83	463	35,18	Medição diária
	07/12/2017	2178,99	403	34,59	Medição diária
	08/02/2018	3677,14	569	36,25	Medição diária
	01/01/2019	2705,12	464	35,20	Medição diária
	28/01/2020	5501,96	750	38,06	Medição diária
Linhares	19/01/1983	2295,00	210	14,36	Resumo de Descarga
	14/01/1985	5481,00	357	16,61	Resumo de Descarga
	22/03/1985	3368,00	271	15,59	Resumo de Descarga
	13/01/1986	3739,00	310	15,40	Resumo de Descarga

É importante ressaltar que as cotas registradas em centímetros presentes nas séries históricas de medições diárias das estações possuem valor de medição associado à uma altitude conhecida como zero da régua. Logo, para se obter o valor do nível de água observado em relação ao nível do mar deve-se somar o valor de cota do registro diário à altitude do zero da régua. O valor do zero da régua não consta nas fichas descritivas de cinco das sete estações utilizadas.

No caso das estações Governador Valadares e Colatina, os valores das altitudes do zero da régua são equivalentes a 152,08 m e 30,56 m respectivamente e constam nos relatórios de Definição da Planície de Inundação de Governador Valadares (CPRM, 2004) e Colatina-ES (CPRM, 2016). Para estas estações, o nível de água observado apresentado na **Tabela 8-1** corresponde à cota observada somada à altitude do zero da régua.

Para as demais estações, buscou-se uma relação entre as cotas medidas em centímetros e as profundidades de escoamento constantes nos resumos de descarga, onde assumiu-se uma tendência de correlação linear e obteve-se para cada estação uma equação para o cálculo das profundidades de escoamento a partir da cota medida (**Figura 8-1** a **Figura 8-4**). Desta forma para as medições diárias, à cada profundidade calculada somou-se a cota de fundo ajustada para se obter uma estimativa do nível

de água observado, conforme exemplificado na **Figura 8-5**, tendo em vista que a cota medida diariamente está referenciada à uma altitude desconhecida. Para as medições do resumo de descarga, utilizou-se diretamente a profundidade medida somada à cota de fundo da estação como nível de água observado.

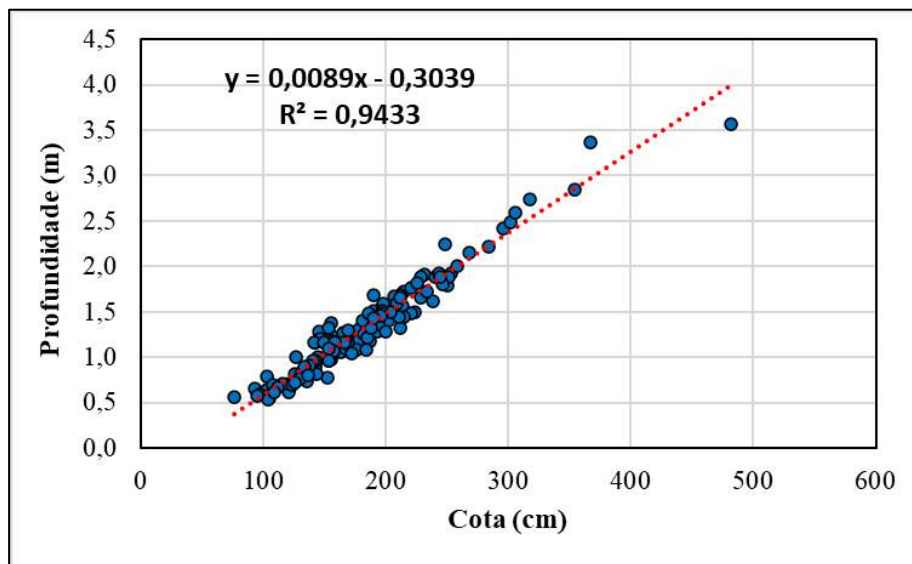


Figura 8-1 - Relação entre cota e profundidade resumo de descarga estação Fazenda Cachoeira D'Antas.

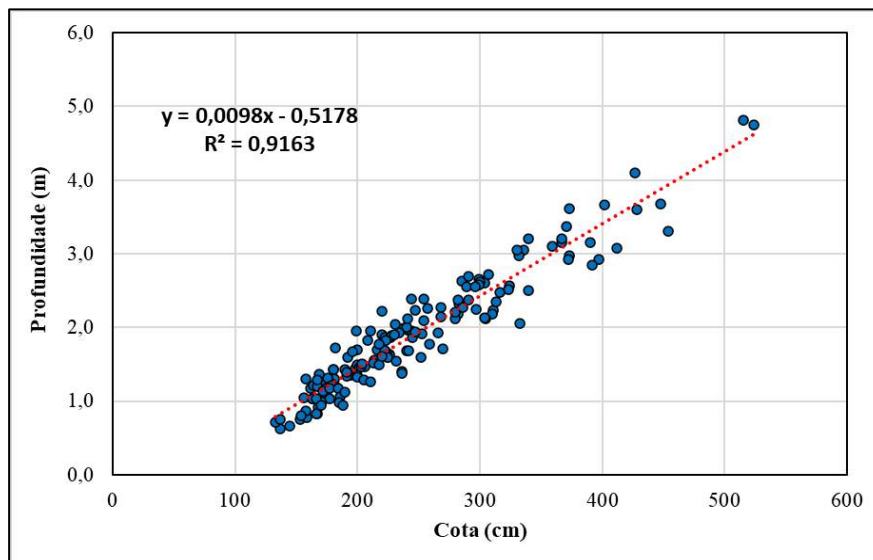


Figura 8-2 - Relação entre cota e profundidade resumo de descarga estação Cachoeira dos Óculos Montante.

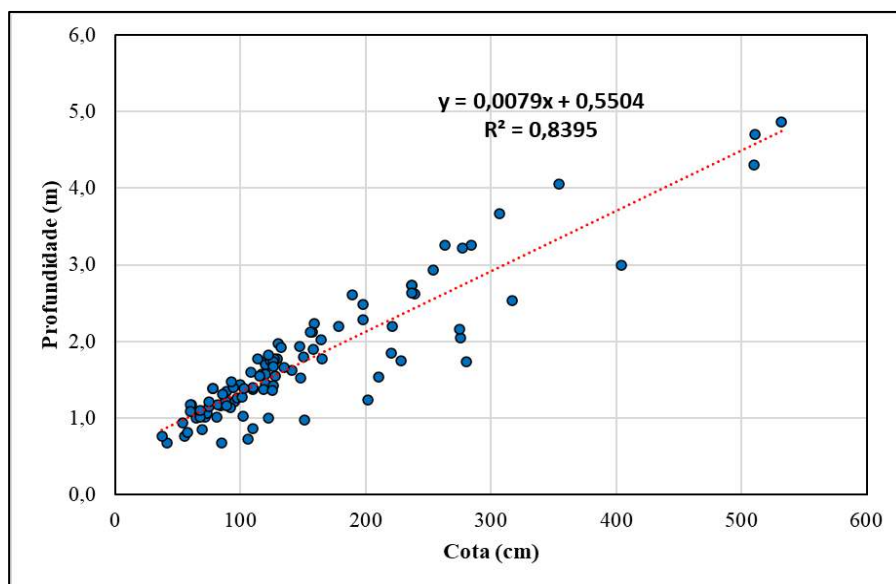


Figura 8-3 - Relação entre cota e profundidade resumo de descarga estação Belo Oriente.

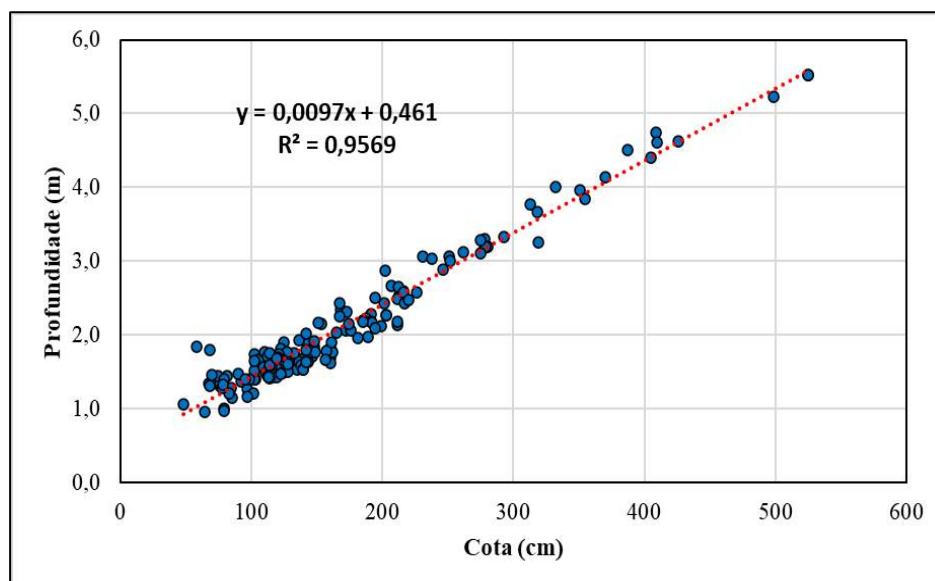


Figura 8-4 - Relação entre cota e profundidade resumo de descarga estação Tumiritinga.

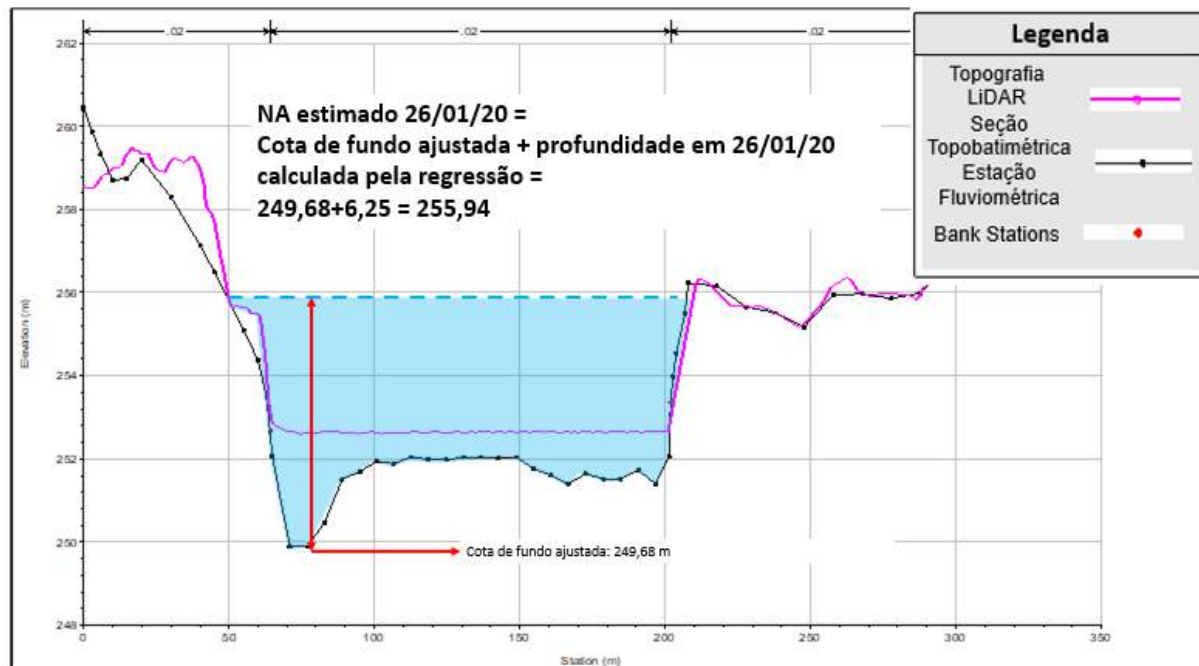


Figura 8-5 - Exemplo de estimativa de NA observado a partir da cota de fundo ajustada e profundidade de escoamento calculada.

8.1.3 Históricos e níveis de operações das Usinas Hidrelétricas Risoleta Neves, Baguari, Aimorés e Mascarenhas

As **Tabela 8-2** e **Tabela 8-3** apresentam os dados dos históricos de operação das Usinas Hidrelétricas Risoleta Neves, Baguari, Aimorés e Mascarenhas. Para as simulações bidimensionais dos cenários correspondentes às cheias ocorridas em janeiro de 2016 e janeiro de 2020, para os municípios de Aimorés e Baixo Guandu, foram utilizadas as informações das usinas de Aimorés e Mascarenhas.

Tabela 8-2 Dados dos históricos de operação referentes à cheia de Jan/2016. **Fonte:** Sistema de Acompanhamento de Reservatório -SAR

Usina Hidrelétrica	Data	Cota (m)	Afluência (m ³ /s)	Defluência (m ³ /s)	Vazão Vertida (m ³ /s)	Vazão Turbinada (m ³ /s)
Risoleta Neves	18/01/2016	315,02	547,00	548,00	548,00	0,00
Baguari	21/01/2016	184,54	3396,38	3430,00	3430,00	0,00
Aimorés	22/01/2016	89,81	3732,93	3757,00	3757,00	0,00
Mascarenhas	22/01/2016	59,46	4052,89	4064,00	4064,00	0,00

Tabela 8-3 - Dados dos históricos de operação referentes à cheia de Jan/2020. **Fonte:** Sistema de Acompanhamento de Reservatório -SAR

Usina Hidrelétrica	Data	Cota (m)	Afluência (m ³ /s)	Defluência (m ³ /s)	Vazão Vertida (m ³ /s)	Vazão Turbinada (m ³ /s)
Risoleta Neves	25/01/2020	317,56	1687,91	1673,00	1673,00	0,00
Baguari	27/01/2020	184,77	5170,44	5200,00	4972,00	228,00
Aimorés	27/01/2020	89,64	4803,36	4800,00	3819,00	981,00
Mascarenhas	28/01/2020	60,00	5429,81	5429,00	5429,00	0,00

Para a simulação bidimensional das vazões dos tempos de retorno notáveis, nos municípios de Aimorés e Baixo Guandu, foi considerado o nível máximo normal de operação da UHE Mascarenhas, equivalente à El. 62,00 m. Com relação à simulação unidimensional dos trechos T13 a T16, os níveis máximos normais das usinas não foram considerados, uma vez que os equacionamentos simplificados impossibilitam realizar a simulação do amortecimento das vazões nos reservatórios.

8.1.4 Níveis de água observados na foz do Rio Doce

Para definição da condição de contorno de jusante localizada na foz do rio Doce, foram analisados dados da estação RDO-16 e da estação maregráfica Terminal Barra do Riacho. A **Figura 8-6** apresenta a localização das duas estações.

A estação de monitoramento da Fundação Renova foi implantada em agosto de 2017 e apresenta frequência de medição horária para valores de nível de água. De acordo com a ficha descritiva da estação, a régua de medição possui três metros de amplitude e seu topo se encontra apoiado sob um píer à margem direita do rio Doce localizado no distrito de Regência em Linhares-ES. Segundo a mesma ficha, a altitude do zero da régua em relação ao nível do mar equivale à 0 m. A **Figura 8-7** apresenta a série histórica de níveis máximos diários desta estação cujo valor médio equivale à 1,7 m. Considerando a aplicação do nível de água na última seção levantada (SC-30), o valor da média dos máximos equivale a 0,70 m tendo em vista que a seção SC-30 apresenta cota de fundo situada a 1 m abaixo do nível do mar.

A estação Maregráfica Terminal Barra do Riacho foi implantada em 2006 e apresenta registros de elevação de marés diários com 3 a 4 medições por dia. Esta estação está localizada à aproximadamente 35,7 km da foz do rio Doce e apresenta alturas da tábua de marés em referência ao nível de redução (NR) que equivale à 1,52 m.

Segundo o Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil, as alturas das marés geradas por meio da previsão harmônica são referidas ao nível de redução (NR) que constitui um plano de referência ao qual todas as profundidades cartografadas estão relacionadas. O valor máximo de altura de maré identificado na série histórica de medição equivale a 1,6 m. Este valor, somado ao nível de redução da estação, equivale ao nível de água de 3,12 m.



Figura 8-6 – Localização da estação maregráfica Terminal Barra do Riacho, estação RDO-16 e última seção topobatimétrica levantada (Seção complementar SC-30).

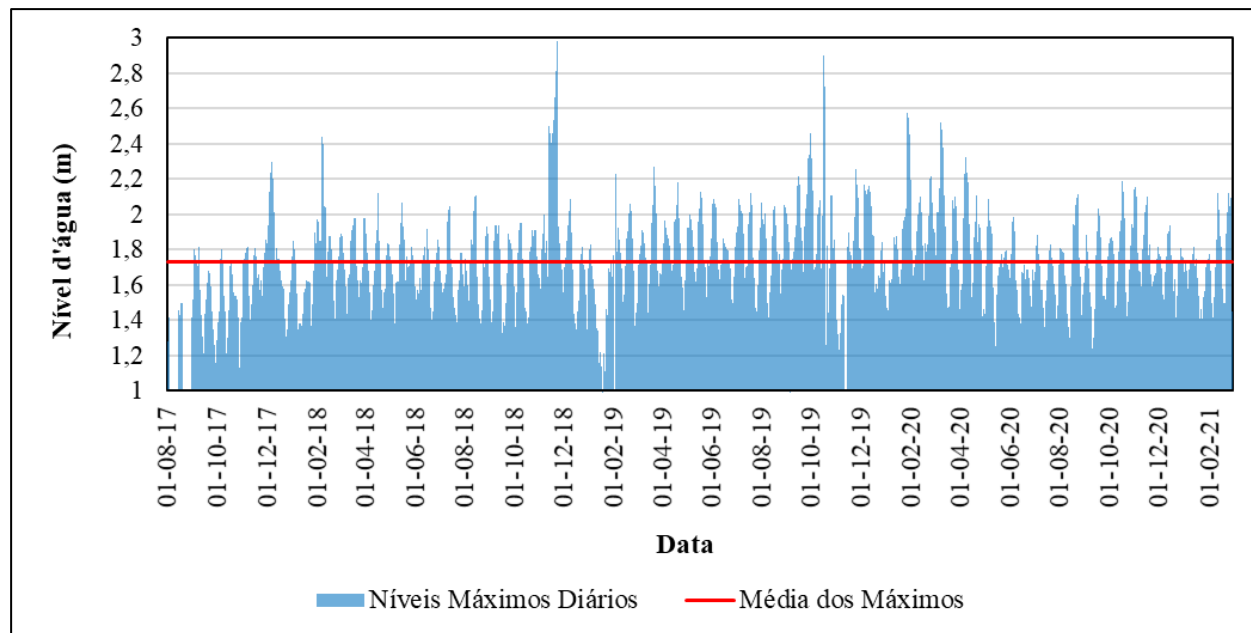


Figura 8-7- Série de níveis de água máximos diários da estação RDO-16.

De modo a avaliar a adequação de tais valores à área da planície de inundação na região da foz do rio Doce foi realizada uma análise de sensibilidade da mancha de inundação frente à variação da cota de nível de água considerada na última seção topobatimétrica levantada (SC-30). Os resultados obtidos indicaram que para valores de nível de água superiores a 1,25 m, ocorre o transbordamento da vazão da calha para a planície fluvial atingindo o distrito de Regência.

Portanto, concluiu-se que os dados da estação maregráfica Terminal Barra do Riacho não são representativos para a região já que o Nível de Redução desta estação é superior ao limite de nível de água de 1,25 m. Para as simulações hidrodinâmicas realizadas, adotou-se então o valor de nível de água na última seção (SC-30) equivalente a 0,70 m. Esse valor foi obtido tomando a média dos níveis de água máximos na estação RDO-16 (1,70 m) considerado na última seção topobatimétrica levantada que possui cota de fundo equivalente a -1,0 m.

8.2 Calibração do Modelo

Na etapa de calibração os coeficientes de rugosidade de Manning foram ajustados de modo a minimizar a diferença entre os perfis de linhas de água observados e simulados. Este procedimento foi realizado com auxílio do *software* HEC-RAS v. 5.0.7 no qual aplicou-se o método de *Standard Step* para estimar o perfil da linha de água entre as seções transversais levantadas considerando regime de escoamento permanente e fluxo unidimensional. A variação dos valores de coeficiente de Manning durante a calibração levou em consideração os valores propostos por Chow (1959) e Baptista e Lara (2010), para canais de grande porte conforme apresentados nas **Tabela 8-4** e **Tabela 8-5**.

Tabela 8-4 - Coeficientes de rugosidade para canais naturais. **Fonte:** Adaptado de Chow (1959).

Tipo de Canal e Descrição	Mínimo	Normal	Máximo
Canais Naturais – cursos menores (largura < 30 m)			
1. Canal Principal			
a. limpo, retilíneo, sem presença de corredeiras ou piscinas profundas	0,025	0,030	0,033
b. mesmo acima, mas com mais pedras e vegetação rasteira	0,030	0,035	0,040
c. limpo, meandrante, algumas piscinas e bancos de areia	0,033	0,040	0,045
d. mesmo acima, mas com pedras e vegetação rasteira	0,035	0,045	0,050
e. mesmo acima, níveis mais baixos, mais seções e inclinações inefetivas	0,040	0,048	0,055
f. mesmo que "d" com mais pedras	0,045	0,050	0,060
g. presença de muita vegetação e piscinas profundas	0,050	0,070	0,080
h. presença de muita vegetação e piscinas profundas presença de galhos e vegetação rasteira	0,075	0,100	0,150
2. Rios de montanha, sem vegetação no canal, margens íngremes, árvores e arbustos ao longo das margens			
a. fundo: cascalhos, pedras e alguns pedregulhos	0,030	0,040	0,050
b. fundo: pedras com grandes pedregulhos	0,040	0,050	0,070

Tabela 8-5 – Coeficientes de rugosidade para canais naturais. **Fonte:** Baptista e Lara (2010).

Tipo de Canal Natural	Características	Rugosidade		
		Mínima	Normal	Máxima
Canais de pequeno porte em planície (B < 30)	Limpos	0,025	0,033	0,045
	Trechos Lentos	0,050	0,070	0,080
Canais de pequeno porte em montanha (B < 30)	Leito desobstruído	0,030	0,040	0,050
	Leito com matacões	0,040	0,050	0,070

Tipo de Canal Natural	Características	Rugosidade		
		Mínima	Normal	Máxima
Canais de grande porte (B > 30)	Seções regulares	0,025	-	0,060
	Seções Irregulares	0,035	-	0,100

A calibração foi realizada por trechos de acordo com a localização das estações fluviométricas. Os itens a seguir descrevem o processo de calibração de acordo com cada estação fluviométrica considerada.

8.2.1 Estação Fazenda Cachoeira D’Antas

Para o cálculo da linha de água na estação Fazenda Cachoeira D’Antas foi considerado o perfil longitudinal composto pelas seções SC-1 a SC-5, DC-0003 a DC-0016 e pelo perfil transversal da estação fluviométrica, conforme apresentado na **Figura 8-8**. A declividade média do trecho equivale à 0,00032 m/m, valor considerado como base para o cálculo da profundidade normal como condição de contorno a montante e a jusante.

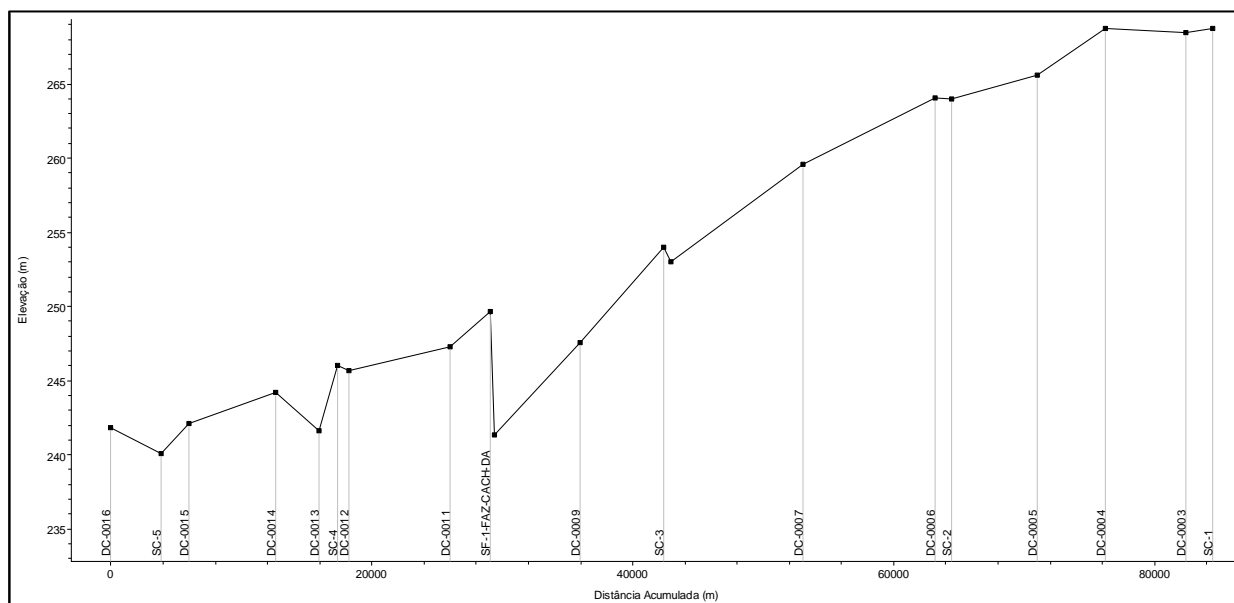


Figura 8-8 – Perfil longitudinal da geometria de calibração do trecho da estação Fazenda Cachoeira D’Antas.

A partir destes critérios com a utilização dos dados de observação apresentados no item 8.1.2, variou-se o valor do coeficiente de rugosidade de Manning de modo a se obter menor discrepância entre os níveis de água observados e simulados. A **Tabela 8-6** apresenta os resultados obtidos para o valor de coeficiente de Manning do leito fluvial ajustado equivalente a **0,025**. Com relação ao coeficiente de rugosidade de Manning das margens, este parâmetro foi variado juntamente com as declividades das condições de contorno e observou-se que o modelo é pouco sensível a tais parâmetros.

Tabela 8-6 – Resultados da Calibração estação Fazenda Cachoeira D’Antas.

Data	Vazão Observada (m³/s)	Nível de água estimado (m)	Nível de água simulado (m)	NA _{Obs} - NA _{Sim} (m)	Diferença Percentual
12/01/1983	442,00	252,42	253,25	-0,83	-0,33%
26/01/1985	666,00	253,25	253,98	-0,73	-0,29%
06/01/2012	1199,62	255,16	255,45	-0,29	-0,11%
31/01/2013	545,51	252,95	253,6	-0,65	-0,26%
04/12/2013	478,06	252,67	253,38	-0,71	-0,28%
30/11/2014	339,49	252,06	252,88	-0,82	-0,33%
18/01/2016	558,92	253,00	253,65	-0,65	-0,26%
16/12/2016	592,38	253,20	253,75	-0,55	-0,22%
05/12/2017	824,84	254,02	254,46	-0,44	-0,17%
01/01/2019	398,64	252,42	253,1	-0,68	-0,27%
26/01/2020	1481,40	255,94	256,1	-0,16	-0,06%

8.2.2 Estação Cachoeira dos Óculos Montante

Para o cálculo da linha de água na estação Cachoeira dos Óculos Montante foi considerado o perfil longitudinal composto pelas seções SC-6, SC-7, SC-9 e DC-016 a DC-0023 e pelo perfil transversal da estação fluviométrica, conforme apresentado na **Figura 8-9**. A declividade média do trecho equivale à 0,00066 m/m, valor considerado como base para o cálculo da profundidade normal como condição de contorno a montante e a jusante.

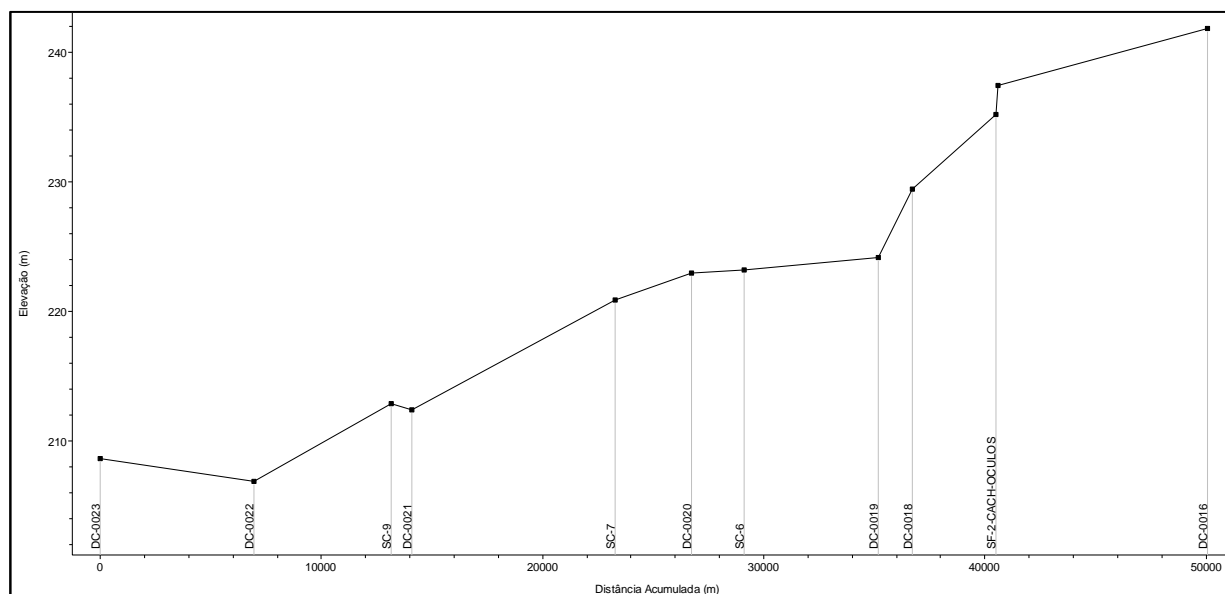


Figura 8-9 - Perfil longitudinal da geometria de calibração do trecho da estação Cachoeira dos Óculos Montante.

A partir destes critérios com a utilização dos dados de observação apresentados no item 8.1.2, variou-se o valor do coeficiente de rugosidade de Manning de modo a se obter menor discrepância entre os níveis de água observados e simulados. A **Tabela 8-7** apresenta os resultados obtidos para o valor de coeficiente de Manning do leito fluvial ajustado equivalente a **0,025**.

Tabela 8-7 - Resultados da Calibração estação Cachoeira dos óculos Montante.

Data	Vazão Observada (m ³ /s)	Nível de água observado (m)	Nível de água simulado (m)	NA _{Obs} - NA _{Sim} (m)	Diferença Percentual
05/01/2012	1952,85	243,44	242,37	1,07	0,44%
01/02/2013	643,77	239,21	240,28	-1,07	-0,45%
14/12/2013	608,57	239,06	240,19	-1,13	-0,47%
30/11/2014	516,29	238,66	239,91	-1,25	-0,52%
20/01/2016	682,24	239,52	240,36	-0,84	-0,35%
16/12/2016	855,09	240,17	240,72	-0,55	-0,23%
05/12/2017	1054,4	240,86	241,08	-0,22	-0,09%
02/01/2019	508,18	238,62	239,89	-1,27	-0,53%
26/01/2020	1710,02	242,77	242,06	0,71	0,29%

Com relação ao coeficiente de rugosidade de Manning das margens, este parâmetro foi variado juntamente com as declividades das condições de contorno e observou-se que o modelo é pouco sensível a tais parâmetros. O trecho simulado apresenta três segmentos de cachoeiras sendo que a representação destes com a utilização de seções topobatimétricas interpoladas altera expressivamente os níveis de água simulados.

Entre as seções DC-0017 e DC-0018 se encontra a Cachoeira dos Óculos, entre as seções DC-0018 e DC-0019 se encontra a Cachoeira Ruínas da Antiga Ponte Queimada e entre as seções DC-0020 e DC-0021 encontra-se a Cachoeira de Sant’Ana. A batimetria inserida sobre o MDT contemplou o desnível constatado pela topografia LiDAR nestes trechos. A **Tabela 8-8** apresenta os resultados obtidos para o valor de coeficiente de Manning do leito fluvial ajustado equivalente a **0,025** considerando seções interpoladas, sendo o resultado adotado para o presente estudo.

Tabela 8-8 - Resultados da Calibração estação Cachoeira dos óculos Montante – com a utilização de seções interpoladas.

Data	Vazão Observada (m ³ /s)	Nível de água observado (m)	Nível de água simulado (m)	NA _{Obs} - NA _{Sim} (m)	Diferença Percentual
05/01/2012	1952,85	243,44	243,57	-0,13	-0,05%
01/02/2013	643,77	239,21	239,78	-0,57	-0,24%
14/12/2013	608,57	239,06	239,64	-0,58	-0,24%
30/11/2014	516,29	238,66	239,28	-0,62	-0,26%
20/01/2016	682,24	239,52	239,92	-0,4	-0,17%
16/12/2016	855,09	240,17	240,56	-0,39	-0,16%
05/12/2017	1054,4	240,86	241,24	-0,38	-0,16%
02/01/2019	508,18	238,62	239,25	-0,63	-0,26%
26/01/2020	1710,02	242,77	243,03	-0,26	-0,11%

8.2.3 Estação Belo Oriente

Para o cálculo da linha de água na estação Belo Oriente foi considerado o perfil longitudinal composto pelas seções SC-10, SC-11 e DC-0024 a DC-0033 e pelo perfil transversal da estação fluviométrica conforme apresentado na **Figura 8-10**. Como condição de contorno de montante foi considerada a profundidade normal a partir da declividade média do trecho entre a estação e a seção

DC-0024 equivalente à 0,00030 m/m. Como condição de contorno de jusante foi considerada a profundidade normal a partir da declividade média do trecho entre a estação e a seção DC-0033 equivalente à 0,00169 m/m. Distante aproximadamente 2,4 km da estação Belo Oriente se encontra um trecho de cachoeiras representado no perfil pelo aumento da declividade.

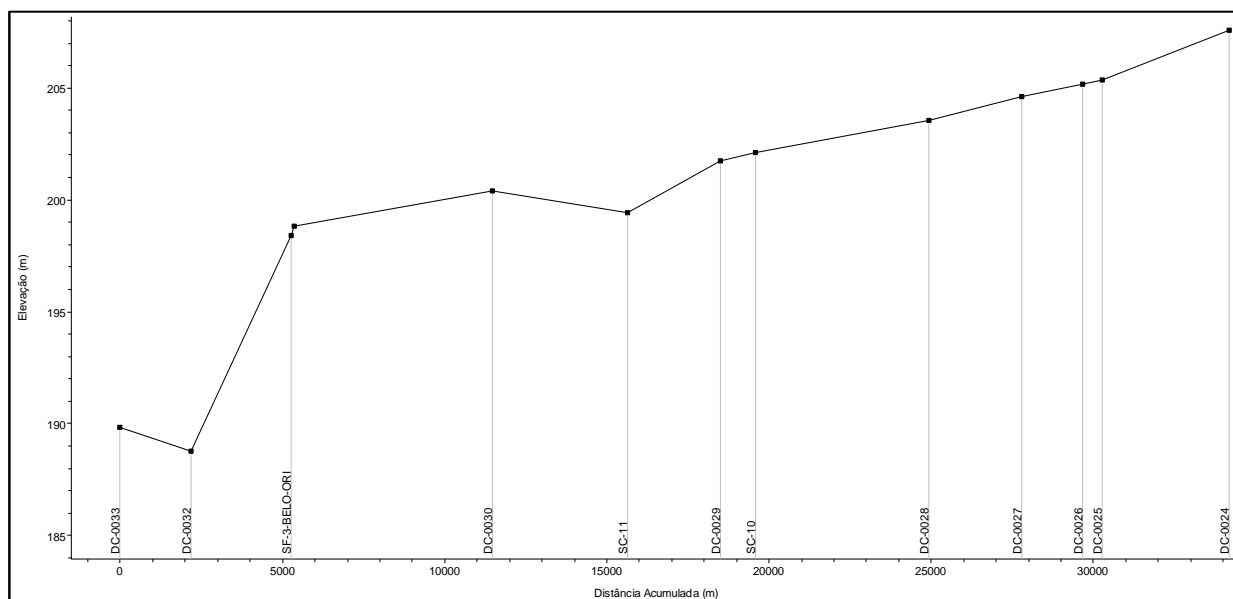


Figura 8-10 - Perfil longitudinal da geometria de calibração do trecho da estação Belo Oriente.

A partir destes critérios com a utilização dos dados de observação apresentados no item 8.1.2, variou-se o valor do coeficiente de rugosidade de Manning de modo a se obter menor discrepância entre os níveis de água observados e simulados. A **Tabela 8-9** apresenta os resultados obtidos para o valor de coeficiente de Manning do leito fluvial ajustado equivalente a **0,025**.

Tabela 8-9 - Resultados da Calibração estação Belo Oriente.

Data	Vazão Observada (m ³ /s)	Nível d'água observado (m)	Nível d'água simulado (m)	NA _{Obs} - NA _{Sim} (m)	Diferença Percentual
06/01/2012	2982,50	204,48	203,41	1,07	0,52%
02/02/2013	966,64	201,55	201,25	0,30	0,15%
24/12/2013	1262,53	202,03	201,6	0,43	0,21%
01/12/2014	690,82	200,92	200,84	0,08	0,04%

Data	Vazão Observada (m ³ /s)	Nível d'água observado (m)	Nível d'água simulado (m)	NA _{Obs} - NA _{Sim} (m)	Diferença Percentual
19/01/2016	1225,46	202,78	201,55	1,23	0,61%
17/12/2016	1350,08	203,00	201,7	1,30	0,64%
06/12/2017	1291,46	202,90	201,62	1,28	0,63%
07/02/2018	1427,00	202,68	201,8	0,88	0,43%
01/01/2019	781,28	201,91	200,99	0,92	0,46%
27/01/2020	2969,00	205,31	203,41	1,90	0,93%
29/01/2020	1462,25	203,25	201,84	1,41	0,69%

Com relação ao coeficiente de rugosidade de Manning das margens, este parâmetro foi variado juntamente com as declividades das condições de contorno e observou-se que o modelo é pouco sensível a tais parâmetros. A partir dos resultados obtidos notou-se que o valor de NA simulado está condicionado ao perfil longitudinal do terreno e ao posicionamento longitudinal do desnível da linha de talvegue representado pelo trecho onde se encontra a cachoeira Escura entre as seções DC-0031 e DC-0032. A batimetria inserida sobre o MDT contemplou o desnível constatado pela topografia LiDAR neste trecho. A **Tabela 8-10** apresenta os resultados obtidos para o valor de coeficiente de Manning do leito fluvial ajustado equivalente a **0,025** considerando seções interpoladas, sendo o resultado adotado para o presente estudo.

Tabela 8-10 - Resultados da Calibração estação Belo Oriente – com a utilização de seções interpoladas.

Data	Vazão Observada (m ³ /s)	Nível de água observado (m)	Nível de água simulado (m)	NA _{Obs} - NA _{Sim} (m)	Diferença Percentual
06/01/2012	2982,50	204,48	205,85	-1,37	-0,67%
02/02/2013	966,64	201,55	202,79	-1,24	-0,62%
24/12/2013	1262,53	202,03	203,35	-1,32	-0,65%
01/12/2014	690,82	200,92	202,22	-1,30	-0,65%
19/01/2016	1225,46	202,78	203,29	-0,51	-0,25%
17/12/2016	1350,08	203,00	203,5	-0,50	-0,25%
06/12/2017	1291,46	202,90	203,4	-0,50	-0,24%
07/02/2018	1427,00	202,68	203,63	-0,95	-0,47%

Data	Vazão Observada (m ³ /s)	Nível de água observado (m)	Nível de água simulado (m)	NA _{Obs} - NA _{Sim} (m)	Diferença Percentual
01/01/2019	781,28	201,91	202,41	-0,50	-0,25%
27/01/2020	2969,00	205,31	205,84	-0,53	-0,26%
29/01/2020	1462,25	203,25	203,69	-0,44	-0,22%

8.2.4 Estação Governador Valadares

Para o cálculo da linha de água na estação Governador Valadares foi considerado o perfil longitudinal composto pelas seções DC-0043 a DC-0056 e ST1 a ST12 (CPRM, 2004) e pelo perfil transversal da estação fluviométrica, conforme apresentado na **Figura 8-11**. Como condição de contorno de montante foi considerada a profundidade normal a partir da declividade média do trecho entre as seções DC-0043 e DC-0044 equivalente à 0,00025m/m. Como condição de contorno de jusante foi considerada a profundidade normal a partir da declividade média do trecho entre as seções DC-0055 e DC-0056 equivalente à 0,0043 m/m.

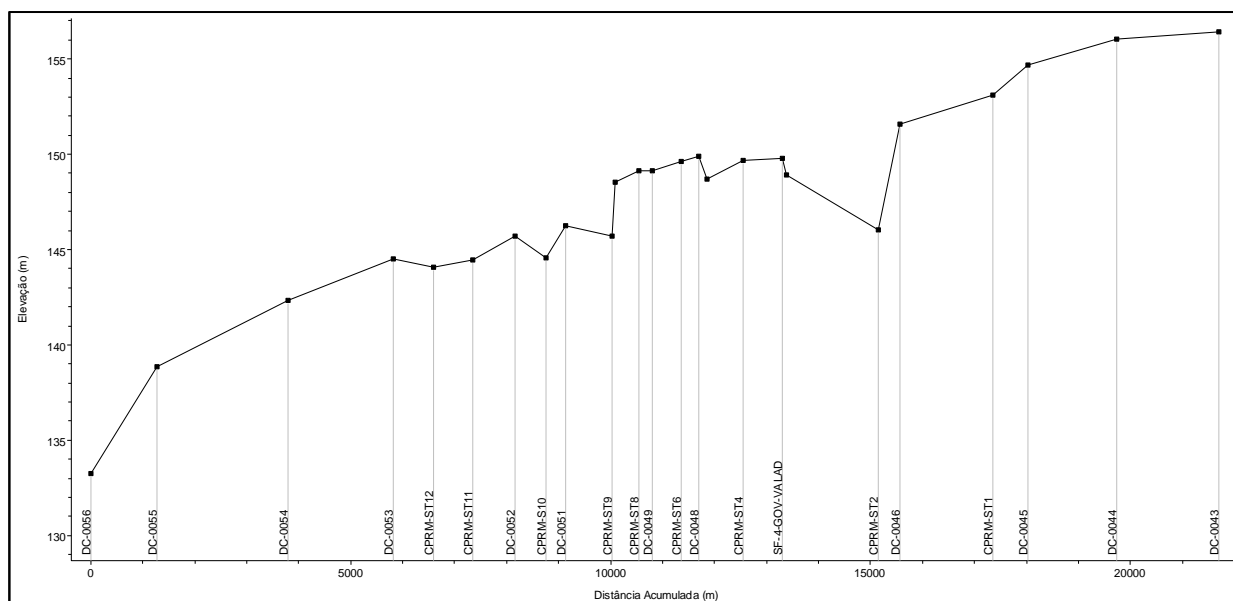


Figura 8-11 - Perfil longitudinal da geometria de calibração do trecho da estação Governador Valadares.

A partir destes critérios com a utilização dos dados de observação apresentados no item 8.1.2, variou-se o valor do coeficiente de rugosidade de Manning de modo a se obter menor discrepância entre os níveis de água observados e simulados. A **Tabela 8-11** apresenta os resultados obtidos para o valor de coeficiente de Manning do leito fluvial ajustado equivalente a **0,040**. Com relação ao coeficiente de rugosidade de Manning das margens, este parâmetro foi variado juntamente com as declividades das condições de contorno e observou-se que o modelo é pouco sensível à tais parâmetros.

Tabela 8-11 - Resultados da Calibração estação Governador Valadares.

Data	Vazão Observada (m³/s)	Nível de água observado (m)	Nível de água simulado (m)	NA_{Obs} - NA_{Sim} (m)	Diferença Percentual
06/01/2012	4700,01	157,64	157,8	-0,16	-0,10%
02/02/2013	1408,54	155,11	154,62	0,49	0,32%
25/12/2013	3037,17	156,46	156,23	0,23	0,15%
01/12/2014	1063,25	154,77	154,17	0,60	0,39%
22/01/2016	3158,11	156,55	156,34	0,21	0,13%
17/12/2016	2169,27	155,74	155,44	0,30	0,19%
06/12/2017	1539,81	155,23	154,78	0,45	0,29%
08/02/2018	2640,5	156,14	155,89	0,25	0,16%
02/01/2019	1303,94	155,01	154,49	0,52	0,34%
27/01/2020	4908,65	157,77	157,93	-0,16	-0,10%

8.2.1 Estação Tumiritinga

Para o cálculo da linha de água na estação Tumiritinga foi considerado o perfil longitudinal composto pelas seções SC-19 a SC-21, DC-0054 a DC-0069 e pelo perfil transversal da estação fluviométrica, conforme apresentado na **Figura 8-12**. A declividade média do trecho equivale à 0,00048 m/m, valor considerado como base para o cálculo da profundidade normal como condição de contorno a montante e a jusante.

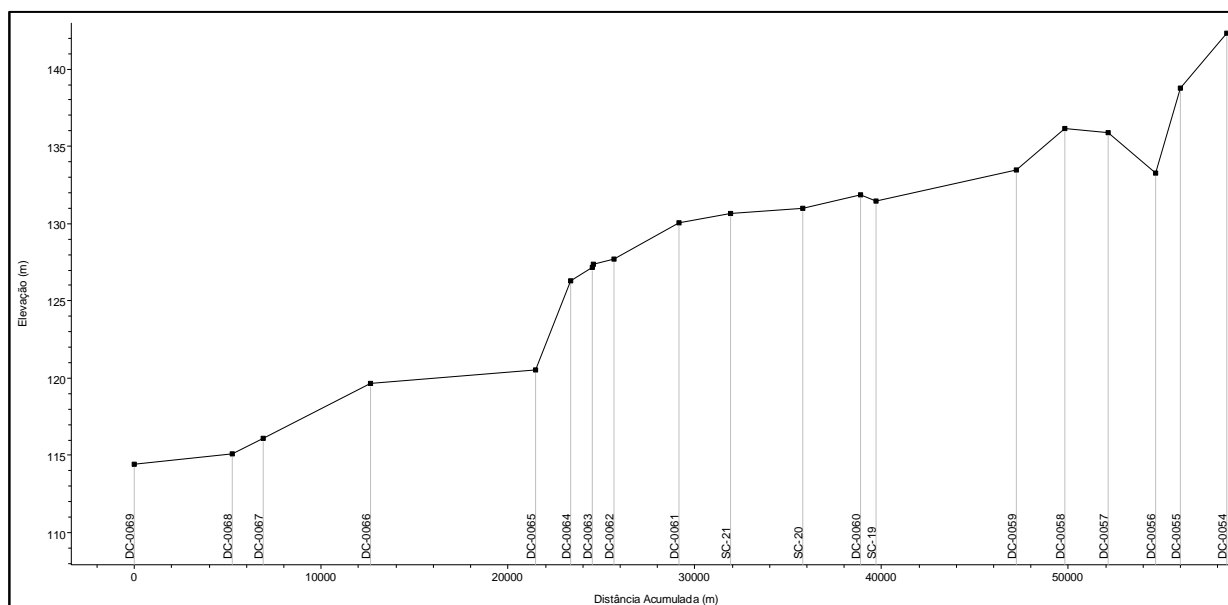


Figura 8-12 - Perfil longitudinal da geometria de calibração do trecho da estação Tumiritinga.

A partir destes critérios com a utilização dos dados de observação apresentados no item 8.1.2, variou-se o valor do coeficiente de rugosidade de Manning de modo a se obter menor discrepância entre os níveis de água observados e simulados. A **Tabela 8-12** apresenta os resultados obtidos para o valor de coeficiente de Manning do leito fluvial ajustado equivalente a **0,041**. Com relação ao coeficiente de rugosidade de Manning das margens, este parâmetro foi variado juntamente com as declividades das condições de contorno e observou-se que o modelo é pouco sensível a tais parâmetros.

Tabela 8-12 – Resultados da Calibração estação Tumiritinga.

Data	Vazão Observada (m ³ /s)	Nível de água observado (m)	Nível de água simulado (m)	NA _{Obs} - NA _{Sim} (m)	Diferença Percentual
18/01/1978	2303,00	132,07	132,06	0,01	0,01%
09/03/1978	2327,00	131,94	132,07	-0,13	-0,10%
16/01/1983	2196,00	131,84	131,99	-0,15	-0,11%
07/01/2012	5058,60	134,33	133,69	0,64	0,48%
01/02/2013	1671,77	130,23	131,66	-1,43	-1,10%
24/12/2013	4061,34	133,49	133,26	0,23	0,17%
17/12/2014	1171,39	131,06	131,31	-0,25	-0,19%
22/01/2016	3488,34	132,96	132,79	0,17	0,13%

Data	Vazão Observada (m ³ /s)	Nível de água observado (m)	Nível de água simulado (m)	NA _{Obs} - NA _{Sim} (m)	Diferença Percentual
17/12/2016	2243,02	131,68	132,02	-0,34	-0,26%
06/12/2017	1719,80	131,08	131,70	-0,62	-0,47%
08/02/2018	2985,37	132,47	132,48	-0,01	-0,01%
02/01/2019	1542,34	130,86	131,58	-0,72	-0,55%
28/01/2020	4998,88	134,28	133,67	0,61	0,45%

8.2.2 Estação Colatina

Para o cálculo da linha de água na estação Colatina foi considerado o perfil longitudinal composto pelas seções DC-0094 a DC-0099 e ST1500 a ST500 (CPRM, 2016) e pelo perfil transversal da estação fluviométrica, conforme apresentado na **Figura 8-13**. A declividade média do trecho equivale à 0,00028 m/m, valor considerado como base para o cálculo da profundidade normal como condição de contorno a montante e a jusante.

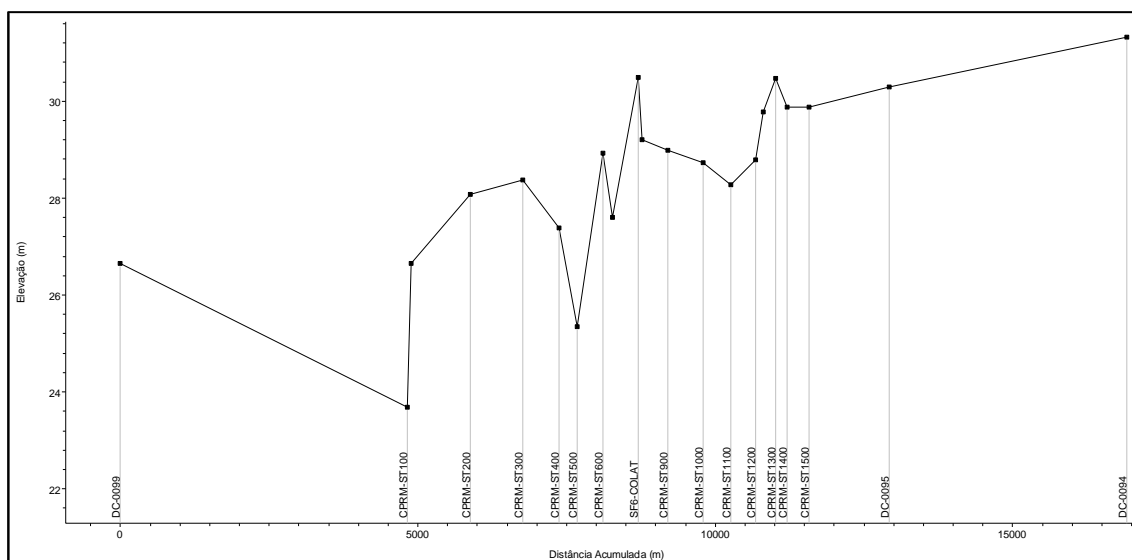


Figura 8-13 - Perfil longitudinal da geometria de calibração do trecho da estação Colatina.

A partir destes critérios com a utilização dos dados de observação apresentados no item 8.1.2, variou-se o valor do coeficiente de rugosidade de Manning de modo a se obter menor discrepância entre os níveis de água observados e simulados. A **Tabela 8-13** apresenta os resultados obtidos para o valor de coeficiente de Manning do leito fluvial ajustado equivalente a **0,045**. Com relação ao coeficiente de rugosidade de Manning das margens, este parâmetro foi variado observou-se que o modelo é pouco sensível a este parâmetro. O modelo se mostrou mais sensível à alteração da declividade da condição de contorno de jusante.

Tabela 8-13 - Resultados da Calibração estação Colatina.

Data	Vazão Observada (m ³ /s)	Nível de água observado (m)	Nível de água simulado (m)	NA _{Obs} - NA _{Sim} (m)	Diferença Percentual
07/01/2012	8055,77	37,62	40,29	-2,67	-7,10%
02/02/2013	2557,42	33,95	35,08	-1,13	-3,33%
24/12/2013	11655,20	39,46	42,79	-3,33	-8,44%
17/12/2014	870,93	32,11	32,68	-0,57	-1,78%
22/01/2016	3819,31	36,41	36,54	-0,13	-0,36%
18/12/2016	2691,83	35,18	35,24	-0,06	-0,17%
07/12/2017	2178,99	34,59	34,59	0,00	0,00%
08/02/2018	3677,14	36,25	36,39	-0,14	-0,39%
01/01/2019	2705,12	35,20	35,26	-0,06	-0,17%
28/01/2020	5501,96	38,06	38,19	-0,13	-0,34%

Conforme observado na **Tabela 8-13**, para as cheias de 2012 e 2013 as discrepâncias entre o NA observado e simulado são maiores comparadas com as demais datas. Isto ocorre, pois a leitura do NA nas réguas limétricas da estação convencional é dificultada em dias de vazões muito elevadas devido à periculosidade da aproximação ao rio. Além disso, o nível de água pode superar a cota máxima da régua, impossibilitando a medição. No caso das datas 07/01/2012 e 24/12/2013, ocorreram vazões muito elevadas e a leitura da cota para a data 07/01/2012 (706 cm) é inferior à cota medida para 28/01/2020 (750 cm), o que representa uma inconsistência das medições. No caso da data 02/02/2013, a cota medida equivalente a 339 cm é inferior à cota medida 403 cm para a data 07/12/2017, o que

também representa uma inconsistência pois a vazão em 02/02/2013 é superior àquela de 07/12/2017. Logo, tais inconsistências justificam as altas discrepâncias observadas.

É importante de ressaltar que o estudo hidrológico descrito no item 7 levou em consideração a maximização das vazões simuladas a partir da equação de Fuller de modo que estas são superiores às vazões de pico instantâneas, deixando o estudo mais conservador. Portanto, as inconsistências de medição relatadas não são relevantes para as simulações, apenas para a calibração.

8.2.3 Estação Linhares

Para o cálculo da linha de água na estação Linhares foi considerado o perfil longitudinal composto pelas seções SC-30 a SC-40, DC-0105 a DC-0111 e pelo perfil transversal da estação fluviométrica, conforme apresentado na **Figura 8-14**. A declividade média do trecho equivale à 0,00029 m/m, valor considerado como base para o cálculo da profundidade normal como condição de contorno a montante. A condição de contorno de jusante adotada corresponde ao valor de nível de água conhecido equivalente a 0,7 m explicitado no item 8.1.4.

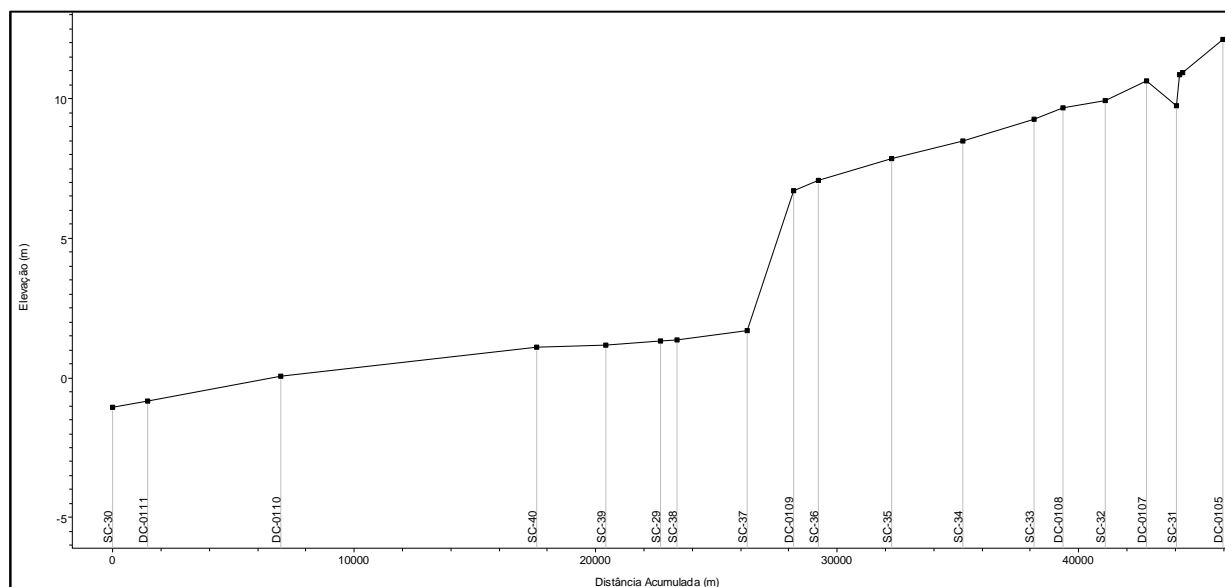


Figura 8-14 - Perfil longitudinal da geometria de calibração do trecho da estação Linhares.

A partir destes critérios com a utilização dos dados de observação apresentados no item 8.1.2, variou-se o valor do coeficiente de rugosidade de Manning de modo a se obter menor discrepância entre os níveis de água observados e simulados. A **Tabela 8-14** apresenta os resultados obtidos para o valor de coeficiente de Manning do leito fluvial ajustado equivalente a **0,024**. Com relação ao coeficiente de rugosidade de Manning das margens, este parâmetro foi variado juntamente com as declividades das condições de contorno e observou-se que o modelo não é sensível a tais parâmetros.

Tabela 8-14 - Resultados da Calibração estação Linhares.

Data	Vazão Observada (m ³ /s)	Nível de água estimado (m)	Nível de água simulado (m)	NA _{Obs} - NA _{Sim} (m)	Diferença Percentual
19/01/1983	2295	14,36	14,88	-0,52	-3,62%
14/01/1985	5481	16,61	16,51	0,10	0,60%
22/03/1985	3368	15,59	15,52	0,07	0,45%
13/01/1986	3739	15,4	15,71	-0,31	-2,01%

A partir dos resultados obtidos notou-se que o valor de NA simulado está condicionado ao perfil longitudinal do terreno especificamente ao posicionamento do datum vertical da seção transversal da estação fluviométrica que foi ajustado de modo que a cota da margem esquerda coincidissem com a cota do MDT LiDAR no mesmo ponto.

8.2.4 Análise do resultado da calibração e comparação com valores relatados na literatura

Os valores de coeficiente de rugosidade de Manning obtidos no processo de calibração, ainda que condizentes com os valores propostos por Chow (1959) e Baptista e Lara (2010), estão sujeitos a incertezas referentes principalmente aos valores de nível de água observados para as estações fluviométricas cujos valores de cota zero da régua são desconhecidos. Além disso, o perfil de linha de água simulado está condicionado ao perfil longitudinal do talvegue e, portanto, para estações

fluviométricas localizadas em trechos com poucas seções transversais conhecidas, a incerteza sobre os níveis de água simulados aumenta.

Observou-se que as declividades aplicadas para o cálculo da profundidade normal como condição de contorno de montante não interferem no cálculo no nível de água simulado. Já as declividades consideradas para o cálculo da profundidade normal a jusante tem pouca influência sobre os níveis de água simulados, exceto para a estação Colatina. Para as estações Cachoeira dos Óculos Montante, Belo Oriente e Linhares notou-se que os perfis de linha de água simulados são muito sensíveis ao perfil longitudinal do talvegue. No caso das estações Cachoeira dos Óculos Montante e Belo Oriente, a representação de trechos de cachoeiras com a utilização de seções topobatimétricas interpoladas alteram expressivamente os níveis de água simulados. Para a estação Cachoeira dos Óculos Montante, os resultados da calibração sem e com seções interpoladas superestimam os dados observados sendo que a utilização de seções interpoladas reduz a discrepância entre os níveis simulados e observados. Para a estação Belo Oriente, os resultados da calibração sem seções interpoladas subestimam os dados observados sendo que a utilização de seções interpoladas retornou níveis d'água superestimados com discrepâncias. Já para a estação Linhares, o ajuste do datum vertical da estação também efeito expressivo sobre os resultados.

Como forma de avaliar a calibração realizada, buscou-se na literatura valores de coeficiente de rugosidade de Manning relatados para o trecho em estudo. Os estudos relativos à determinação da rugosidade do leito fluvial do rio Doce encontrados na literatura incluem:

- Artigo publicado na Revista Brasileira de Recursos Hídricos por Teixeira *et al.* em 2018 intitulado: “**Coeficiente de rugosidade de Manning para o rio Doce**”;
- Publicação Técnica datada de 2004 da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM intitulada “**Definição da Planície de Inundação da Cidade de Governador Valadares**”;
- Publicação Técnica datada de 2016 da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM intitulada “**Definição da Planície de Inundação da Cidade de Colatina-ES**”;
- Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais por Coutinho

em 2015 intitulada “**Avaliação do desempenho da modelagem hidráulica unidimensional e bidimensional na simulação de eventos de inundação em Colatina / ES**”;

- Trabalho de Conclusão de Curso realizado por Abrantes (2017) intitulado “**Determinação de Coeficientes de Rugosidade Equivalentes do Rio Doce**”;
- Apêndice do Relatório técnico Diagnóstico Socioambiental dos Danos Decorrentes do Rompimento da Barragem de Fundão na Bacia do Rio Doce e Região Costeira Adjacente TOMO I – Contextualização: “**Documento Suplementar Simulação Hidrodinâmica das Cheias no rio Doce**”, LACTEC (2020a);
- Relatório técnico realizado pela empresa Walm Engenharia e Tecnologia Ambiental em 2018 intitulado “**Projeto Conceitual - Estudo Hidrológico de Apoio aos Projetos de Viabilidade dos Barramentos das Lagoas Pandolfi, Areal e Monsarás - SE23030 Relatório Técnico - Civil – Infraestrutura**”

Teixeira *et al.* (2018) determinaram o coeficiente de rugosidade de Manning equivalente das estações fluviométricas: Fazenda Cachoeira D’Antas, Cachoeira dos Óculos Montante, Belo Oriente, Governador Valadares, Tumiritinga, Resplendor e Colatina. Para cada dia de medição de perfil transversal, os valores de vazão observada e profundidade foram utilizados para o cálculo do valor de coeficiente de Manning. O software Canal, aplica a equação de Manning para o cálculo do coeficiente de rugosidade a partir da inserção da vazão observada, profundidade observada, dados da seção transversal e declividade. A partir da inserção da profundidade observada, o software calcula os parâmetros perímetro e área molhada. Os valores de *n* médios obtidos foram (**Figura 8-15**) : A) Fazenda Cachoeira D’Antas (56425000) - 0,037; B) Cachoeira dos Óculos (56539000) - 0,045; C) Belo Oriente (56719998) - 0,049; D) Governador Valadares (56850000) - 0,085; E) Tumiritinga (56920000) - 0,046; F) Resplendor (56948005) - 0,049; G) Colatina (56994500) - 0,028. Especificamente para as estações Fazenda Cachoeira D’Antas, Governador Valadares e Colatina, os autores realizaram uma análise estatística de incertezas. Os resultados obtidos são apresentados na **Tabela 8-15**.

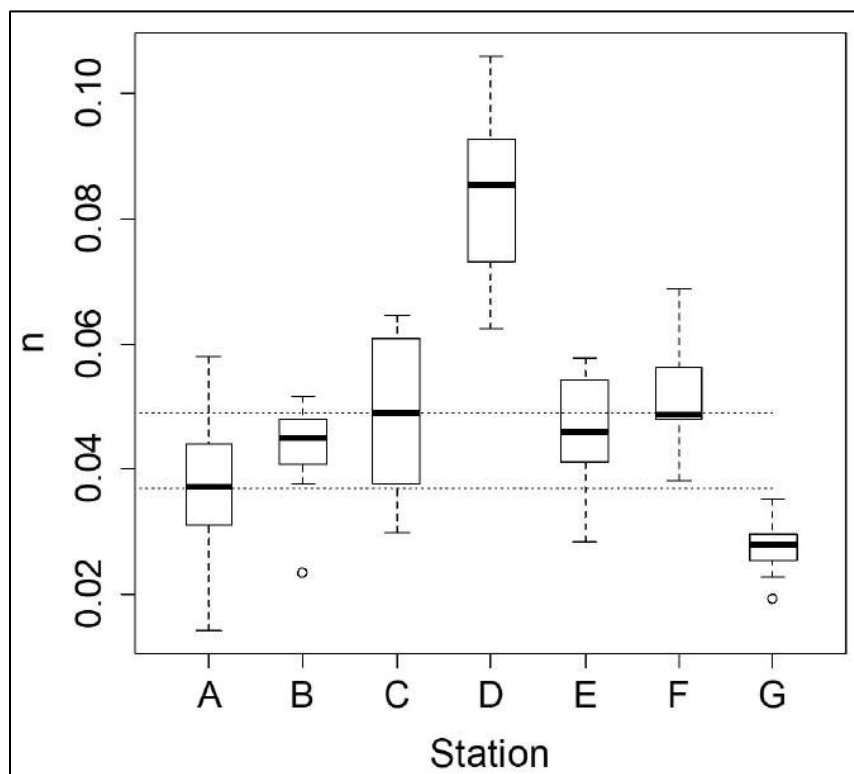


Figura 8-15 - Valores de n calculados para as estações: A) Fazenda Cachoeira D'Antas, B) Cachoeira dos Óculos, C) Belo Oriente, D) Governador Valadares, E) Tumiritinga, F) Resplendor, G) Colatina. **Fonte: Teixeira et al. (2018)**

Tabela 8-15 – Valores de coeficiente de rugosidade de Manning e incertezas associadas. **Fonte: Teixeira et al. (2018).**

Estação Fluviométrica	Qreal (m ³ /s)	yreal (m)	Erro (%)	Manning			nreal	Incertezas de n (%)		
				Máx	Médio	Mín		Máx	Médio	Mín
56425000	37,15	1,89	5	0,0748	0,0589	0,0444	0,0579	29,21	1,72	23,23
			10	0,0927	0,0590	0,0312		60,06	1,38	46,05
56850000	418,7	3,33	5	0,0891	0,0764	0,0642	0,0757	17,65	0,99	15,19
			10	0,1047	0,0749	0,0537		38,30	1,01	29,04
56994500	446,8	2,45	5	0,0349	0,0275	0,0217	0,0279	25,28	1,29	21,99
			10	0,0432	0,0283	0,0166		54,75	1,72	40,52

Nas publicações técnicas da CPRM, a calibração do valor de coeficiente de rugosidade de Manning foi realizada com auxílio do *software* HEC-RAS no qual aplicou-se o método de *Standard Step* para estimar o perfil da linha de água. Para o município de Governador Valadares o coeficiente de Manning, n, definido para as seções no canal principal foi de **0,04**, exceto na seção 12, que foi de 0,03. Para o município de Colatina, o coeficiente de Manning, n, definido para as seções no canal principal variou entre 0,028 e 0,030 sendo que na seção da estação fluviométrica de Colatina foi adotado o valor de **0,030**. Esta mesma faixa de valores de Manning para o leito fluvial do rio Doce em Colatina é relatada na dissertação escrita por Coutinho (2015).

Abrantes (2017), assim como Teixeira *et al.* (2018) utilizou o *software* Canal para cálculo do coeficiente de rugosidade equivalente. O trabalho de conclusão de curso contemplou as seguintes estações fluviométricas: Fazenda Cachoeira D'Antas, Cachoeira dos Óculos Montante, Belo Oriente, Governador Valadares, Tumiritinga, Resplendor, UHE Mascarenhas Jusante, Colatina e Linhares. Para cada ano de medição de perfil transversal foram utilizados dados de cota e vazão para o dia de medição do perfil (dados do resumo de descarga), dia da maior vazão e dia da menor vazão (dados das medições diárias para o ano de medição do perfil transversal). Além disso, o estudo apresentou uma comparação entre os valores de coeficiente de rugosidade de Manning obtidos considerando toda a série de medição dos resumos de descarga (**Tabela 8-16**) e os valores de coeficiente de rugosidade de Manning obtidos após o rompimento da Barragem de Fundão (**Tabela 8-17**).

Tabela 8-16 – Coeficientes de Rugosidade médios ao longo do rio Doce. **Fonte: Abrantes (2017).**

Estação	Rugosidade do dia de medição	Rugosidade época de seca	Rugosidade época de chuva
Fazenda Cachoeira D'Antas	0,037	0,04	0,055
Cachoeira dos Óculos	0,04	0,035	0,047
Belo Oriente	0,046	0,042	0,044
Governador Valadares	0,07	0,083	0,032
Tumiritinga	0,051	0,052	0,049
Resplendor	0,046	0,049	0,033
UHE - Mascarenhas	0,058	-	-
Colatina	0,026	0,029	0,031
Linhares	0,027	0,026	0,046
Média	0,044	0,045	0,042

Tabela 8-17 - Coeficientes de Rugosidade médios ao longo do rio Doce após o rompimento da Barragem de Fundão. **Fonte: Abrantes (2017).**

Estação	Rugosidade média total	Rugosidade média de 2014	Rugosidade média de 2015
Fazenda Cachoeira D'Antas	0,044	0,074	0,112
Cachoeira dos Óculos	0,041	0,033	0,124
Belo Oriente	0,044	0,042	0,052
Governador Valadares	0,062	-	0,117
Tumiritinga	0,051	0,056	0,064
Resplendor	0,043	-	-
UHE - Mascarenhas	0,058	-	-
Colatina	0,029	-	0,031
Linhares	0,033	-	-
Média	0,045	0,051	0,083

O centro de ciência e tecnologia LACTEC, no Documento Suplementar Simulação Hidrodinâmica das Cheias no rio Doce apresentou calibração do valor de coeficiente de rugosidade de Manning considerando todas as medições diárias do período de 2012 a 2017. Os valores de n para a calha principal foram ajustados, variando entre 0,02 e 0,045. Os resultados obtidos são apresentados na **Figura 8-16**.

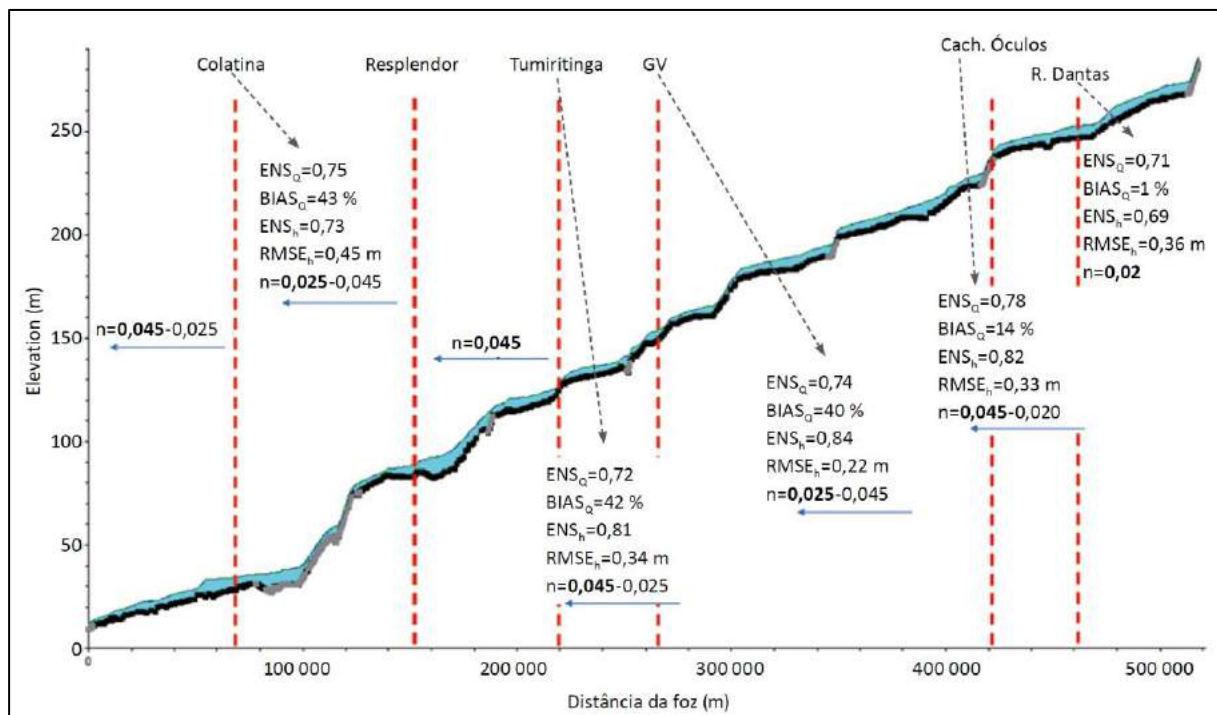


Figura 8-16 - Perfil longitudinal do rio Doce, métricas estatísticas entre os dados de vazão (Q) e nível (h) observados e simulados com o HEC-RAS para as estações fluviométricas da ANA e valores do coeficiente de Manning (n) utilizado em cada trecho de rio. Valores de n em negrito indicam o valor predominante. **Fonte: LACTEC (2020a)**

Por último, a empresa Walm Engenharia e Tecnologia Ambiental, ao realizar a simulação de cheias na foz do rio Doce, utilizou os dados da estação Linhares para calibração do valor de coeficiente de rugosidade de Manning, obtendo o valor ajustado de **0,024**. A **Tabela 8-18** apresenta o resumo da comparação entre os valores de Manning adotados no presente estudo e os valores relatados na literatura.

Tabela 8-18 – Resumo da comparação entre os valores de Manning adotados e relatados na literatura.

Estação Fluviométrica	Coefficientes de rugosidade de Manning adotados nas simulações hidrodinâmicas HIDROBR, 2021	Valor de coeficiente de rugosidade de Manning equivalente médio obtido por Teixeira <i>et al.</i> (2018)	Valor de coeficiente de rugosidade de Manning equivalente médio com erro de 5% obtido por Teixeira <i>et al.</i> (2018)	Valor de coeficiente de rugosidade de Manning relatado pelas publicações técnicas da CPRM de 2004 e 2016	Valor de coeficiente de rugosidade de Manning equivalente médio em período de chuva obtido por Abrantes (2017)	Valor de coeficiente de rugosidade de Manning relatado pelo centro LACTEC (2020a)	Valor de coeficiente de rugosidade de Manning relatado pela Walm Engenharia e Tecnologia Ambiental (2018)
Fazenda Cachoeira D'Antas	0,025	0,037	0,0589	-	0,055	0,02	-
Cachoeira dos Óculos Montante	0,025	0,045	-	-	0,047	0,020 a 0,045	-
Belo Oriente	0,025	0,049	-	-	0,044	-	-
Governador Valadares	0,040	0,085	0,0764	0,04	0,032	0,025 a 0,045	-
Tumiritinga	0,041	0,046	-	-	0,049	0,025 a 0,045	-
Colatina	0,045	0,049	0,0275	0,03	0,031	0,025 a 0,045	-
Linhares	0,024	0,028	-	-	0,046	0,025 a 0,045	0,024

As maiores diferenças entre os resultados obtidos pelo processo de calibração deste relatório e os valores que constam na literatura são referentes às estações Fazenda Cachoeira D'Antas, Cachoeira dos Óculos Montante e Belo Oriente. De modo geral, os coeficientes de rugosidade relatados por Teixeira *et al.* (2018) e Abrantes (2017) são superiores aos valores obtidos no processo de calibração relatado no presente estudo. Esta diferença pode ser explicada pelos seguintes fatores:

- O processo de calibração está condicionado aos valores de vazão observados que foram de magnitude mais baixa, portanto, espera-se que sejam obtidos valores de rugosidade mais elevados. No processo de calibração deste relatório priorizou-se a utilização de dados de observação recente e considerou-se apenas o perfil transversal mais recente de cada estação fluviométrica. No estudo realizado por Teixeira *et al.* (2018) foram calculados valores de n para cada data de perfil transversal levantado até o ano de 2016 tendo sido utilizados apenas os dados do resumo de descarga. No estudo realizado por Abrantes (2017) foram considerados todos os perfis transversais e dados de vazões e cotas medidos até o ano de 2014. De modo geral as vazões observadas que constam no resumo de descarga das estações apresentam magnitude mais baixa, não representando a rugosidade em períodos de cheia.
- A metodologia de cálculo do coeficiente de rugosidade de Manning do *software* Canal não leva em conta o perfil longitudinal do trecho definido pelas seções topobatimétricas conhecidas a montante e jusante de onde está localizada a estação e não permite a avaliação da área alagada para as vazões observadas. Para o cálculo do valor de n , o *software* Canal aplica a equação de Manning que depende do parâmetro declividade que confere certa incerteza aos resultados.
- A metodologia de cálculo do coeficiente de rugosidade de Manning do *software* Canal não diferencia o Manning calculado para o leito menor e leito vazante, por isso a denominação de um Manning equivalente, que representa toda a área molhada. Deste modo, Manning equivalente pode ser superior pois considera também a rugosidade do leito menor, a depender da vazão.

8.3 Premissas e Critérios

Nos itens a seguir são descritas as premissas e critérios adotados para cada área de simulação incluindo: os valores coeficiente de rugosidade de Manning, as especificações de cada geometria de simulação e as condições de contorno consideradas. No Apêndice 12.3 deste relatório encontra-se o quadro resumo de todas as premissas e critérios de simulação.

8.3.1 Coeficiente de rugosidade de Manning do leito fluvial

Para todas as simulações hidráulicas, tanto unidimensional, quanto bidimensional, realizadas foram adotados coeficiente de rugosidade de Manning do leito fluvial vazante de acordo com os resultados da calibração e distinção de diferentes materiais do leito a partir da observação de imagens de satélite e observações da visita de campo. Deste modo, dividiu-se o rio Doce nos trechos:

- UHE Risoleta Neves à UHE Baguari - Seções SC-1 a DC-0040: neste trecho se encontram as estações fluviométricas Fazenda Cachoeira D'Antas (56425000), Cachoeira dos óculos Montante (56539000) e Belo Oriente (56719998). Os resultados da calibração para estas estações indicaram valor de coeficiente de Manning equivalente a 0,025, valor considerado nas simulações.
- UHE Baguari à Confluência com rio Itabacuri - Seções DC-0041 a DC-0081: neste trecho estão localizadas as estações fluviométricas de Governador Valadares (56850000) e Tumiritinga (56920000). Os resultados da calibração indicaram melhores ajustes ao coeficiente de Manning de 0,04.
- UHE Aimorés à distrito de Itapina (Colatina) - Seções SC-25 a DC-0090: este trecho é caracterizado pela presença de afloramentos rochosos e pedregulhos ao longo do leito fluvial. Especificamente a jusante do barramento da UHE Aimorés, há o TVR-Trecho de Vazão Reduzida onde é possível visualizar grande parte do leito fluvial exposto. Para este trecho adotou-se valor de coeficiente de Manning mais elevado correspondendo a 0,055 em detrimento das características do leito. As simulações hidráulicas bidimensionais realizadas em Aimorés para a vazão de restrição de 3.600

m³/s demonstraram que a área alagada para este valor de coeficiente de Manning se mantém dentro da calha fluvial não atingindo o centro de Aimorés, conforme esperado.

- Distrito de Itapina (Colatina) à Distrito de Barbados (Colatina) - Seções DC-0091 a DC-0099: este trecho é caracterizado pela presença de bancos de areia e nele está localizada a estação fluviométrica de Colatina (56994500). Os resultados da calibração indicam melhores ajustes ao coeficiente de Manning de 0,045.
- Distrito de Barbados (Colatina) à foz do rio Doce - Seções DC-0100 a SC-30: este trecho é caracterizado pela presença de muitos bancos de areias e canais anastomosados e nele está localizada a estação fluviométrica de Linhares (56998000). Os resultados da calibração indicam melhores ajustes ao coeficiente de Manning de 0,024.

8.3.2 Coeficiente de rugosidade de Manning da planície de Inundação

Para o modelo unidimensional que abrange os trechos T13 a T16, que consiste em um modelo com várias simplificações considerando a ocorrência dos extravasamentos da calha principal, foi utilizado um valor de rugosidade da planície de inundação equivalente à 0,050. Este valor foi adotado tendo em vista que o uso e ocupação do solo nas margens do rio Doce contempla principalmente as categorias pastagem e vegetação densa configurando uma faixa de rugosidade de Manning entre 0,035 e 0,11.

Para a definição do coeficiente de rugosidade de Manning da planície de inundação dos modelos bidimensionais foram utilizados os dados de uso e ocupação do solo com resolução espacial de 10 m elaborados por meio das imagens dos satélites ALOS, QUICKBIRD, WORLD VIEW I e LANDSAT-7 (ANA, 2016). Salienta-se que a resolução espacial de 10 m é adequada para o estudo pois as geometrias dos modelos bidimensionais apresentam células com dimensões iguais ou superiores a 10 m na maior parte da área simulada. Além disso, foi realizada a consistência destes dados a partir da comparação da categoria de uso de solo atribuída e a categoria de uso identificada pela imagem do satélite Google. As categorias de classificação de uso e ocupação foram simplificadas para: Pastagem, Áreas Agrícolas, Áreas de Vegetação densa, Áreas Urbanas, Lagos e Lagoas. A escolha do valor de coeficiente de

Manning adotado para cada categoria foi embasada nos valores propostos por Chow (1959) e Baptista e Lara (2010), conforme apresentado nas **Tabela 8-19** e **Tabela 8-20**

Tabela 8-19 – Valores de Manning para planície fluvial. **Fonte:** Adaptado de Chow (1959).

Uso e Ocupação do Solo	Rugosidade Mínima	Rugosidade Média	Rugosidade Máxima
Pastagem			
1. grama baixa	0,025	0,03	0,035
2. grama alta	0,03	0,035	0,05
Áreas Cultivadas			
1. sem plantio	0,02	0,03	0,04
2. plantio em linhas maduro	0,025	0,035	0,045
3. plantio em campos maduro	0,03	0,04	0,05
Árvores			
1. vegetação densa	0,11	0,15	0,2

Tabela 8-20 - Valores de Manning para planície fluvial. **Fonte:** Baptista e Lara (2010).

Características da Planície Fluvial	Rugosidade		
	Mínima	Média	Máxima
Pastagens	0,025	0,030	0,035
Cultura	0,020	0,040	0,050
Vegetação densa	0,045	0,070	0,160

O “Guia para Seleção de Coeficientes de Rugosidade de Manning para Canais Naturais e Planícies de Inundação” publicado por Arcement & Schneider (1989) apresenta diversas imagens de planícies de inundações e seus respectivos valores de coeficiente de rugosidade de Manning calculados. Para planícies de inundação caracterizadas por vegetação densa, os valores de Manning calculados correspondem a 0,10 ou 0,11, conforme exemplificado na **Figura 8-17**.

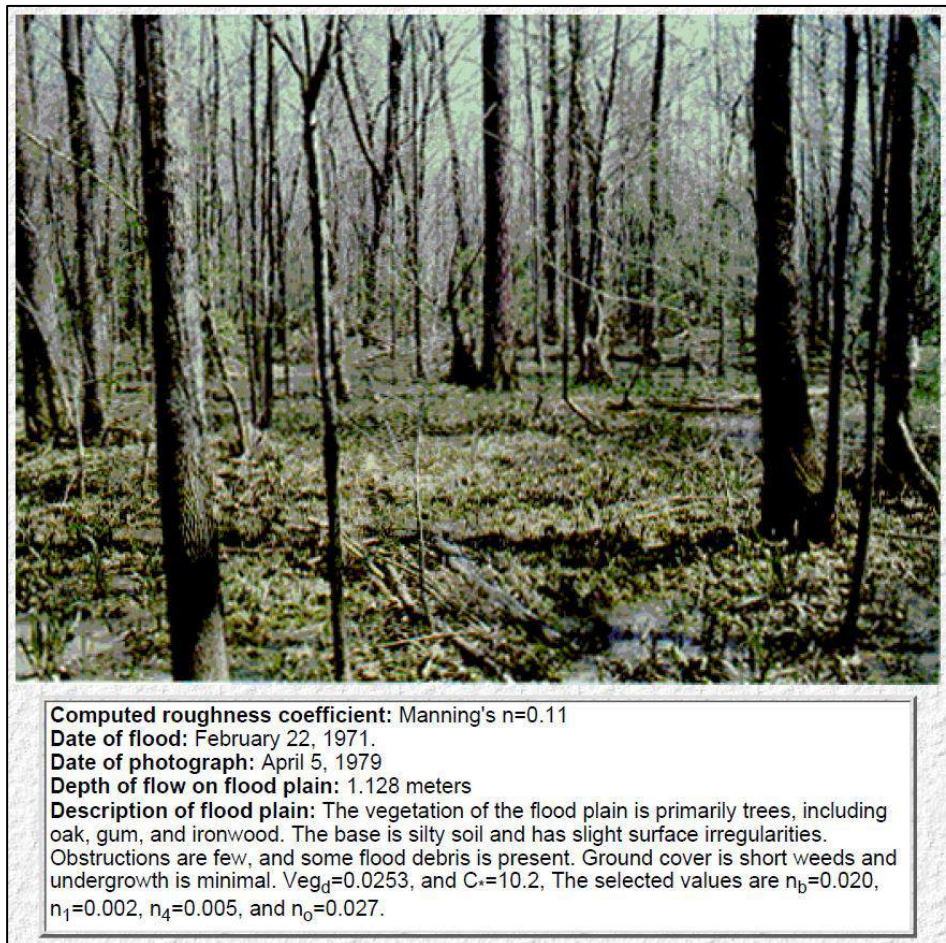


Figura 8-17 – Coeficiente de rugosidade de Manning calculado para área de vegetação adensada de 0,11. **Fonte:** Colson, Arcement, e Ming (1979) *apud* Arcement & Schneider (1989).

Os valores de coeficiente de Manning adotados na planície de inundação são apresentados na **Tabela 8-21**. Com relação ao coeficiente de Manning para áreas urbanas, não há um consenso na literatura sobre faixa de valores adequados. Na publicação técnica da CPRM sobre a definição da planície de Inundação de Governador Valadares, para áreas urbanas mais adensadas, adotou-se o valor de 0,07 a 0,08. Considerando o valor de rugosidade equivalente para Governador Valadares (0,0764) obtido por Teixeira *et al.* (2018) referente ao leito vazante e leito menor, estimou-se a rugosidade relativas ao leito menor constituído por área urbana equivalente à 0,11 aplicando-se a **Equação 8-1** de cálculo do Manning equivalente pela ponderação pelo perímetro molhado conforme recomendações de Horton e Einstein (Chow, 1959).

Tabela 8-21 - Valores de coeficiente de Manning adotados para cada categoria de uso e ocupação do solo.

Uso e Ocupação do Dolo	Coefficiente de Rugosidade de Manning adotado
Pastagem e Áreas Agrícolas	0,035
Áreas de Vegetação densa	0,11
Áreas Urbanas	0,11
Lagos e Lagoas	0,01

$$n = \left[\frac{\sum_{i=1}^m (P_i * n_i^{3/2})}{P} \right]^{2/3} \quad \text{Equação 8-1}$$

Sendo n o coeficiente de rugosidade global (equivalente), P o perímetro molhado total, P_i o perímetro molhado associado à superfície “ i ” e n_i o coeficiente de rugosidade associado à superfície “ i ”.

8.3.3 Ipatinga

A simulação hidrodinâmica na planície fluvial do rio Doce em Ipatinga considerou fluxo bidimensional e regime de escoamento permanente com a utilização de geometria de simulação composta por 89.865 células com dimensões variando entre 15 m e 20 m. A área de simulação teve início a montante da confluência entre o rio Doce e rio Piracicaba e terminou logo a jusante do bairro Ilha do rio Doce localizado no município de Caratinga, apresentando extensão de 14,5 km.

Foram utilizados os equacionamentos de *Full Momentum*, que consiste nas equações de Saint Venant que consideram a conservação da massa e do momento. Este equacionamento é mais indicado para as simulações do presente estudo tendo em vista que o rio Doce apresenta trechos de contrações e expansões do leito fluvial e regiões de baixas declividades. Para garantir a convergência computacional do modelo utilizou-se o passo de tempo adaptativo de acordo com o número de Courant. Configurou-se o passo de tempo com valor inicial de 2 segundos podendo variar entre 0,13 s e 32 s com a possibilidade de se realizar no máximo 20 iterações para a convergência. Adotou-se Courant máximo de 3 e mínimo de 1, conforme recomendado no Manual de Modelagem 2D do HEC-RAS (USACE, 2016).

As condições de contorno consideradas incluem as entradas de vazão no rio Doce e rio Piracicaba, além da condição de contorno de jusante representada pela profundidade normal calculada a partir da declividade de 0,0003 m/m. Para definição das vazões de entrada considerou-se a vazão acumulada referente ao ponto de controle 4 no rio Doce e a vazão incremental referente ao ponto de controle 5 no rio Piracicaba. Os valores de vazão inseridos são apresentados na **Tabela 8-22**.

Tabela 8-22 – Vazões de entrada para diferentes cenários de simulação.

Cenário	Vazão acumulada ponto de controle 4	Vazão incremental ponto de controle 5	Vazão total inserida (m ³ /s)
TR2	1195,46	296,35	1491,81
TR5	1765,33	437,62	2202,96
TR10	2196,42	544,49	2740,92
TR25	2766,30	685,76	3452,06
TR50	3197,39	792,63	3990,02
TR100	3628,48	899,50	4527,98
Jan/2016	1004,02	289,92	1293,95
Jan/2020	2491,88	647,50	3139,38

8.3.4 Governador Valadares

A simulação hidrodinâmica na planície fluvial do rio Doce em Governador Valadares considerou fluxo bidimensional e regime de escoamento permanente com a utilização de geometria de simulação composta por 183.808 células com dimensões variando entre 5 m e 20 m, sendo as células de menor dimensão delimitando o leito vazante, ilhas aluviais, diques, rodovias. A área de simulação teve início a montante da sede de Governador Valadares próximo ao bairro Distrito Industrial e terminou a jusante do bairro Chácaras Canaã após o cruzamento do rio Doce com a ferrovia Porto Velho-Itabira, apresentando extensão de 22,6 km.

Foram utilizados os equacionamentos de *Full Momentum*, que consiste nas equações de Saint Venant que consideram a conservação da massa e do momento. Este equacionamento é mais indicado para as simulações do presente estudo tendo em vista que o rio Doce apresenta trechos de contrações e expansões do leito fluvial e regiões de baixas declividades. Para garantir a convergência

computacional do modelo utilizou-se o passo de tempo adaptativo de acordo com o número de Courant. Configurou-se o passo de tempo com valor inicial de 2 segundos podendo variar entre 0,13 s e 32 s com a possibilidade de se realizar no máximo 20 iterações para a convergência. Adotou-se Courant máximo de 3 e mínimo de 1, conforme recomendado no Manual de Modelagem 2D do HEC-RAS (USACE, 2016).

As condições de contorno consideradas incluem a entrada de vazão no rio Doce a montante e condição de contorno de jusante representada pela profundidade normal calculada a partir da declividade de 0,0043 m/m. Para definição da vazão de entrada considerou-se a vazão acumulada referente ao ponto de controle 9. Os valores de vazão inseridos são apresentados na **Tabela 8-23**.

Tabela 8-23 – Vazões de entrada para diferentes cenários de simulação.

Cenário	Vazão inserida (m ³ /s)
TR2	2562,91
TR5	3628,37
TR10	4333,79
TR25	5225,10
TR50	5886,32
TR100	6542,66
Jan/2016	3540,08
Jan/2020	5388,76

8.3.5 Aimorés e Baixo Guandu

A simulação hidrodinâmica na planície fluvial do rio Doce no trecho de Aimorés e de Baixo Guandu considerou fluxo bidimensional e regime de escoamento permanente com a utilização de geometria de simulação composta por 150.103 células com dimensões variando entre 5 m e 20 m, sendo as células de menor dimensão delimitando o leito vazante, ilhas aluviais, diques, rodovias. A área de simulação teve início a montante da confluência entre o rio Doce e o rio Manhuaçu e terminou no barramento da UHE Mascarenhas abrangendo trecho de 21,3 km.

Foram utilizados os equacionamentos de *Full Momentum*, que consiste nas equações de Saint Venant que consideram a conservação da massa e do momento. Este equacionamento é mais indicado para as simulações do presente estudo tendo em vista que o rio Doce apresenta trechos de contrações e expansões do leito fluvial e regiões de baixas declividades. Para garantir a convergência computacional do modelo utilizou-se o passo de tempo adaptativo de acordo com o número de Courant. Configurou-se o passo de tempo com valor inicial de 2 segundos podendo variar entre 0,13 s e 32 s com a possibilidade de se realizar no máximo 20 iterações para a convergência. Adotou-se Courant máximo de 3 e mínimo de 1, conforme recomendado no Manual de Modelagem 2D do HEC-RAS (USACE, 2016).

As condições de contorno consideradas incluem as entradas de vazão pelas estruturas hidráulicas (turbinas e comportas) da UHE Aimorés, pelo rio Manhuaçu e pelo rio Guandu. Como condição de contorno de jusante têm-se o cotograma na UHE Mascarenhas, para os cenários de representação dos TRs notáveis adotou-se o NA Max Maximorum da UHE Mascarenhas como condição de jusante e para os eventos de Jan/2016 e Jan/2020 adotou-se valores de NA de acordo com o histórico de operação da barragem (**Tabela 8-2** e **Tabela 8-3**).

Para esse trecho em específico foram estabelecidas duas configurações, sendo que a primeira configuração considerou a vazão de restrição da UHE Aimorés, soma da componente vertida e da componente do rio Manhuaçu, igual a 3.600m³/s. Por outro lado, a segunda configuração não considerou a vazão de restrição. Nessa situação a vazão vertida é referente a 80% da vazão afluente e a vazão turbinada é referente aos outros 20%, percentuais estabelecidos conforme análise do histórico de operação da UHE Aimorés. De modo a caracterizar as contribuições dos rios Manhuaçu e Guandu foram inseridas as vazões incrementais referentes aos pontos de controle 14 e 15 respectivamente. Os valores de vazão inseridos no modelo são apresentados nas **Tabela 8-24**, **Tabela 8-25** e **Tabela 8-26**.

Tabela 8-24 – Vazões de entrada para a primeira configuração – Vazão de restrição igual a 3600m³/s.

Cenário	Qturb (m ³ /s)	Qvert (m ³ /s)	QManhuaçu (m ³ /s)	QGuandu (m ³ /s)
TR2	489,12	3167,85	432,15	120,22
TR5	2189,05	2988,20	611,80	170,19
TR10	3314,56	2869,25	730,75	203,28
TR25	4736,63	2718,97	881,03	245,09
TR50	5791,61	2607,47	992,53	276,10
TR100	6838,80	2496,80	1103,20	306,89

Tabela 8-25 – Vazões de entrada para a segunda configuração – Vazão vertida é 80% da vazão afluente e vazão turbinada é 20%.

Cenário	Qturb (m ³ /s)	Qvert (m ³ /s)	QManhuaçu (m ³ /s)	QGuandu (m ³ /s)
TR2	731,39	2925,58	432,15	120,22
TR5	1035,45	4141,80	611,80	170,19
TR10	1236,76	4947,05	730,75	203,28
TR25	1491,12	5964,48	881,03	245,09
TR50	1679,82	6719,27	992,53	276,10
TR100	1867,12	7468,48	1103,20	306,89

Tabela 8-26 – Vazões de entrada para os eventos Jan/2016 e Jan/2020.

Cenário	Qturb (m ³ /s)	Qvert (m ³ /s)	QManhuaçu (m ³ /s)	QGuandu (m ³ /s)
Jan/2016	0,00	3757,00	162,59	45,98
Jan/2020	981,00	3819,00	144,78	41,16

8.3.6 Distrito de Itapina - Colatina

A simulação hidrodinâmica na planície fluvial do rio Doce no distrito de Itapina, em Colatina, considerou fluxo bidimensional e regime de escoamento permanente com a utilização de geometria de simulação composta por 29.259 células com dimensões variando entre 5 m e 20 m, sendo as células de menor dimensão delimitando o leito vazante, ilhas aluviais, diques, rodovias. O trecho modelado abrangeu 5,4 km.

Foram utilizados os equacionamentos de *Full Momentum*, que consiste nas equações de Saint Venant que consideram a conservação da massa e do momento. Este equacionamento é mais indicado para as simulações do presente estudo tendo em vista que o rio Doce apresenta trechos de contrações

e expansões do leito fluvial e regiões de baixas declividades. Para garantir a convergência computacional do modelo utilizou-se o passo de tempo adaptativo de acordo com o número de Courant. Configurou-se o passo de tempo com valor inicial de 2 segundos podendo variar entre 0,13 s e 32 s com a possibilidade de se realizar no máximo 20 iterações para a convergência. Adotou-se Courant máximo de 3 e mínimo de 1, conforme recomendado no Manual de Modelagem 2D do HEC-RAS (USACE, 2016).

As condições de contorno consideradas incluem a entrada de vazão no rio Doce a montante e condição de contorno de jusante representado pela profundidade normal calculada a partir da declividade de 0,0006 m/m. Para definição da vazão de entrada considerou-se a vazão acumulada referente ao ponto de controle 16. Os valores de vazão inseridos são apresentados na **Tabela 8-27**.

Tabela 8-27 – Vazões de entrada para diferentes cenários de simulação.

Cenário	Vazões (m³/s)
TR2	4294,62
TR5	6079,98
TR10	7262,05
TR25	8755,59
TR50	9863,59
TR100	10921,38
Jan/2016	4169,63
Jan/2020	5942,11

8.3.7 Colatina

A simulação hidrodinâmica na planície fluvial do rio Doce em Colatina considerou fluxo bidimensional e regime de escoamento permanente com a utilização de geometria de simulação composta por 124.606 células com dimensões variando entre 10 m e 20 m, sendo as células de menor dimensão delimitando o leito vazante, ilhas aluviais, diques, rodovias. A área de simulação teve início a montante da sede de Colatina próximo ao bairro Columbia e terminou a jusante do distrito de Barbados apresentando extensão de 17,7 km.

Foram utilizados os equacionamentos de *Full Momentum*, que consiste nas equações de Saint Venant que consideram a conservação da massa e do momento. Este equacionamento é mais indicado para as simulações do presente estudo tendo em vista que o rio Doce apresenta trechos de contrações e expansões do leito fluvial e regiões de baixas declividades. Para garantir a convergência computacional do modelo utilizou-se o passo de tempo adaptativo de acordo com o número de Courant. Configurou-se o passo de tempo com valor inicial de 2 segundos podendo variar entre 0,13 s e 32 s com a possibilidade de se realizar no máximo 20 iterações para a convergência. Adotou-se Courant máximo de 3 e mínimo de 1, conforme recomendado no Manual de Modelagem 2D do HEC-RAS (USACE, 2016).

As condições de contorno consideradas incluem a entrada de vazão no rio Doce a montante e condição de contorno de jusante representado pela profundidade normal calculada a partir da declividade de 0,0003 m/m. Para definição da vazão de entrada considerou-se a vazão acumulada referente ao ponto de controle 17. Os valores de vazão inseridos são apresentados na **Tabela 8-28**.

Tabela 8-28 – Vazões de entrada para diferentes cenários de simulação.

Cenário	Vazões (m ³ /s)
TR2	4398,37
TR5	6226,87
TR10	7437,50
TR25	8967,12
TR50	10101,89
TR100	11171,51
Jan/2016	4209,74
Jan/2020	5978,13

8.3.8 Linhares e foz

A simulação hidrodinâmica na planície fluvial do rio Doce em Linhares considerou fluxo bidimensional e regime de escoamento permanente com a utilização de geometria de simulação composta por células com dimensões variando entre 10 m e 80 m. A área de simulação teve início na

sede de Linhares logo a montante da ponte sobre o rio Doce e terminou na seção SC-30 localizada na foz. Ao todo, o trecho simulado apresenta cerca de 50 km de extensão.

A abrangência da malha com relação à planície de inundação e número de células variou de acordo com a magnitude da vazão inserida, sendo: 375.874 células (TR2), 505.754 células (TR5 e TR10), 690.634 células (TR25, TR50 e TR100) 406.249 células (Jan/2016) e 500.835 células (Jan/2020). Foram incluídas na malha computacional *break lines* delimitando leito vazante, ilhas aluviais e barras arenosas, pontes, diques, rodovias. Na região da topografia LiDAR as células apresentam dimensão máxima de 40 m. Na região da topografia do IEMA, mais próxima do rio Doce as células apresentam dimensão de 60 m e nas regiões mais afastadas as células apresentam dimensão de 80 m.

Foram utilizados os equacionamentos de *Full Momentum*, que consiste nas equações de Saint Venant que consideram a conservação da massa e do momento. Este equacionamento é mais indicado para as simulações do presente estudo tendo em vista que o rio Doce apresenta trechos de contrações e expansões do leito fluvial e regiões de baixas declividades. Para garantir a convergência computacional do modelo utilizou-se o passo de tempo adaptativo de acordo com o número de Courant. Configurou-se o passo de tempo com valor inicial de 2 segundos podendo variar entre 0,13 s e 32 s com a possibilidade de se realizar no máximo 20 iterações para a convergência. Adotou-se Courant máximo de 3 e mínimo de 1, conforme recomendado no Manual de Modelagem 2D do HEC-RAS (USACE, 2016).

As condições de contorno consideradas incluem a entrada de vazão no rio Doce e condição de contorno de jusante representado pela profundidade conhecida de 0,7 m calculada por meio de dados de nível de água da estação RDO-16. Para definição da vazão de entrada considerou-se a vazão acumulada referente ao ponto de controle 19. Os valores de vazão inseridos são apresentados na **Tabela 8-29**.

Tabela 8-29 – Vazões de entrada para diferentes cenários de simulação.

Cenário	Vazões (m³/s)
TR2	4621,22
TR5	6542,35
TR10	7814,32
TR25	9421,44
TR50	10613,70
TR100	11797,15
Jan/2016	4296,59
Jan/2020	6056,29

Com relação à lagoa Monsarás, conforme explicitado no item 6.8.2, sua batimetria não foi contemplada no modelo tendo em vista que a lagoa recebe contribuições de vazão de outras fontes além do rio Doce. Portanto, a área alagada no entorno da lagoa está condicionada ao nível de água da lagoa no período de cheia e condições de transbordamento para o mar.

Tendo em vista que não há monitoramento de nível de água na lagoa Monsarás, optou-se por considerar o nível equivalente à cota de 0,7 m, adotada para a foz do rio doce. Este valor foi incorporado como elevação no MDT. Além disso, como a topografia LiDAR não há representação de canais estreitos para conexão com o oceano, foi inserida como condição de contorno de jusante na lagoa uma curva cota x descarga sobre o dique de areia entre esta e o oceano de modo a simular seu transbordamento. Para o cálculo da curva cota x descarga adotou-se a equação de vertedouro não controlado com largura efetiva equivalente à largura do dique de areia, coeficiente de descarga equivalente a 1,6 e elevação mínima equivalente a 4,5 correspondendo à elevação do dique de areia.

8.3.9 Trecho T13 a T16

A simulação hidrodinâmica do trecho T13 a T16 considerou fluxo unidimensional e regime de escoamento permanente com a utilização de geometria de simulação composta por 180 seções topobatimétricas levantadas ao longo do rio Doce. Além disso, foram utilizadas 385 seções interpoladas, com menores espaçamentos em regiões de mudanças significativas no talvegue do manancial e espaçamentos maiores em regiões com formato mais homogêneo de talvegue. As Usinas

Hidroelétricas de Baguari, Aimorés e Mascarenhas foram representadas por meio de estruturas de barramento (*inline structures*) com dados geométricos correspondentes aos descritos nos documentos técnicos fornecidos pelos respectivos órgãos responsáveis.

As condições de contorno externas consideradas incluem a profundidade normal como contorno de montante e o nível de água conhecido equivalente a 0,7 m como contorno de jusante na foz do rio Doce, conforme descrito no item 8.1.4. As vazões do modelo foram inseridas de acordo com os pontos de controle apresentados no item 7.2.1. Dessa maneira, as confluências com os mananciais afluentes ao rio Doce foram representadas por meio de acréscimos de vazão. Os diagramas das **Figura 8-18**, **Figura 8-19** e **Figura 8-20** demonstram a localização dos pontos de controle assim como a aplicação das condições de contorno.

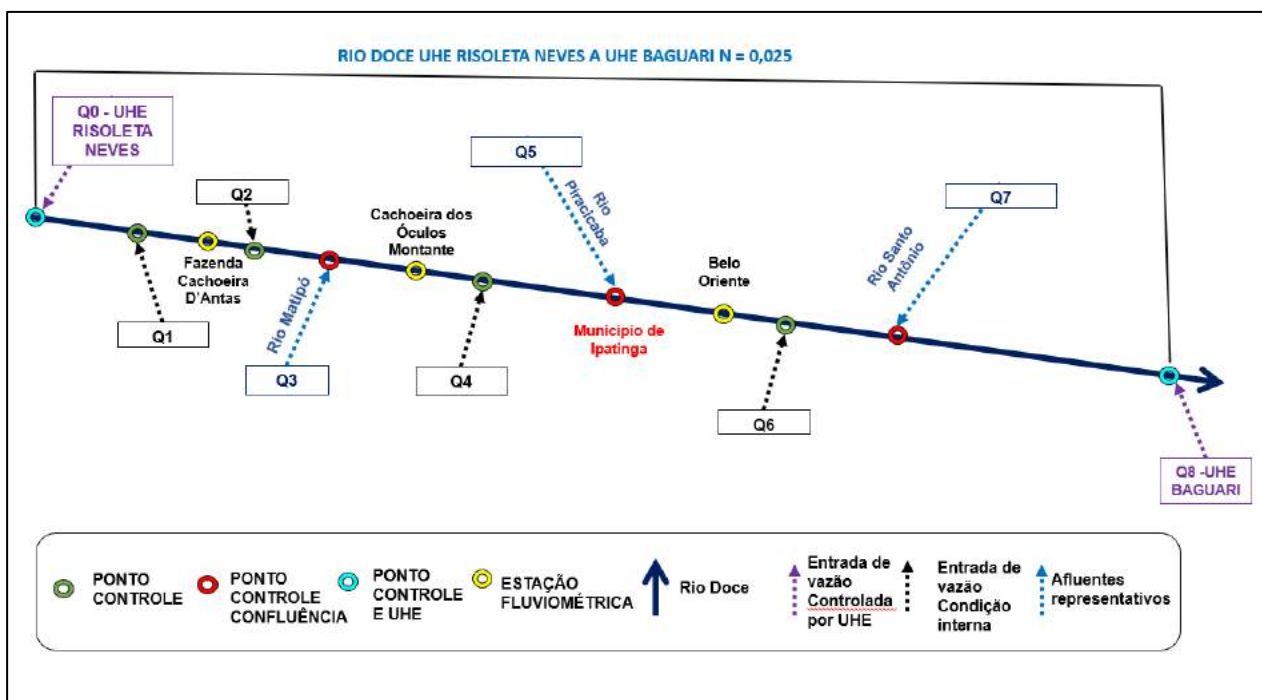


Figura 8-18 – Esquema de modelo: UHE Risoleta Neves a UHE Baguari.

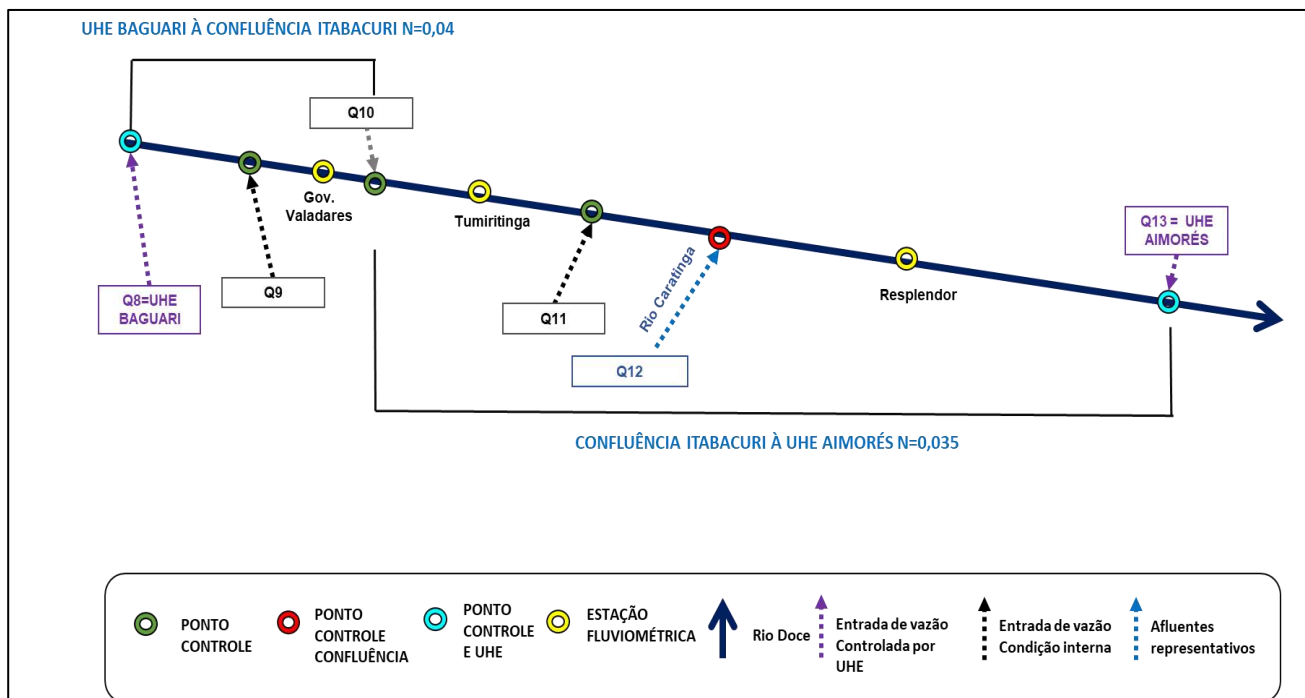


Figura 8-19 - Esquema de modelo: UHE Baguari a UHE Aimorés.

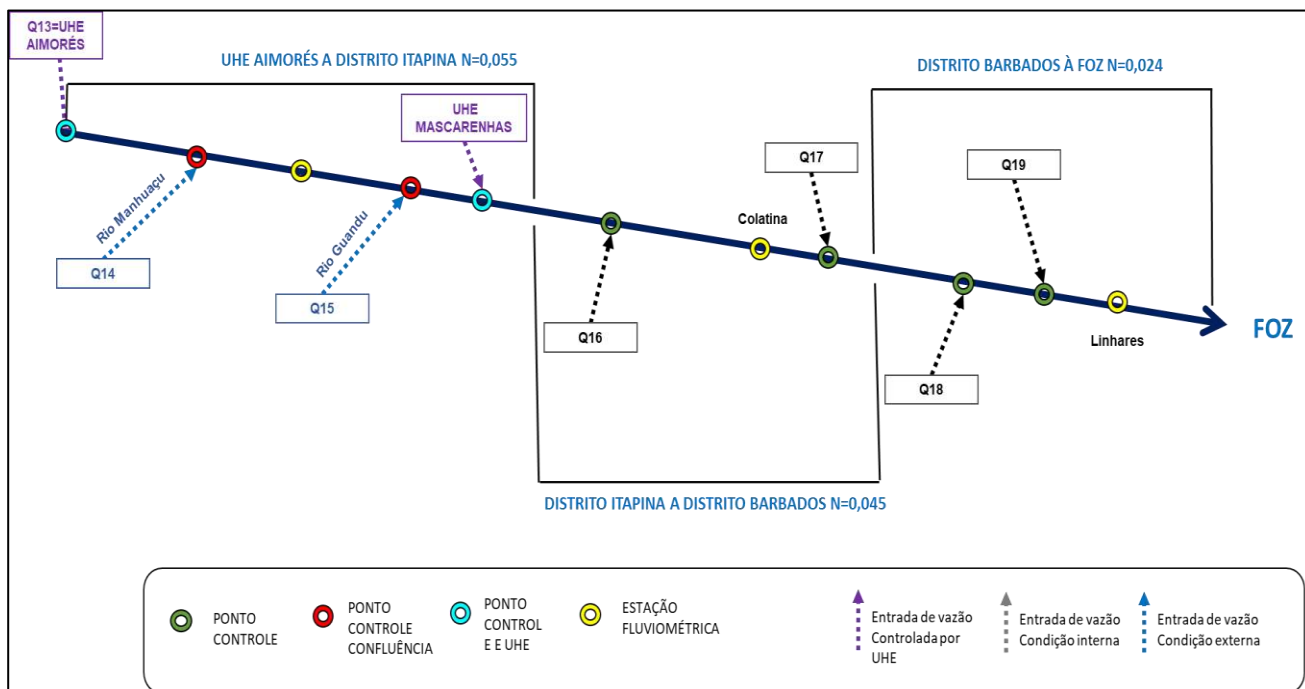


Figura 8-20 - Esquema de modelo: UHE Aimorés a Foz do rio Doce.

8.4 Resultados das Simulações Hidrodinâmicas

Neste capítulo serão apresentados os resultados das simulações hidrodinâmicas de acordo com os ofícios FEAM/CT – GRSA n.º 62/2020 e n.º 10/2021, a Nota Técnica n.º 7/2021 e a Deliberação n.º 497/2021 contemplando: modelo unidimensional que abrange toda a área de estudo e modelos bidimensionais que abrangem separadamente sedes municipais e distritos ao longo do rio Doce.

A análise de resultados buscou evidenciar os impactos gerados nas simulações dos eventos de janeiro de 2016 e janeiro de 2020, identificando as principais estruturas urbanas atingidas pelas manchas de inundação simuladas, os registros jornalísticos e imagens de sensoriamento remoto. No Apêndice 12.7 são apresentados os registros jornalísticos analisados. As manchas e os mapas elaborados para a envoltória, profundidade e velocidade máximas em cada um dos cenários de simulação são apresentados no Apêndice 12.5, enquanto o resultado das seções transversais estão apresentados no Apêndice 12.6.

8.4.1 Considerações sobre registros de inundações em imagens de sensoriamento remoto

As imagens de sensoriamento remoto utilizadas para comparação de resultados neste estudo são provenientes dos satélites Landsat 5, Landsat 7, Landsat 8 e Sentinel 2 que se encontram disponíveis gratuitamente no portal *Earth Explorer*, propriedade do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). As imagens do satélite Landsat apresentam resolução espacial de 30 metros enquanto as imagens do satélite Sentinel apresentam resolução espacial de 10 metros.

No portal *Earth Explorer* encontram-se disponíveis os arquivos raster de cada banda dos satélites e as imagens geradas pela composição de bandas (coloração Natural), denominadas *LandsatLook Natural Color* (satélite Landsat) e *L1C Tile* no formato JPEG2000 (satélite Sentinel 2). Estas imagens de falsa coloração natural enfatizam a vegetação e são geradas pela composição RGB das bandas do infra-vermelho médio (*Red*), infra-vermelho próximo (*Green*) e vermelho – visível (*Blue*). A **Figura 8-21** apresenta a comparação entre a composição RGB de coloração natural das bandas do visível (Vermelho, Verde e Azul) e as imagens de falsa coloração natural mencionadas.

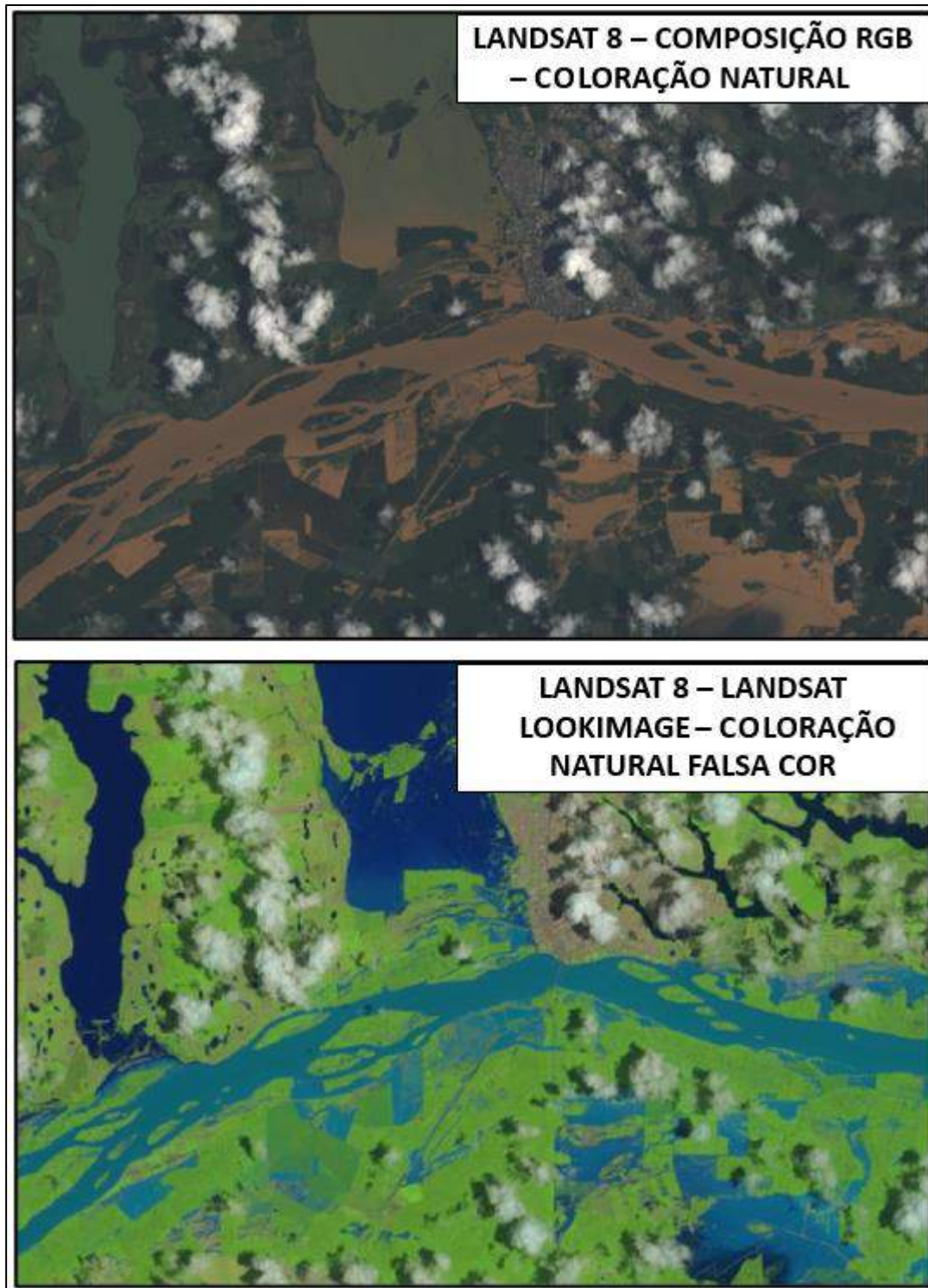


Figura 8-21 – Comparação entre diferentes composições da imagem Landsat 8: coloração natural e coloração natural falsa cor (Lookimage).

Conforme é possível visualizar na **Figura 8-21**, a imagem falsa cor, escolhida para a realização das análises dos resultados das simulações hidrodinâmicas, destaca melhor a vegetação e a água, facilitando a identificação de áreas inundadas. Além disso, nota-se que a coloração azul clara representa água com elevada concentração de sedimentos em suspensão que são transportados pelo rio Doce. Por outro lado, a coloração azul escuro indica regiões inundadas ou lagoas onde não há elevada concentração de sedimentos, representando regiões não atingidas pela água que transborda da calha do rio Doce.

É importante destacar que em regiões de vegetação densa não é possível identificar a presença de água e, portanto, regiões de vegetação densa cercadas por água certamente são regiões também inundadas (**Figura 8-22**). Em locais onde a planície de inundação apresenta apenas vegetação densa, não é possível identificar registros de transbordamentos, como ocorre no Parque Estadual do Rio Doce que margeia o rio Doce. Além das variações da cor azul, áreas inundadas podem ser representadas pela coloração marrom escuro em imagens que retratam o período pós inundação, conforme ilustrado na **Figura 8-23**.

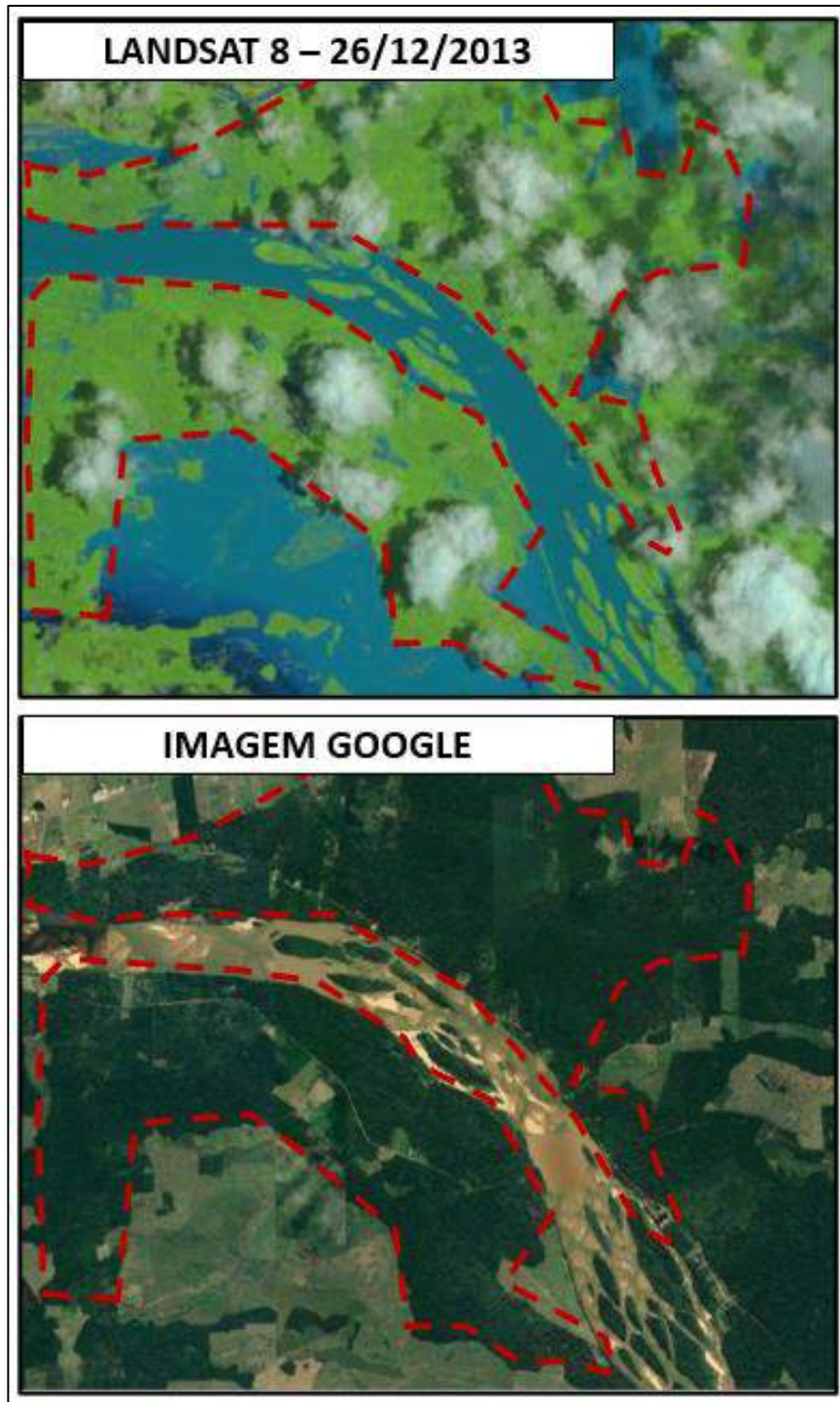


Figura 8-22 – Ilustração de áreas de vegetação densa cercadas por áreas onde é possível visualizar presença de água.

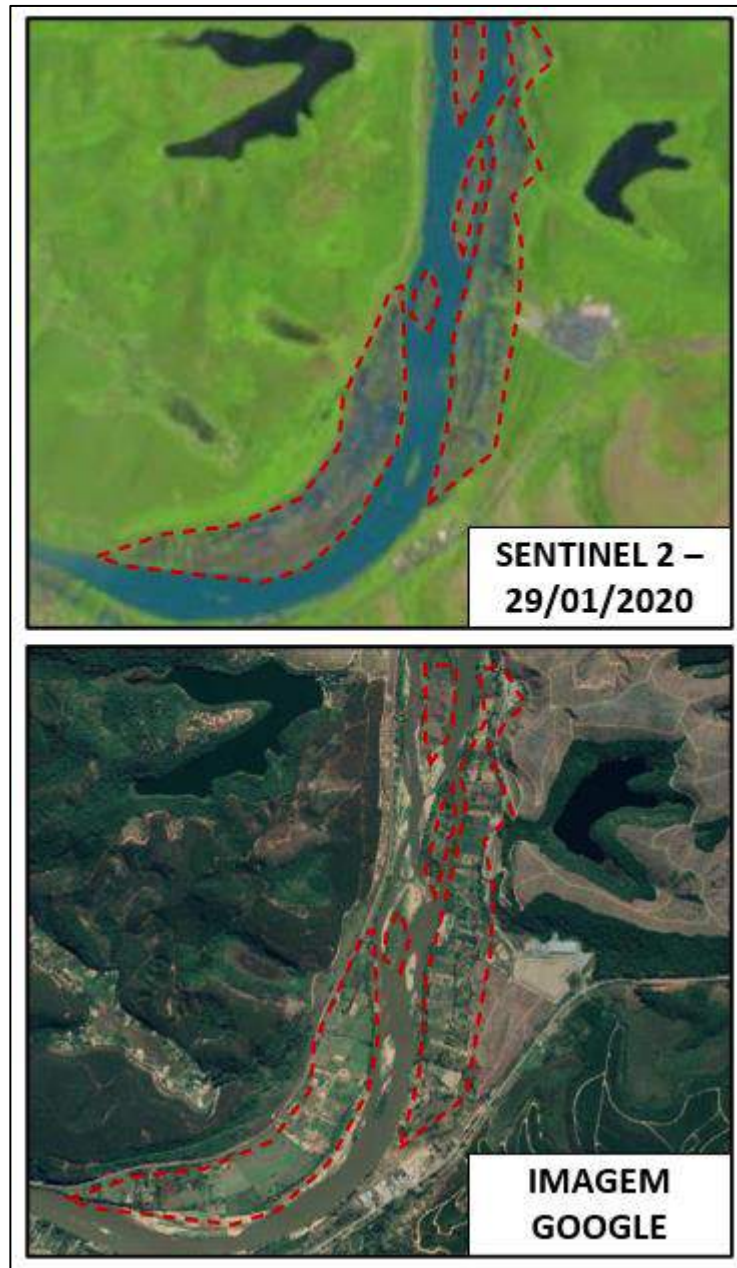


Figura 8-23 – Imagem Sentinel 2 do dia 29/01/2020 representando áreas que foram inundadas na coloração marrom escuro após evento de inundação.

8.4.2 Ipatinga

Os resultados obtidos na modelagem do município de Ipatinga para o cenário do evento hidrológico de janeiro de 2016 apontam que o rio Doce se manteve dentro de sua calha natural em todo trecho em análise.

Por outro lado, os resultados de inundação para a cheia do evento de 2020 foram muito mais severos. Nesse caso, o transbordamento próximo a confluência com o rio Piracicaba avançou de forma expressiva em uma região com cobertura vegetal. O trecho próximo a confluência do rio Doce com o Ribeirão Ipanema também apresentou extravasamentos tanto na margem esquerda como na margem direita, atingindo parte da Estação de Tratamento de Esgotos de Ipatinga. Além disso, o trecho a jusante da ponte, na saída leste do município, apresentou extravasamentos severos atingindo todas as edificações localizadas entre o condomínio Recanto do Pássaros e o rio Doce, na margem direita do manancial. O trecho final do modelo também teve fortes extravasamentos na margem direita, contudo atingiu uma maior área com cobertura vegetal e poucas residências.

O bairro Ilha do Rio Doce, localizado no município de Caratinga, apresenta registros de reportagens que relatam alagamentos na região. Especificamente em 2020, a reportagem do G1 datada de 28/01/2020 apresentou a seguinte manchete: “Depois de alerta para evacuação, bairro Ilha do Rio Doce possui 250 desalojados em Caratinga“. Segundo a reportagem a água do rio cobriu residências até o telhado e muitos moradores perderam praticamente todos os bens. Os principais endereços afetados foram das ruas 1 e 4.

Além dos registros jornalísticos, também foram utilizadas imagens de satélite para validar os resultados obtidos. Para a cheia de janeiro de 2016, os registros referentes à data de cheia possuem muita nebulosidade sobre o município impedindo a visualização. Entretanto, sabe-se que nas estações Fazenda Cachoeira D'Antas, Cachoeira dos Óculos Montante e Belo Oriente o pico de vazão registrado em dezembro de 2016 foi próximo ao pico registrado em janeiro de 2016 (**Tabela 8-30**). A imagem registrada pelo satélite Sentinel 2 em 20/12/2016 apresenta o rio Doce contido em sua calha natural em praticamente todo o trecho, conforme foi observado na mancha de inundação da cheia de janeiro de 2016 (**Figura 8-24**).

Tabela 8-30 – Picos de Vazão semelhantes em janeiro e dezembro de 2016 para as estações Fazenda Cachoeira D'Antas, Cachoeira dos Óculos Montante e Belo Oriente.

	Estação	Jan/2016	Data	Dez/2016	Data
56425000	Fazenda Cachoeira D'Antas	558,92	18/01/2016	592,38	16/12/2016
56539000	Cachoeira dos Óculos Montante	682,25	20/01/2016	891,98	16/12/2016
56719998	Belo Oriente	1225,46	19/01/2016	1348,95	17/12/2016

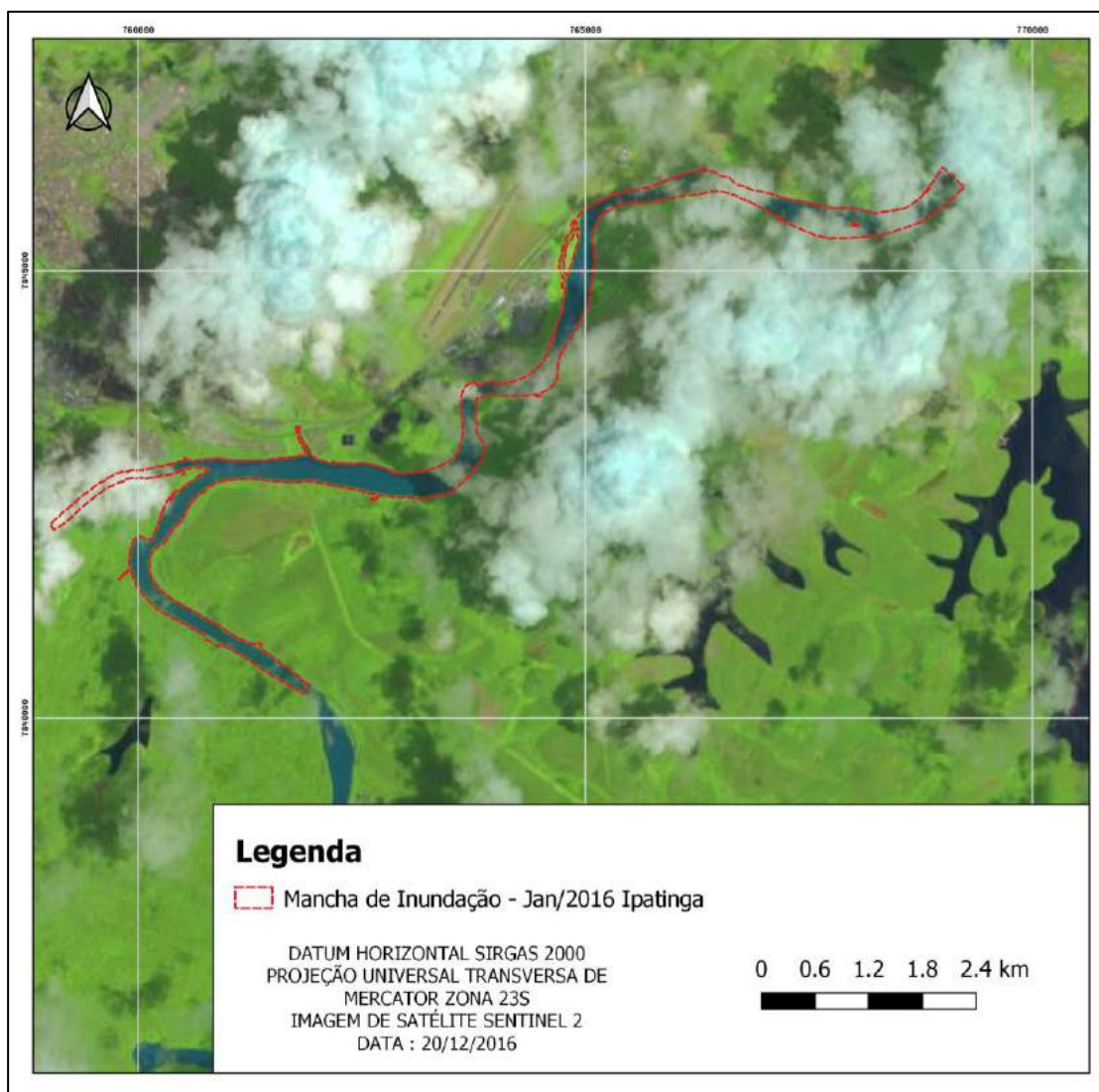


Figura 8-24 – Comparação entre a mancha de inundação simulada para Jan/2016 e imagem registrada em 20/12/2016 em Ipatinga.

As imagens registradas pelo satélite Landsat 8 em 26/01/2020 e 29/01/2020, assim como os resultados do presente estudo, apontam para transbordamentos do rio Doce, ocorrendo principalmente em sua margem esquerda ao final do trecho de simulação e no bairro Ilha do rio Doce onde é possível ver marcas de inundação (**Figura 8-25** e **Figura 8-26**).

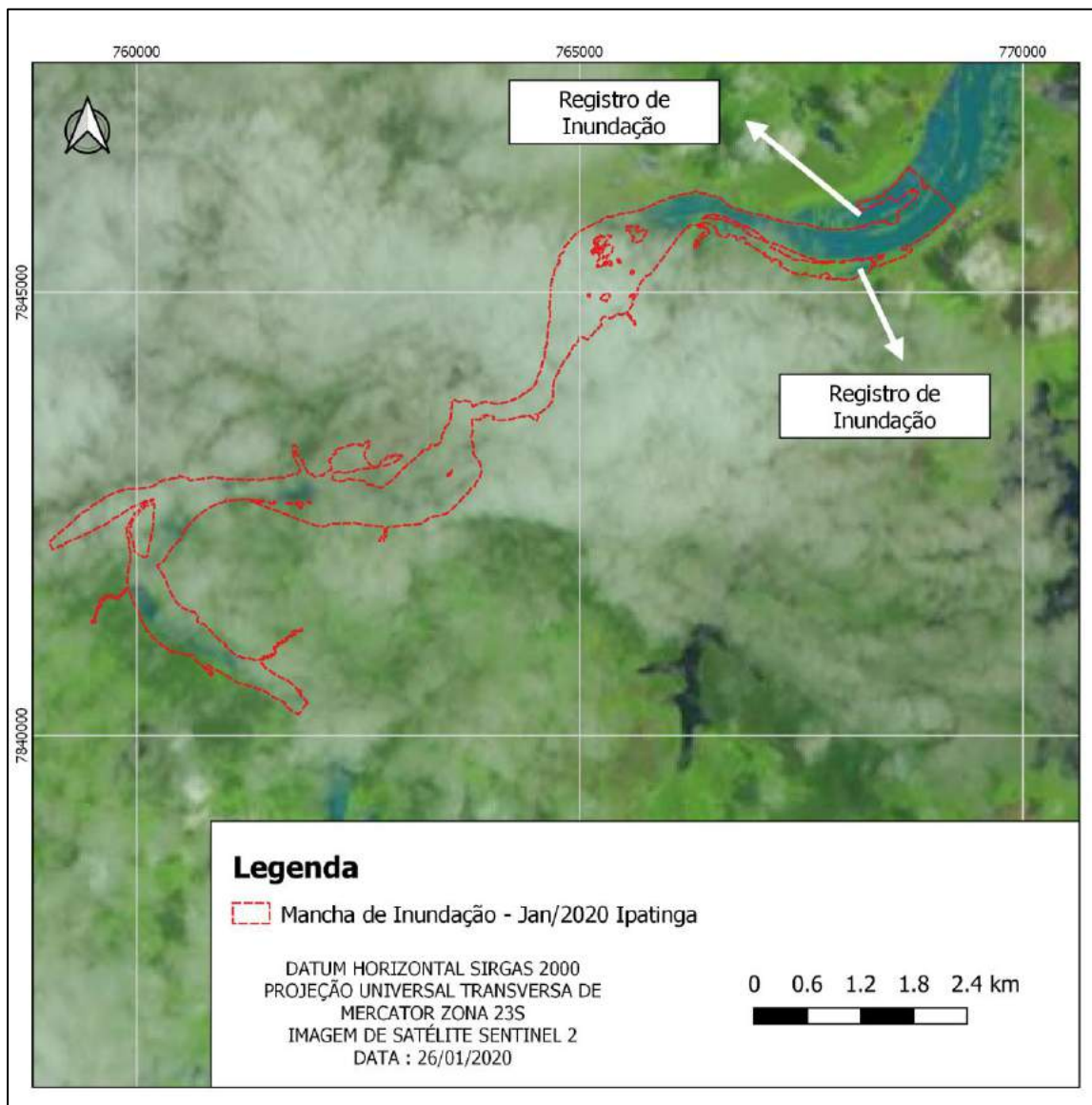


Figura 8-25 - Comparação entre a mancha de inundação simulada para Jan/2020 e imagem registrada em 26/01/2020 em Ipatinga.

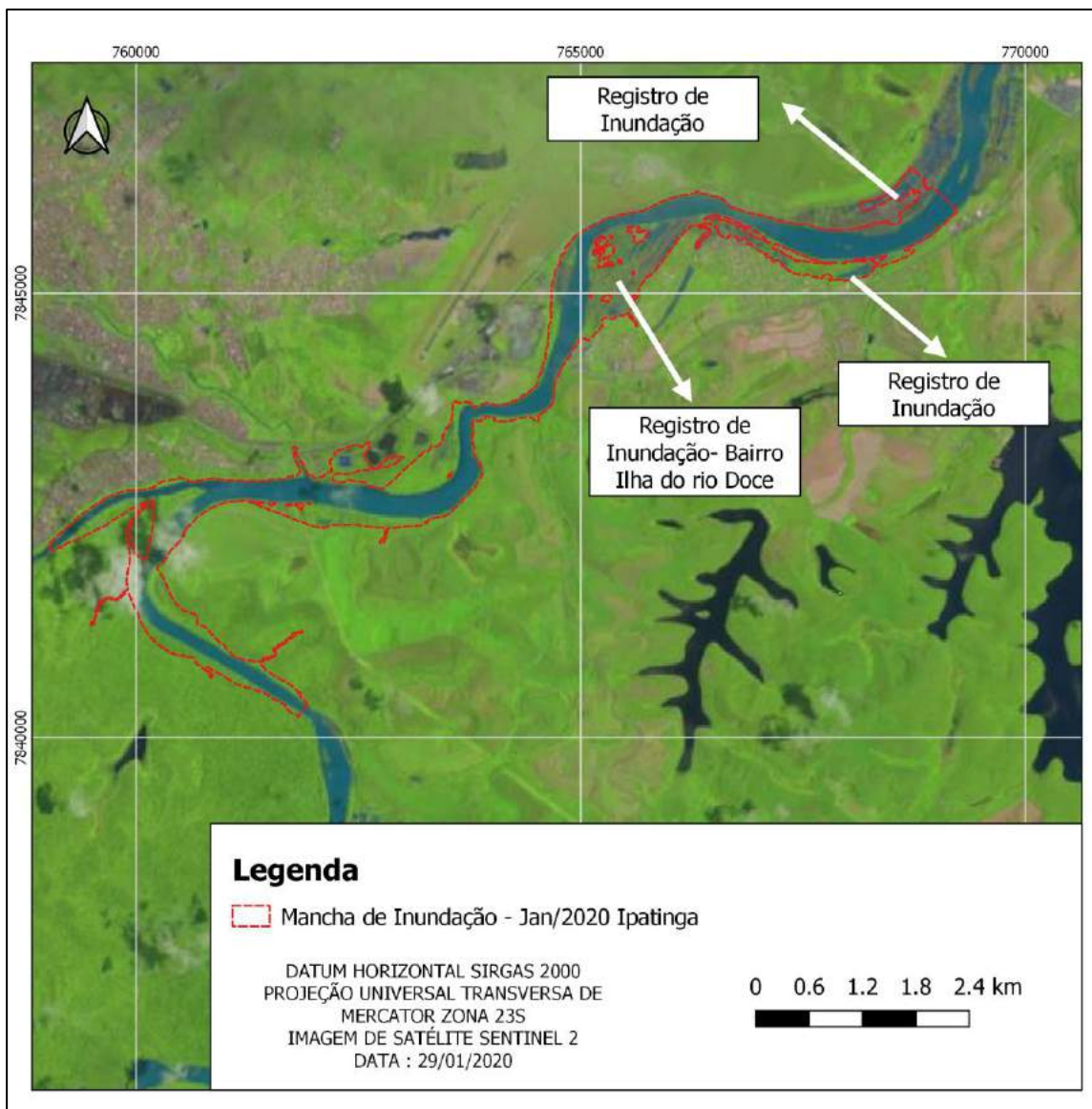


Figura 8-26 - Comparação entre a mancha de inundação simulada para Jan/2020 e imagem registrada em 29/01/2020 em Ipatinga.

8.4.3 Governador Valadares

Os resultados obtidos na modelagem do município de Governador Valadares para o cenário do evento hidrológico de janeiro de 2016 apontam o transbordamento do rio Doce nos bairros Santa Rita, Jardim Alice/JK, JK II, São Paulo, Ilha dos Araújos, São Tarcísio, São Pedro, Esplanadinha, Universitário e Chácara Boa Sorte. Segundo a Defesa Civil do município, no evento de Jan/2016 os

bairros mais atingidos pela cheia foram: Santa Rita, JK I, II e III, São Paulo, Santa Terezinha, São Tarcísio, São Pedro e Ilha dos Araújos. O município entrou em estado de alerta e a água do rio Doce chegou na iminência de inundar outros bairros ribeirinhos da sede. Segundo reportagens do portal G1 e Prefeitura Municipal, os bairros Jardim Alice/JK e Universitário também foram atingidos. A casa de bombas da Estação de Tratamento de Água - ETA do bairro Vila Isa foi atingida.

Para o evento de janeiro de 2020, os resultados de inundação indicam que diversas áreas urbanas são atingidas. Os bairros de Santa Rita, Vale Pastoril, Jardim Alice/JK, JK II, São Paulo, Esplanadinha, São Pedro, Universitário e Santos Dumont I, na margem esquerda do rio Doce, são impactados de forma acentuada. Além disso, a região da Ilha dos Araújos é fortemente inundada. Outros bairros atingidos de forma menos acentuada são: Santa Terezinha, São Tarcísio e Elvamar. Algumas regiões inundadas são a Universidade Vale do Rio Doce (UNIVALE) e o Parque de Exposição de Governador Valadares.

Os resultados obtidos na simulação do cenário de Jan/2020 podem ser identificados em registros de reportagens do portal G1 e de notas da prefeitura de Governador Valadares. Conforme nota divulgada pela Prefeitura, os bairros atingidos foram: São Pedro, Santa Rita, JK I e II, Nova Santa Rita, Ilha dos Araújos e Santa Terezinha, São Paulo, Santos Dumont, Universitário e São Tarcísio. Cerca de 50 mil pessoas foram impactadas e, a prefeitura do município decretou estado de calamidade pública. O abastecimento de água foi parcialmente comprometido, em razão da inoperância de algumas bombas.

Os Boletins do Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do rio Doce para as cheias de janeiro de 2016 e janeiro de 2020 (**Figura 8-27** e **Figura 8-28**) indicam que em ambos os eventos a cota registrada na estação telemétrica ultrapassou o limite da cota de inundação definida pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. Nota-se que a cheia de 2020 registrou pico de elevação mais elevado.

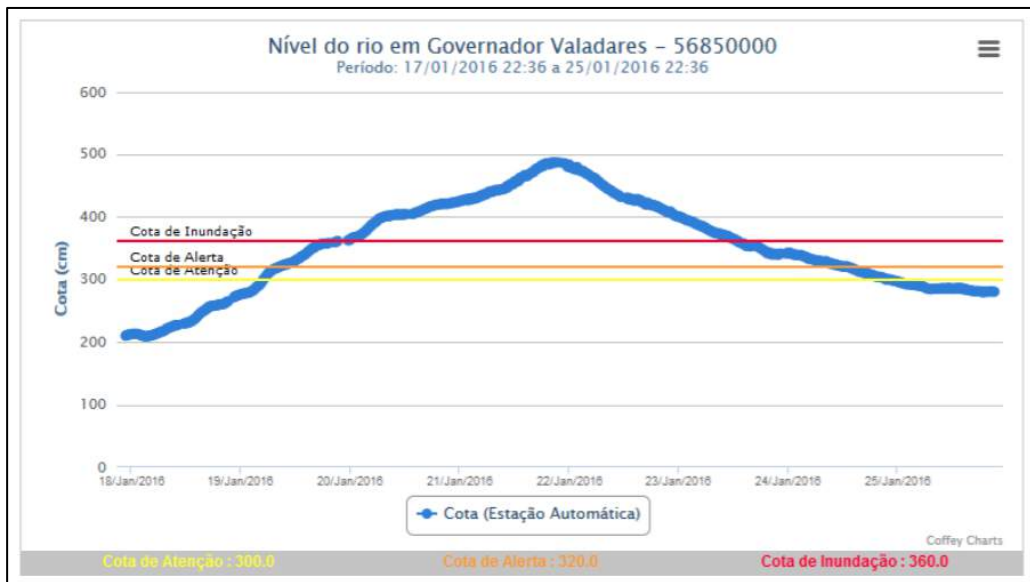


Figura 8-27 – Cotagrama da cheia de 2016. **Fonte:** CPRM (2016b)

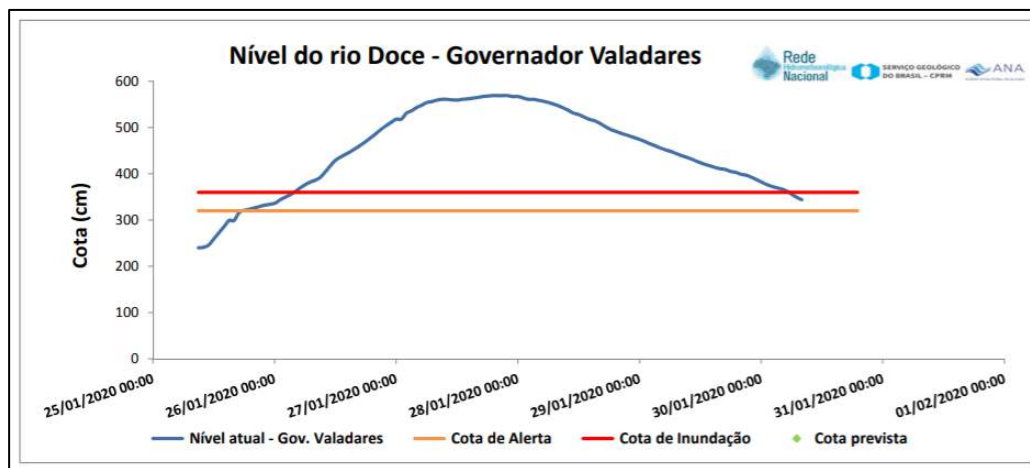


Figura 8-28 - Cotagrama da cheia de 2020. **Fonte:** CPRM (2020).

Ao se comparar os resultados das simulações para os tempos de retorno notáveis com os resultados demonstrados no relatório de Definição da Planície de Inundação de Governador Valadares (CPRM, 2004), nota-se que os resultados são semelhantes. Para o tempo de retorno de 2 anos, ambos os mapas apresentam o escoamento contido na calha natural em praticamente todo o trecho do município. Para o tempo de retorno de 5 anos, são identificadas áreas inundáveis comuns em bairros

como Jardim Alice, Santa Terezinha e São Paulo. A principal divergência entre os dois mapeamentos ocorre na Ilha dos Araújos tendo em vista que os resultados obtidos para o presente estudo apontam para inundações em uma área significativa do bairro, ao passo que o estudo da CPRM não aponta para transbordamentos nessa região. Para os tempos de retorno de 50 e 100 anos foram obtidos resultados bastante próximos nos dois estudos, com os principais transbordamentos ocorrendo na margem esquerda do manancial.

Além dos registros apresentados acima, também foram utilizadas imagens de satélite para validar os resultados obtidos. Para o evento de cheia de janeiro de 2016, as imagens de satélite não oferecem registros em Governador Valadares devido a presença de nebulosidade. Para o evento de cheia de 2020, a imagem registrada pelo satélite Sentinel 2 em 29/01/2020 apresenta um maior avanço do escoamento tanto na margem esquerda como na margem direita do rio Doce. Assim como apresentado no presente estudo são identificados diversos trechos com transbordamentos.

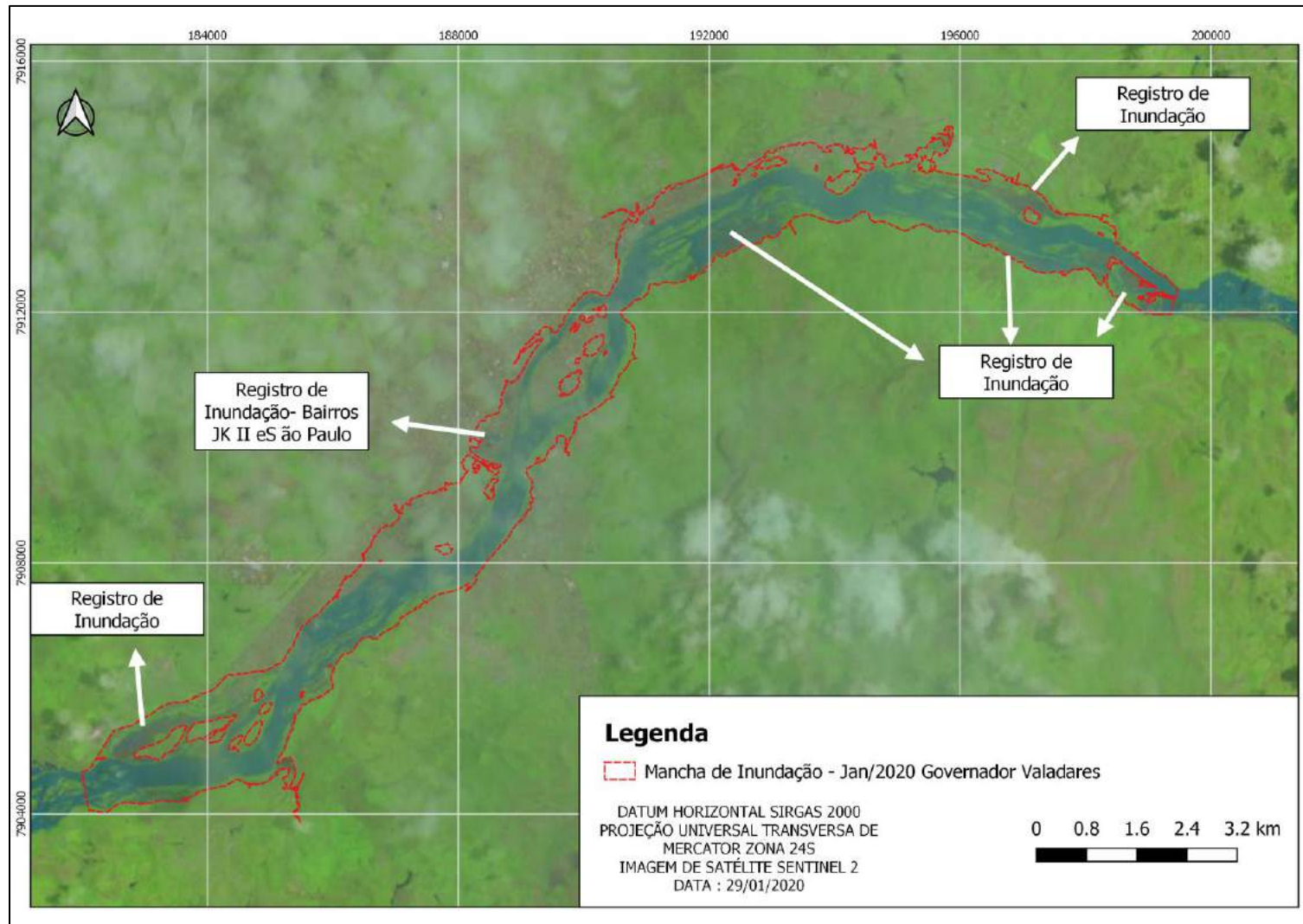


Figura 8-29 - Comparação entre a mancha de inundação simulada para Jan/2020 e imagem registrada em 29/01/2020 em Governador Valadares.

8.4.4 Aimorés e Baixo Guandu

Os resultados obtidos na modelagem do município de Aimorés e Baixo Guandu para o cenário do evento hidrológico de janeiro de 2016 apontam inundações no entorno do rio Manhuaçu, no bairro Barra do Manhuaçu, no distrito de Santo Antônio do rio Doce e em áreas agropastoris: a montante da confluência entre o rio Doce com o Rio Manhuaçu na margem esquerda; e a jusante da confluência com o rio Guandu na margem direita. Os bairros Barra do Manhuaçu e Distrito de Santo Antônio do Rio Doce são referidos como locais de risco de inundação segundo o mapeamento de risco elaborado pela CPRM (2014), entretanto, não foram encontrados registros jornalísticos de enchente nestas localidades em janeiro de 2016.

Para o cenário de janeiro de 2020, os resultados apontam para a ocorrência de inundação no bairro Barra do Manhuaçu e no distrito de Santo Antônio do Rio Doce, locais que foram citados na reportagem do G1 de 27 de janeiro de 2020 intitulada: “Aimorés tem inundação e se prepara para abertura de comporta de Usina Hidrelétrica nesta terça-feira (28)”. No dia 28 de janeiro de 2020, segundo reportagem do Jornal Hoje em Dia a UHE Aimorés realizou a abertura de duas comportas o que elevaria a vazão de 3.200 para 6.000 m³/s segundo a reportagem supracitada do G1. Este cenário de abertura de 2 comportas não foi simulado, entretanto estima-se que ele seja semelhante à mancha de período de retorno de 25 anos, cuja vazão vertida corresponde à 5.964,48 conforme explicitado no item 8.3.5.

É importante ressaltar que para a condição de atendimento à vazão de restrição equivalente à 3.600 m³/s o centro de Aimorés não é atingido, conforme esperado. São atingidos o bairro de Barra do Manhuaçu e o distrito de Santo Antônio do Rio Doce que são locais já conhecidos como áreas de risco de inundações mapeadas pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM.

Além dos registros acima citados, também foram utilizadas imagens de satélite para validar os resultados obtidos. Assim como identificado nos resultados da simulação do cenário de 2016, as imagens registradas pelo satélite Landsat 8 em 24/01/2016 apontam para um escoamento contido na calha natural do rio Doce (**Figura 8-30**). Para o evento de cheia de 2020, não foi possível analisar a distribuição do escoamento devido à obstrução das imagens por nuvens.

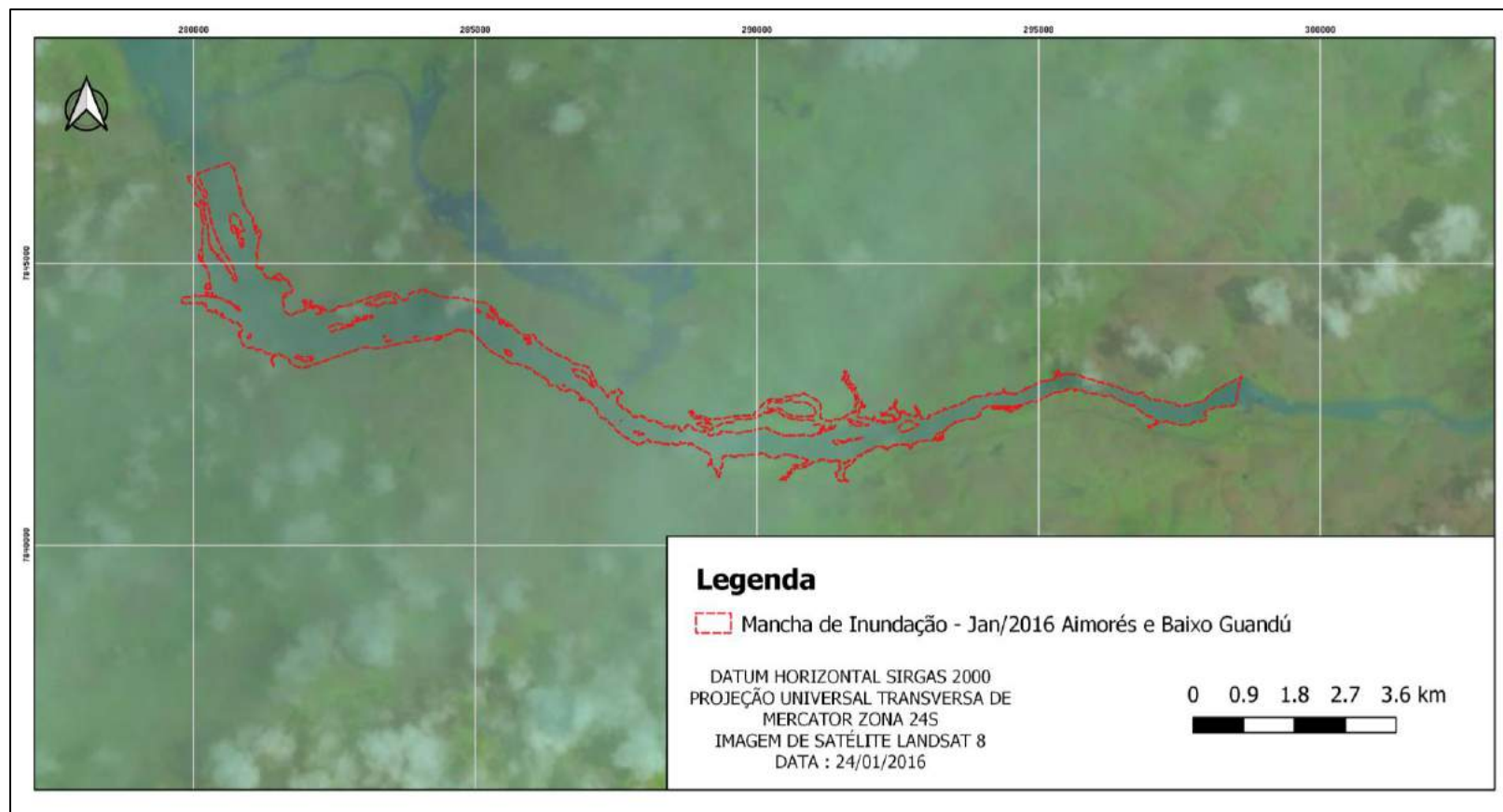


Figura 8-30 - Comparação entre a mancha de inundação simulada para Jan/2016 e imagem registrada em 24/01/2016 em Aimorés e Baixo Guandú.

8.4.5 Distrito de Itapina - Colatina

Os resultados obtidos na modelagem do distrito de Itapina localizado no município de Colatina para o cenário do evento de janeiro de 2016 apontam para poucos transbordamentos na margem direita do rio Doce, onde são identificados extravasamentos após a confluência com o rio Laje que levam o rio Doce a iminência de atingir a malha ferroviária da região. Os resultados obtidos para o cenário da cheia de 2020 apontam que o escoamento continua contido a calha na margem esquerda do talvegue, porém os transbordamentos na margem direita são acentuados, atingindo uma maior área de cobertura vegetal, mas não alcançando a ferrovia da região. Esse cenário obteve resultados de extravasamentos bastante próximos aos de tempo de retorno de 5 anos.

Assim como identificado nos resultados da simulação do cenário de 2016, as imagens registradas pelo satélite Landsat 8 em 24/01/2016 (**Figura 8-31**) e em 19/01/2020 (**Figura 8-32**) apontam para um escoamento contido na calha natural do rio Doce com avanços sobre regiões de bancos de areia principalmente na margem esquerda. O distrito de Itapina não é atingido assim como apontado pelos resultados do presente estudo.

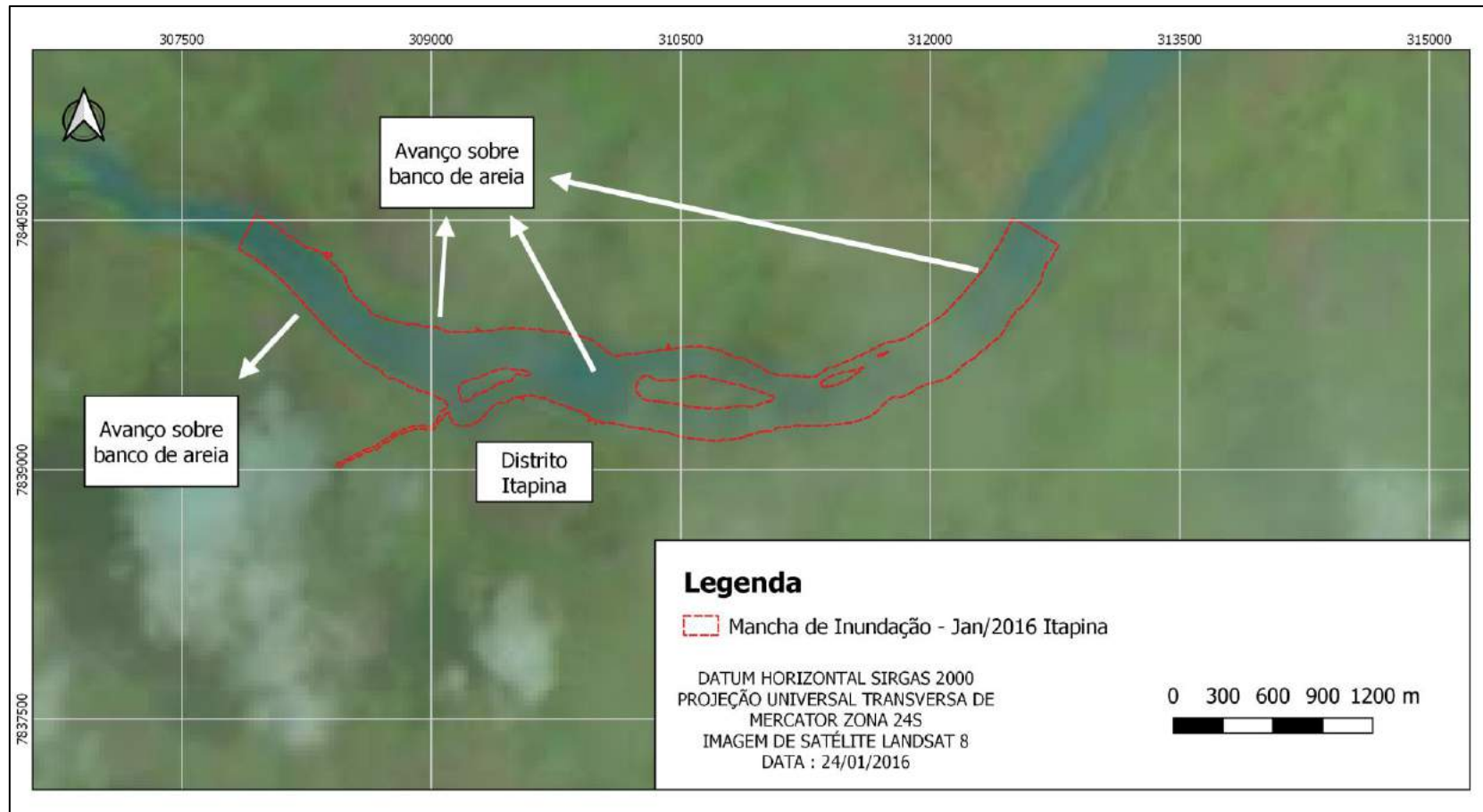


Figura 8-31 - Comparação entre a mancha de inundação simulada para Jan/2016 e imagem registrada em 24/01/2016 em Itapina.

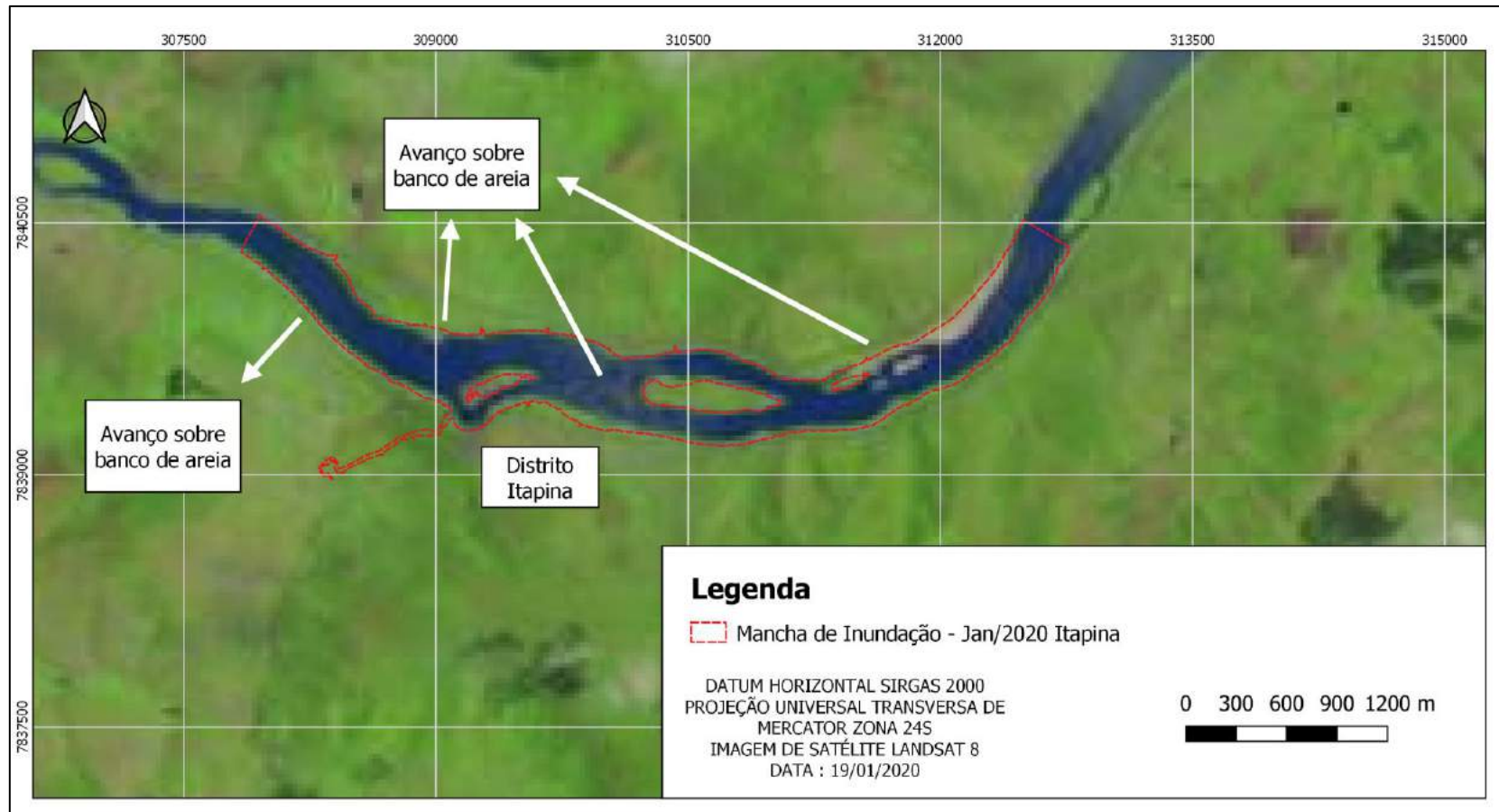


Figura 8-32 - Comparação entre a mancha de inundação simulada para Jan/2020 e imagem registrada em 19/01/2020 em Itapina.

8.4.6 Colatina

Os resultados obtidos na modelagem do município de Colatina para o evento chuvoso de janeiro de 2016 novamente apontam para poucas áreas de extravasamento da calha do rio Doce. Pequenas áreas são inundadas essencialmente na margem esquerda do manancial atingindo os bairros Maria das Graças, Lacê, Honório Fraga, Martineli e São Braz. Tais transbordamentos ocupam áreas agropastoris às margens do rio Doce de modo que as envoltórias de inundação se encontram nos limites entre as áreas agropastoris e as áreas urbanas. Não foram encontrados registros jornalísticos referentes a enchentes na sede municipal de Colatina em Jan/2016, apenas a indicação de que o rio atingiu a cota de inundação.

Os resultados obtidos para o cenário de janeiro de 2020 apontam para a ocorrência de inundação em diversas regiões. Os principais bairros atingidos são Honório Fraga, Martineli, São Braz, Centro, Lacê, Castelo Branco, Maria das Graças, Adélia Gilberti, Marista, Esplanada e Colatina Velha. A simulação ainda aponta o extravasamento do rio Santa Maria do Doce, afluente do rio Doce, provocando alagamentos de regiões nos bairros de Adélia Giuberti, Esplanada. De forma análoga, os resultados apontam uma tendência de inundação do bairro Mário Giurizatto na confluência com o rio Pancas. Segundo reportagem do G1 de manchete “Rio Doce ultrapassa cota de inundação em Colatina, ES” publicada no dia 27 de janeiro de 2020 menciona rua atingida entre os bairros Marista e Esplanada.

Ao se comparar os resultados das simulações para os tempos de retorno notáveis com os resultados demonstrados no relatório de Definição da Planície de Inundação de Colatina (CPRM, 2016), nota-se que os resultados são semelhantes. Para o tempo de retorno de 2 anos, foram obtidos resultados próximos, com extravasamentos localizados principalmente nos bairros de Honório Fraga, Martineli e Maria das Graças. Para o tempo de retorno de 5 anos, os extravasamentos expressivos na margem esquerda do manancial ocorrem nos dois estudos. A principal divergência entre os dois mapeamentos nesse cenário ocorreu na margem direita do manancial, tendo em vista que o estudo anterior não apontou inundações nos bairros de Vila Nova, Centro e Colatina Velha. Para os tempos de retorno de 50 e 100 anos, os resultados obtidos pelos dois estudos foram bastante próximos, não ocorrendo discrepâncias significativas de áreas inundadas.

Os Boletins do Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do rio Doce para as cheias de janeiro de 2016 e janeiro de 2020 (**Figura 8-34** e **Figura 8-35**) indicam que em ambos os eventos a cota registrada na estação telemétrica ultrapassou o limite da cota de inundação definida pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. Nota-se que a cheia de 2020 registrou pico de elevação mais elevado.



Figura 8-33 - Cotograma da cheia de 2016. **Fonte:** CPRM (2016b).

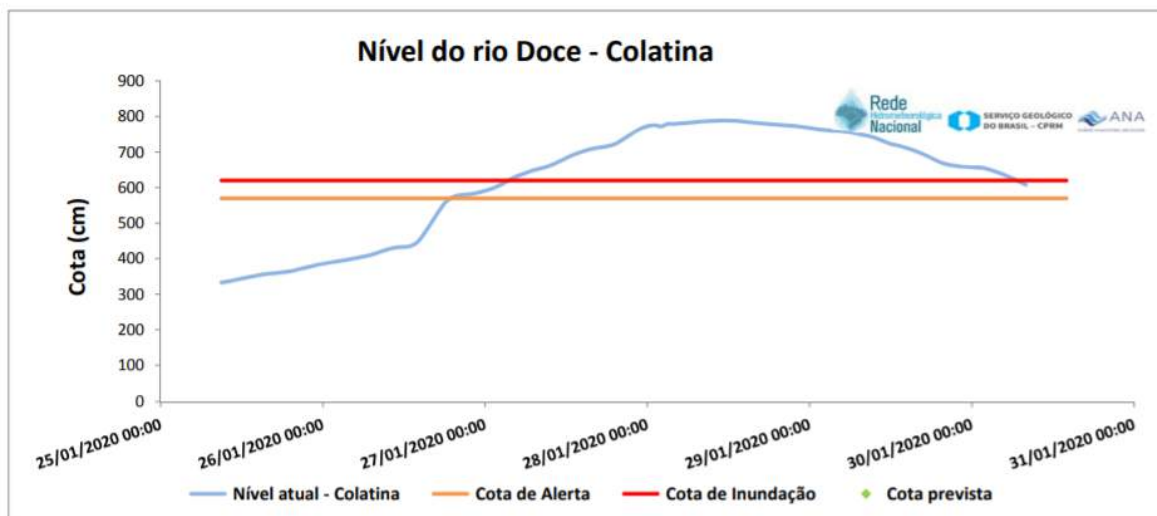


Figura 8-34 - Cotograma da cheia de 2020. **Fonte:** CPRM (2020).

Além dos registros jornalísticos, também foram pesquisadas imagens de satélite para validar os resultados obtidos. Para o evento de janeiro de 2016, a imagem do Satélite Landsat 8 registrada em 24/01/2016 demonstra transbordamento na margem esquerda a montante da sede municipal e nos bairros São Braz, Martineli e Maria das Graças. Para o evento de 2020, não foi possível analisar as imagens de satélite devido à obstrução por nuvens.

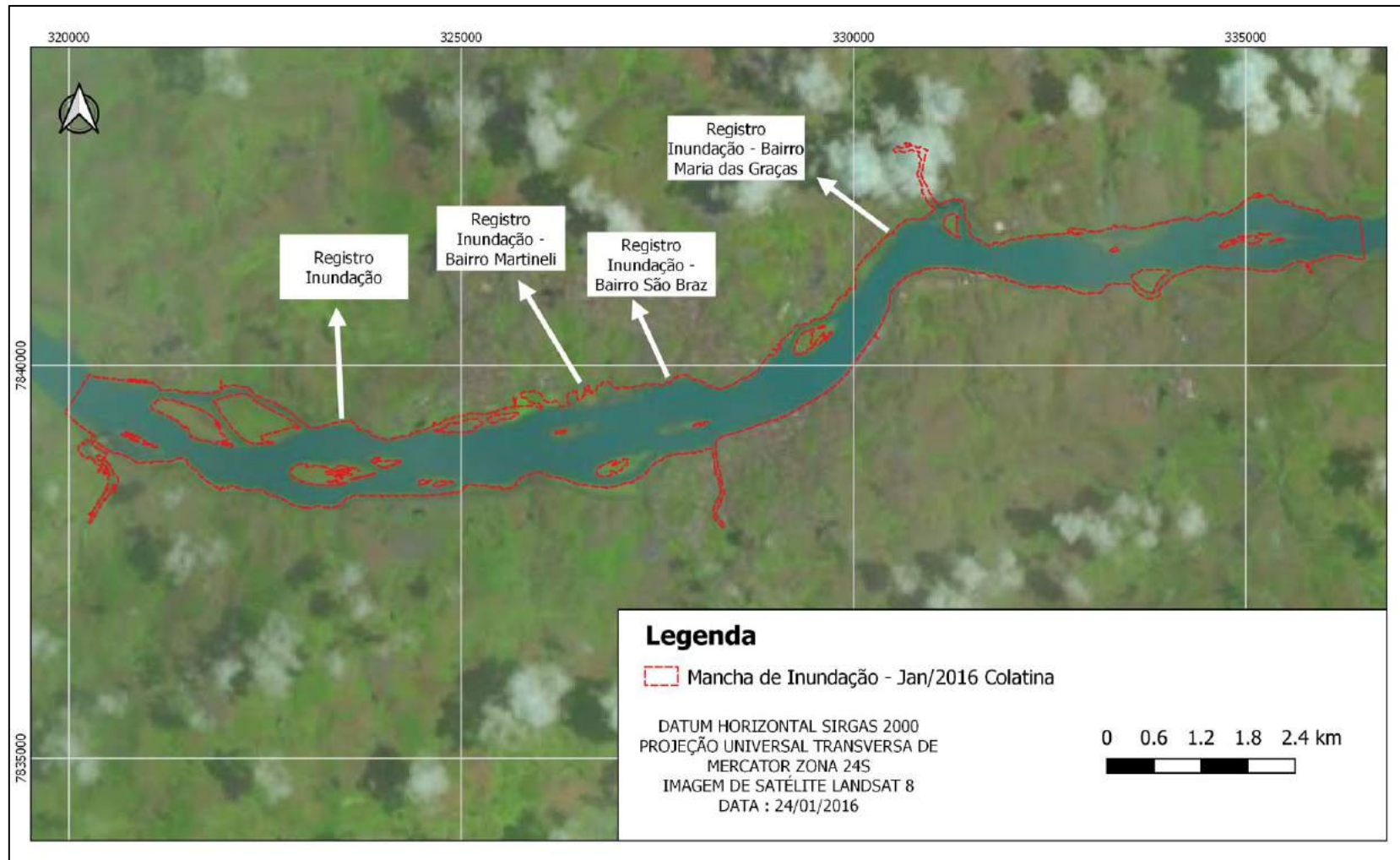


Figura 8-35 - Comparação entre a mancha de inundação simulada para Jan/2016 e imagem registrada em 24/01/2016 em Colatina.

8.4.7 Linhares e foz

Os resultados obtidos para o cenário de cheia de janeiro 2016 na região de Linhares apontam para um escoamento contido na calha natural do manancial na maior parte do trecho. Extravasamentos são identificados próximos à sede de Linhares em áreas de vegetação densa nas margens esquerda e direita, na região das lagoas Areão (Pandolfi) e Areal e na região a montante do povoado de Regência situada na margem direita do rio Doce. Na Lagoa de Monsarás, o escoamento advindo do rio Doce transborda se aproximando da rodovia ES-010. Além disso, conforme esperado de acordo com o item 6.8.2, não ocorre o transbordamento da lagoa Monsarás para o oceano. Neste cenário, a área inundada é pouco inferior à de tempo de retorno de 2 anos.

Os resultados obtidos para o evento de cheia de janeiro de 2020 indicaram transbordamentos em diversos trechos do modelo. O escoamento avança na margem esquerda do manancial atingindo amplamente a rodovia estadual ES-248 no trecho que conecta o município de Linhares ao povoado de Povoação. Nas proximidades da foz do rio Doce ocorrem transbordamentos acentuados tanto na margem direita do manancial, a montante do povoado de Regência, como na margem esquerda, atingindo uma vasta área do entorno da Lagoa de Monsarás. Não ocorre o transbordamento da lagoa Monsarás para o oceano. No povoado de Povoação o escoamento atinge as regiões mais próximas da margem do rio Doce, como o entorno da rua Beira Rio e da rua Ricardo Ferreira Leite. Neste cenário, os impactos gerados foram ligeiramente inferiores aos resultados referentes ao tempo de retorno de 5 anos.

Com relação aos registros dos eventos em reportagens e notícias, em 2016, segundo notícia da Folha Vitória, 10 famílias ficaram desalojadas e foi realizada a reabertura da barra sul da foz do rio, localizada na vila de Regência. Em 2020, segundo reportagem do portal G1 de manchete “Nível do Rio Doce diminui, mas comunidades continuam alagadas em Linhares, ES”, a rodovia ES-248 que liga o distrito de Povoação até o centro de Linhares foi inundada chegando à profundidade de 70 cm. Além disso, a água do rio chegou à iminência de inundar o residencial Rio Doce localizado no bairro Aviso. De acordo com a mesma reportagem, a comunidade Areal foi atingida e permaneceu alagada no dia 29/01/2020. Outros locais atingidos incluem o bairro Olaria e o distrito de povoação. Após a cheia de 2020, segundo portal de notícias da Prefeitura Municipal de Linhares e portal de notícias Radar

Capixaba, a boca da barra foi aberta na tarde de terça-feira do dia 28/01/2020 para escoar água proveniente da cheia do rio Doce. A mancha de inundação simulada está de acordo com estes registros, na qual observamos a inundação da rodovia ES-248, comunidade Areal e distrito de Povoação. A mancha simulada não atingiu o residencial rio Doce, mas se aproximou de seus limites, conforme registrado.

Os Boletins do Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do rio Doce para as cheias de janeiro de 2016 e janeiro de 2020 (**Figura 8-36** e **Figura 8-37**) indicam que em ambos os eventos a cota registrada na estação telemétrica ultrapassou o limite da cota de inundação definida pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. Nota-se que a cheia de 2020 registrou pico de elevação mais elevado.

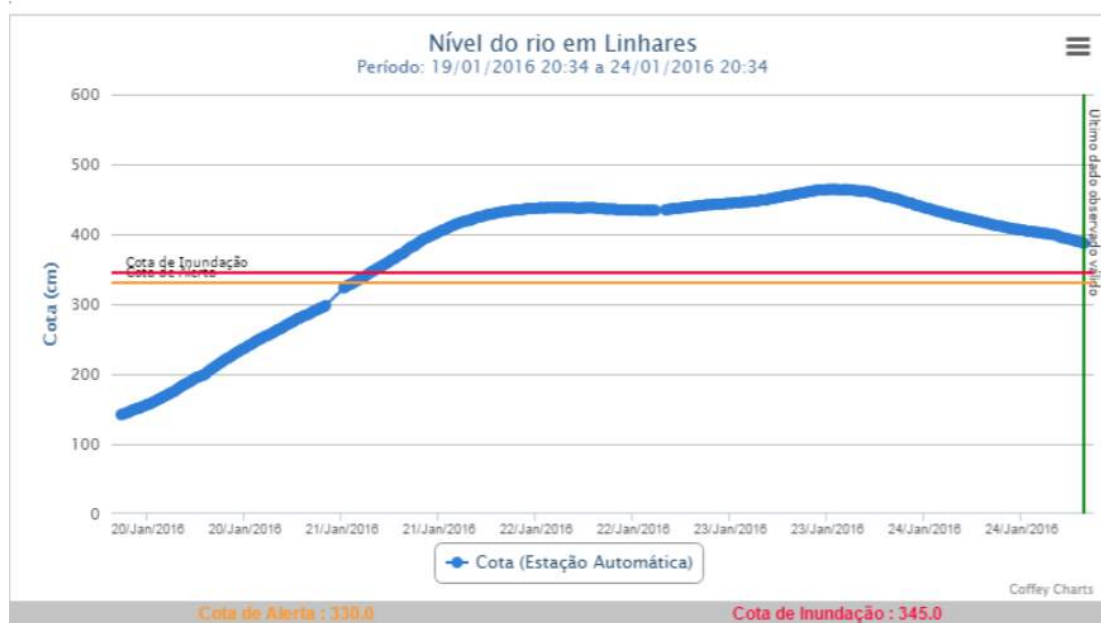


Figura 8-36 - Cotagrama da cheia de 2016. **Fonte:** CPRM (2016b).



Figura 8-37 - Cotograma da cheia de 2020. **Fonte:** CPRM (2020).

Além dos registros jornalísticos, também foram pesquisadas imagens de satélite para validar os resultados obtidos. Para o evento de janeiro 2016, não foi possível analisar as imagens de satélite devido à obstrução por nuvens. Para o evento de janeiro de 2020 as imagens do satélite Landsat 8 em 28/01/2020 (**Figura 8-38**) são bastante obstruídas por nuvens, porém os trechos visíveis apontam para menores transbordamentos do rio Doce em comparação com as imagens de outras datas. Nota-se que a mancha de inundação não avançou para regiões mais afastadas onde se encontram a lagoa Zacarias na margem esquerda e o rio Riacho na margem direita.

Além das imagens de satélite acima citadas, também foram utilizadas as imagens do satélite Landsat 7 no dia 21/01/2003, Landsat 5 no dia 03/01/2011 e Landsat 8 no dia 26/12/2013 (**Figura 8-39**, **Figura 8-40** e **Figura 8-41**). Estas datas foram marcadas por fortes eventos de cheia na região, principalmente o dia 26/12/2013 na qual registra-se efeitos de uma cheia de tempo de retorno de 100 anos aproximadamente de acordo com a série histórica de medição da estação Colatina. A **Tabela 8-31** apresenta a comparação entre os registros de imagens de satélite e manchas de inundação simuladas. Conforme explicitado no item 8.4.1, a coloração azul clara representa água com elevada concentração de sedimentos em suspensão que são transportados pelo rio Doce. Por outro lado, a coloração azul

escuro indica regiões inundadas ou lagoas onde não há elevada concentração de sedimentos, representando regiões não atingidas pela água que transborda da calha do rio Doce. É importante destacar que em regiões de vegetação densa, não é possível identificar a presença de água e, portanto, regiões de vegetação densa cercadas por água certamente são regiões também inundadas.

Tabela 8-31 – Comparação entre os registros de imagens de satélite e manchas de inundação simuladas.

Data da Imagem de Satélite	Satélite	Vazão registrada na estação fluviométrica convencional Colatina (m ³ /s)	Tempo de retorno aproximado (anos)	Comparações com os cenários simulados
21/01/2003	Landsat 7 ETM	5.761 em 21/01/2003 e 7.566 em 19/01/2003	entre 5 e 10	Mancha semelhante ao cenário do evento de Jan/2020
03/01/2011	Landsat 5	6.998 em 01/01/2011	10	Mancha semelhante ao cenário TR 10
26/12/2013	Landsat 8 OLI/TIRS	11.655 em 24/12/2013	100	Muito semelhante ao cenário TR 100
28/01/2020	Landsat 8 OLI/TIRS	5.502 em 28/01/2020	5	Devido à nebulosidade não foi possível avaliar semelhança, entretanto, nota-se transbordamentos inferiores às demais datas.

A imagem do dia 21/01/2003 (**Figura 8-39**) apresenta registros de inundação semelhantes à mancha do cenário de Jan/2020. De acordo com a imagem, as regiões mais afastadas como lagoa Zacarias e rio Riacho não são atingidos enquanto as lagoas Zacarias, Monsarás, Areal e Areão que se encontram mais próximas são atingidas pela inundação. A imagem do dia 03/01/2011 (**Figura 8-40**) se assemelha à mancha de TR 10 anos e apresenta maior avanço da mancha de inundação principalmente na margem esquerda em direção ao rio Riacho. Na margem direita, a nebulosidade impede a identificação da extensão da área inundada. A imagem do dia 26/12/2013 (**Figura 8-41**) se assemelha a mancha de TR 100 anos. Nota-se que a coloração de água azul clara delimita o avanço da água do rio Doce repleta de sedimentos em suspensão.

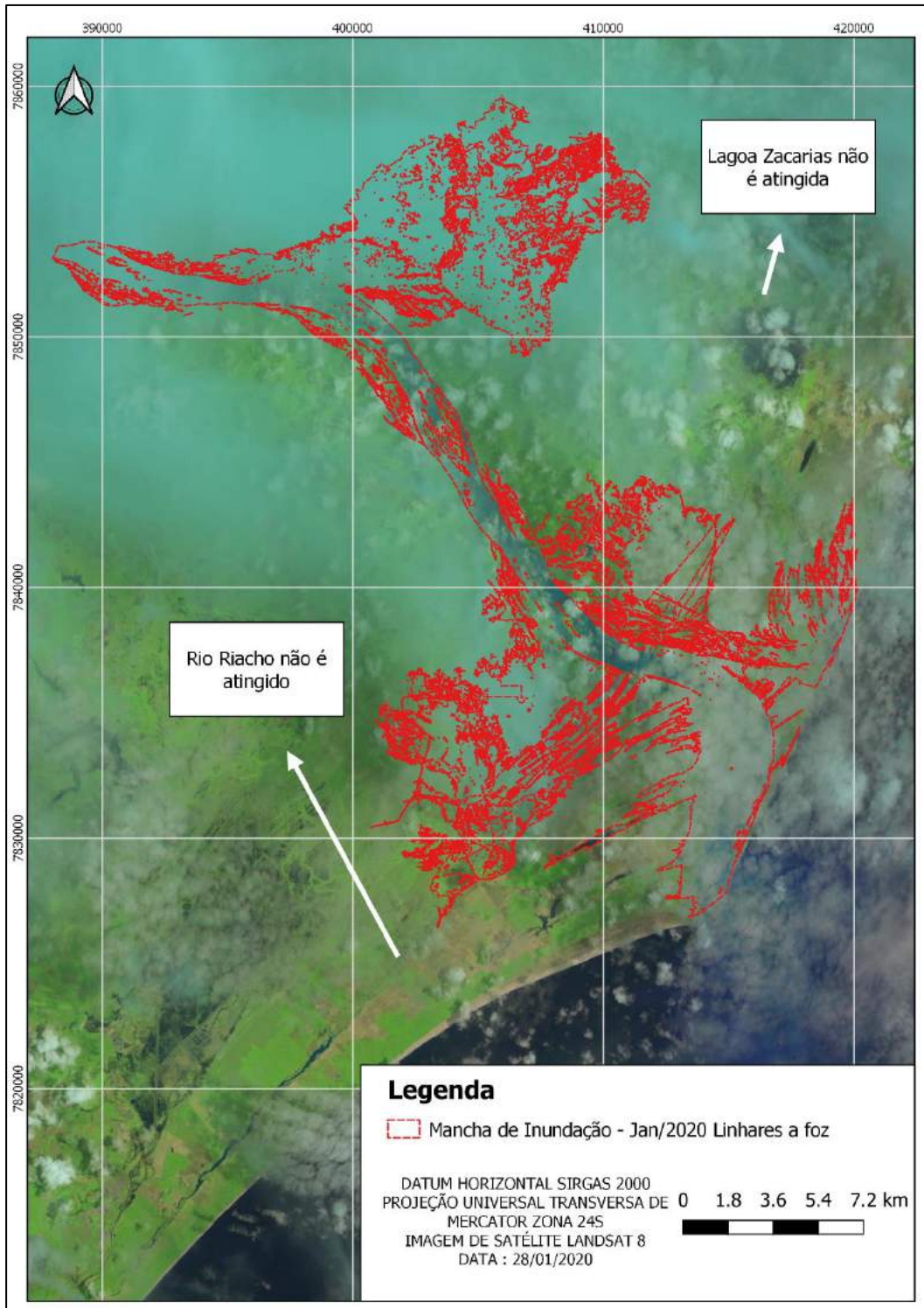


Figura 8-38 - Comparação entre a mancha de inundação simulada para Jan/2020 e imagem registrada em 28/01/2020 no trecho T16.

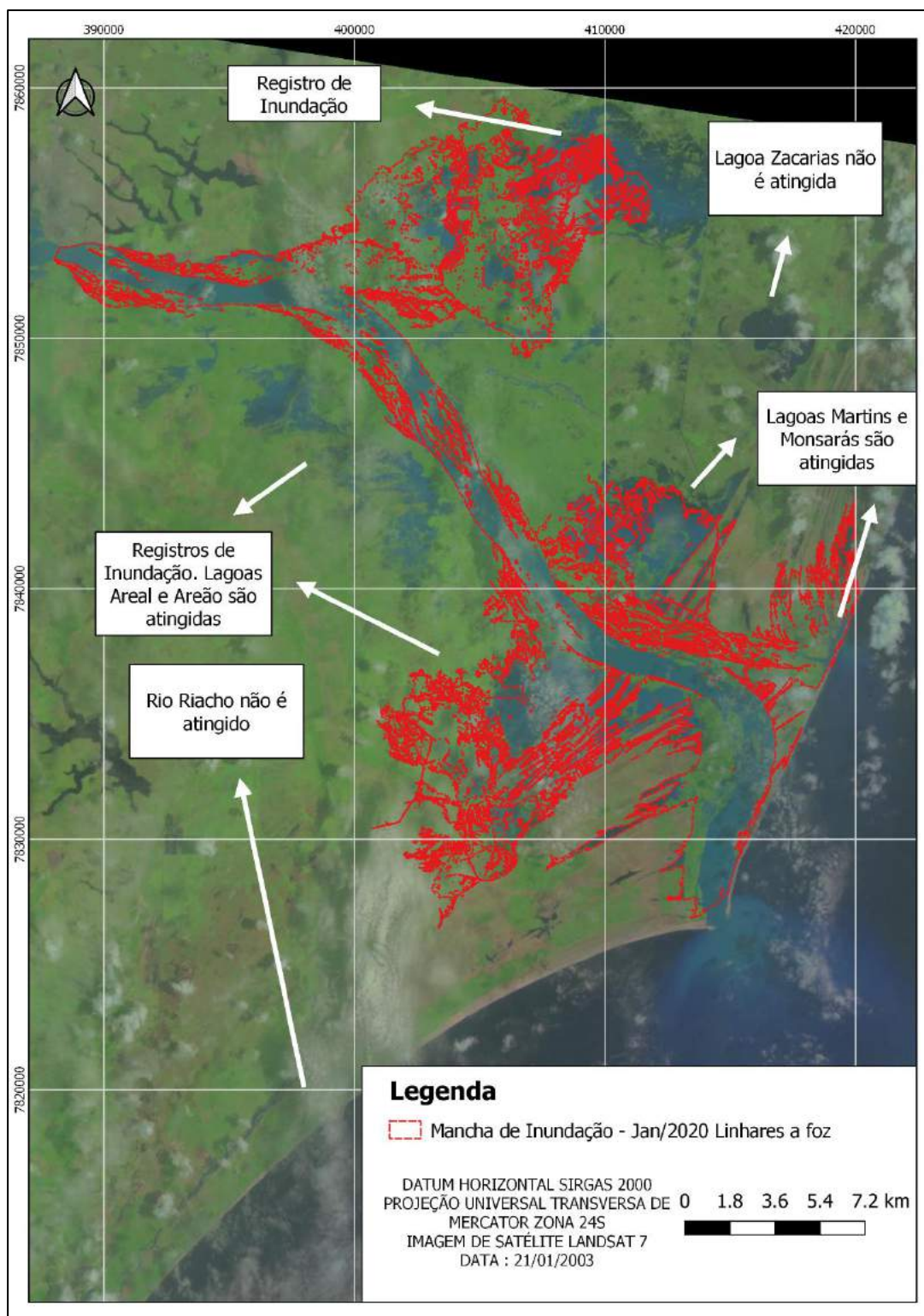


Figura 8-39 - Comparação entre a mancha de inundação simulada para Jan/2020 e imagem registrada em 21/01/2003 no trecho T16.

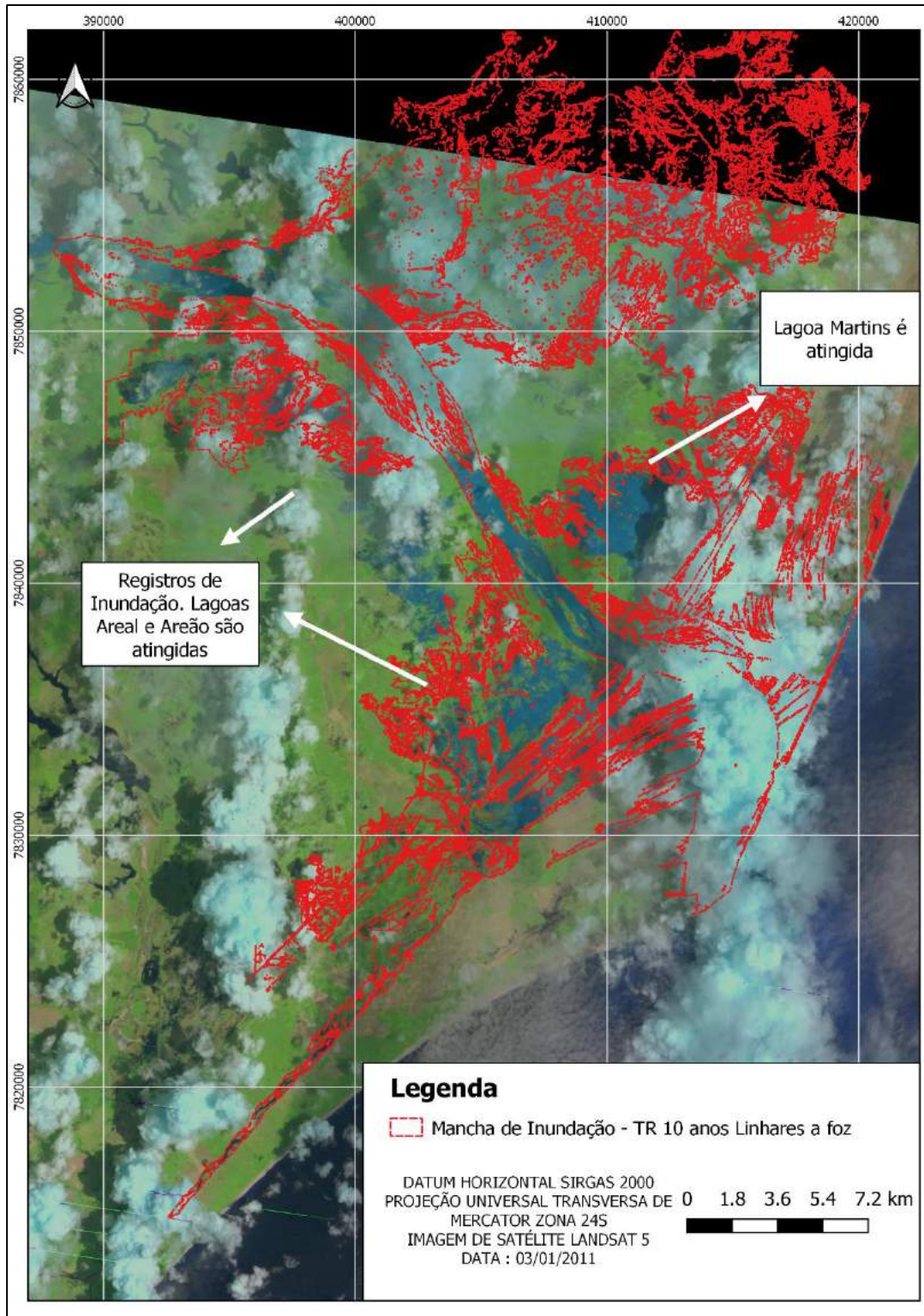


Figura 8-40 - Comparação entre a mancha de inundação simulada para TR 10 anos e imagem registrada em 03/01/2011 no trecho T16.

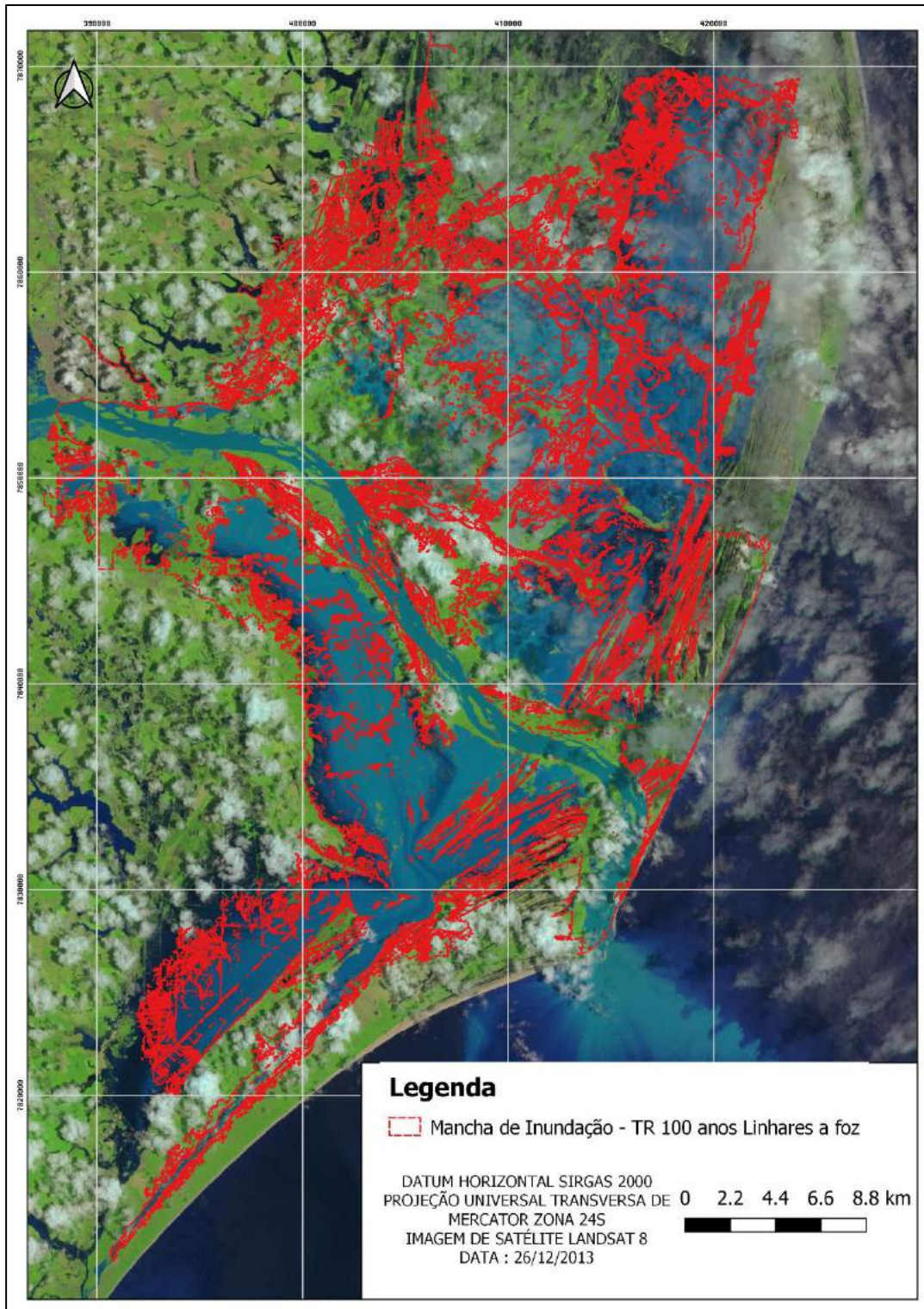


Figura 8-41 - Comparação entre a mancha de inundação simulada para TR 100 anos e imagem registrada em 26/12/2013 no trecho T16.

8.4.1 Trecho T13 a T16

Os resultados obtidos na modelagem do trecho T13 a T16 indicaram resultados de inundação nos municípios de Ipatinga, Governador Valadares, Aimorés, Baixo Guandu, Itapina e Colatina bastante semelhantes aos resultados obtidos com as simulações bidimensionais isoladas. Como a região entre Linhares e a foz é muito plana e com grandes extravasamentos, o modelo mais adequado para as simulações nessa região é o bidimensional.

No cenário do evento hidrológico de janeiro de 2016, o rio Doce esteve dentro da sua calha natural em quase totalidade do trecho de simulação a montante da sede de Ipatinga, apresentando transbordamentos apenas na confluência com o rio Matipó e em áreas de vegetação densa próximo ao Parque Estadual Rio Doce. Outros transbordamentos ocorrem a jusante da sede de Colatina em regiões de vegetação densa e pastagens e na região estuarina. No trecho entre a confluência com o rio Santo Antônio e a sede municipal de Conselheiro Pena, muitos transbordamentos são identificados sendo que em sua maior parte ocorrem em regiões agropastoris ocupando o leito menor da planície de inundação. As áreas urbanizadas atingidas pela cheia incluem: distrito de Baguari em Governador Valadares, sede municipal de Galiléia, distrito de Barra do Cuieté em Conselheiro Pena, sede municipal de Resplendor, sede municipal de Linhares no bairro Olaria e comunidade Areal em Linhares.

Por outro lado, o cenário do evento de cheia de janeiro de 2020 apresenta transbordamentos muito mais significativos e presentes praticamente ao longo de todos os trechos da área de estudo. Neste cenário, os impactos gerados pelo escoamento foram semelhantes aos obtidos para o tempo de retorno de 5 anos, com transbordamentos acentuados nas regiões de vale aberto e nas proximidades da foz do rio Doce, em Linhares.

8.5 Comparação entre os Resultados das Simulações Hidrodinâmicas e Níveis de água Observados para os Eventos de Jan/2016 e Jan/2020

De modo a avaliar os resultados das simulações hidrodinâmicas, foi realizada a comparação entre os níveis de água simulados e observados para os eventos de Jan/2016 e Jan/2020. A análise foi realizada a partir das medições nas estações fluviométricas convencionais e medições de marcas da cheia de 2020 levantadas em campo pelo Centro de Ciência e Tecnologia LACTEC apresentadas no Diagnóstico Socioambiental - 3º Relatório Parcial de Resultados (LACTEC, 2020c). Salienta-se que os dados das estações telemétricas não foram utilizados na comparação pois o cálculo dos níveis d'água observados para a maior parte das estações foi realizado com base nos dados dos resumos de descarga das estações convencionais.

Os valores de nível de água observados nas estações fluviométricas convencionais foram estimados conforme metodologia descrita no item 8.1.2. É importante ressaltar que os valores de nível de água observados para as estações fluviométricas de Fazenda Cachoeira D'Antas, Cachoeira dos Óculos Montante, Belo Oriente e Tumiritinga estão sujeitos a incertezas referentes aos valores de cota zero da régua, que são desconhecidos. A **Tabela 8-32** apresenta a comparação entre os níveis de água observados e simulados de acordo com os resultados do modelo de fluxo unidimensional dos trechos T13 a T16 e dos modelos de fluxo bidimensionais de Governador Valadares e Colatina.

Com relação à cheia de Jan/2016, os valores de discrepância para o modelo unidimensional variam entre -0,52% e 1,12%. Nas estações Fazenda Cachoeira d'Antas, Belo Oriente, Governador Valadares e Tumiritinga o nível de água simulado é superior ao observado. Por outro lado, nas estações Cachoeira dos Óculos Montante e Colatina o nível de água simulado foi inferior àquele observado. Os valores de discrepância para os modelos bidimensionais de Governador Valadares e Colatina retornaram discrepâncias de 0,49% e 1,21% respectivamente, de modo que para ambos os modelos o nível de água simulado foi superior ao observado.

Com relação à cheia de Jan/2020, os valores de discrepância para o modelo unidimensional variam entre -1,21% e 1,28%. Nas estações Fazenda Cachoeira d'Antas, Governador Valadares e Tumiritinga o nível de água simulado é superior ao observado. Por outro lado, nas estações Cachoeira

dos Óculos Montante, Belo Oriente e Colatina o nível de água simulado foi inferior àquele observado. Os valores de discrepância para os modelos bidimensionais de Governador Valadares e Colatina retornaram discrepâncias de 0,54% e 0,89% respectivamente, de modo que para ambos os modelos o nível de água simulado foi superior ao observado.

As medições de marcas de cheia levantadas em 2020 pelo Centro de Ciência e Tecnologia LACTEC constituem 34 pontos ao longo da bacia do rio Doce. Dentre estes, 26 pontos se encontram no trecho T13 a T16 dentro dos limites da área de estudo. As **Tabela 8-33** e **Tabela 8-34** apresentam a comparação entre níveis de água observados e simulados de acordo com este levantamento de campo para o modelo unidimensional e modelos bidimensionais respectivamente.

Os valores de discrepância para o modelo unidimensional variam entre -17,40% e 3,07%. As maiores discrepâncias ocorreram nos pontos 2 (município de Linhares, a montante da sede), 38 (sede municipal de Resplendor), 41 (sede municipal de Baixo Guandu), 62 (distrito Perpétuo Socorro em Belo Oriente) e 81 (distrito Barra do Cuieté em Conselheiro Pena). Os pontos onde o valor simulado mais se aproximou do observado estão localizados no município de Governador Valadares onde a discrepância dos pontos 15, 19 e 21 foram inferiores a 0,6%.

Para os modelos bidimensionais, há 13 pontos localizados dentro das áreas de simulação. Os valores de discrepância variaram entre -2,04% e 2,15%. As maiores discrepâncias foram observadas nos pontos 41 e 84 localizados em Aimorés. Assim como observado nos resultados da simulação unidimensional, em Governador Valadares ocorreram as menores discrepâncias que foram em sua maior parte inferiores a 0,5%.

Tabela 8-32 – Comparação entre os resultados das simulações hidrodinâmicas e níveis de água observados nas estações fluviométricas convencionais.

Modelo	Estação Fluviométrica	Nível de água observado Jan/2016 (m)	Nível de água simulado Jan/2016 (m)	Diferença Percentual	Nível de água observado Jan/2020 (m)	Nível de água simulado Jan/2020 (m)	Diferença Percentual	
Unidimensional T13 a T16	56425000	Fazenda Cachoeira d'Antas	253,00	254,00	0,40%	255,94	256,82	0,34%
	56539000	Cachoeira dos Óculos Montante	239,52	239,44	-0,03%	242,77	240,67	-0,87%
	56719998	Belo Oriente	202,78	202,94	0,08%	205,31	204,72	-0,29%
	56850000	Governador Valadares	156,55	156,78	0,15%	157,77	158,39	0,39%
	56920000	Tumiritinga	132,96	134,45	1,12%	134,28	136,00	1,28%
	56994500	Colatina	36,41	36,22	-0,52%	38,06	37,60	-1,21%
Bidimensional - Governados Valadares	56850000	Governador Valadares	156,55	157,31	0,49%	157,77	158,62	0,54%
Bidimensional - Colatina	56994500	Colatina	36,41	36,85	1,21%	38,06	38,40	0,89%

Tabela 8-33 – Comparação entre níveis de água observados e simulados de acordo com levantamento de campo para a cheia de 2020 para o modelo unidimensional.

ID	Descrição	Data da coleta	Altitude Ortométrica Observada (m)	Nível de água Simulado (m)	Diferença Percentual
2	Extra 2 - CotaMax	16/02/2020	23,984	22,57	-5,90%
5 *	Extra 3 - CotaMax	16/02/2020	11,344	-	-
8	Extra 4 - CotaMax	16/02/2020	7,01	5,79	-17,40%
11	Gov. Valadares - Clube - CotaMax	12/02/2020	154,855	154,066	-0,51%
15	Gov. Valadares - Ilha 1 - CotaMax	12/02/2020	156,257	156,143	-0,07%
17	Gov. Valadares - P1 - CotaMax	12/02/2020	162,388	161,655	-0,45%
19	Gov. Valadares - P2 - CotaMax	12/02/2020	159,657	159,553	-0,07%
21	Gov. Valadares - P3 - CotaMax	12/02/2020	153,616	153,342	-0,18%
23	Ponto 1 - CotaMax	08/02/2020	270,501	270,367	-0,05%
26 *	Ponto 2 - CotaMax	08/02/2020	252,972	-	-
32	R10 - CotaMax	14/02/2020	135,772	136,015	0,18%
35	R11 - CotaMax	14/02/2020	119,982	120,339	0,30%
38	R12 - CotaMax	17/02/2020	92,039	94,867	3,07%
41	R13 - CotaMax	17/02/2020	64,515	66,174	2,57%
44	R14 - COTA	18/02/2020	43,275	44,046	1,78%
47	R15 - CotaMax	14/02/2020	37,72	37,81	0,24%
50 *	R16 - CotaMax	16/02/2020	18,094	-	-
53 *	R3 - CotaMax	07/02/2020	262,715	-	-
56 *	R4 - CotaMax	07/02/2020	235,035	-	-
59	R5 - CotaMax	10/02/2020	213,037	213,04	0,00%
62	R6 - CotaMax	10/02/2020	198,915	197,217	-0,85%
65	R7 - CotaMax	11/02/2020	188,439	188,285	-0,08%
68	R8 - CotaMax	13/02/2020	157,885	158,388	0,32%
71	R9 - CotaMax	13/02/2020	142,954	143,62	0,47%
81	T11 - CotaMax	14/02/2020	123,663	125,053	1,12%
84	T12 - CotaMax	17/02/2020	80,677	80,405	-0,34%

*Pontos onde não há resultados de nível de água simulado pois estão fora da mancha simulada.

Tabela 8-34 - Comparação entre níveis de água observados e simulados de acordo com levantamento de campo para a cheia de 2020 para os modelos bidimensionais.

ID	Descrição	Data da coleta	Altitude Ortométrica Observada (m)	Nível de água Simulado (m)	Diferença Percentual
5 *	5 Extra 3 - CotaMax	16/02/2020	11,344	-	-
8	8 Extra 4 - CotaMax	16/02/2020	7,01	6,867	-2,04%
11	11 Gov. Valadares - Clube - CotaMax	12/02/2020	154,855	154,508	-0,22%
15	15 Gov. Valadares - Ilha 1 - CotaMax	12/02/2020	156,257	156,54	0,18%
17	17 Gov. Valadares - P1 - CotaMax	12/02/2020	162,388	162,222	-0,10%
19	19 Gov. Valadares - P2 - CotaMax	12/02/2020	159,657	159,706	0,03%
21	21 Gov. Valadares - P3 - CotaMax	12/02/2020	153,616	153,659	0,03%
41	41 R13 - CotaMax	17/02/2020	64,515	65,496	1,52%
44 *	45 R14 - COTA	18/02/2020	43,275	-	-
47	47 R15 - CotaMax	14/02/2020	37,72	38,53	2,15%
59	59 R5 - CotaMax	10/02/2020	213,037	213,624	0,28%
68	68 R8 - CotaMax	13/02/2020	157,885	158,529	0,41%
84	84 T12 - CotaMax	17/02/2020	80,677	79,875	-0,99%

*Pontos onde não há resultados de nível de água simulado pois estão fora da mancha simulada.

9 CONTEXTUALIZAÇÃO DE OUTROS ESTUDOS RELACIONADOS JÁ REALIZADOS NO RIO DOCE

Neste item é apresentada a comparação entre as principais premissas consideradas no presente estudo e em outros estudos relacionados, elaborados em 2020 pelo Centro de Ciência e Tecnologia LACTEC. Tais estudos consistem em:

- Simulação Hidrodinâmica das Cheias no Rio Doce: Atualização do Modelo Hec-Ras Utilizando um MDT de Alta Resolução, elaborado pelo LACTEC em 2020. Este documento faz parte do “Parecer técnico sobre a área de passagem e deposição dos rejeitos advindos do rompimento da barragem de Fundão ao longo dos rios afetados – APDL 2016 – APÊNDICE B”
- Refinamento da Área de Passagem da Lama (ADPL) Utilizando Simulação Hidrodinâmica 2D, elaborado pelo LACTEC em 2020. Este documento faz parte do “Parecer técnico sobre a área de passagem e deposição dos rejeitos advindos do rompimento da barragem de Fundão ao longo dos rios afetados – APDL 2016 APÊNDICE C”

A **Tabela 9-1** apresenta a comparação entre as principais premissas e dados de entrada utilizados nesse estudo com os estudos do LACTEC supracitados.

Tabela 9-1 - Comparação entre as premissas básicas dos estudos desenvolvidos relacionados com o Estudo da Mancha de Inundação dos trechos 13 ao 16 (Hidrobr 2021).

EMPRESA	LACTEC, 2020b	LACTEC, 2020b	HIDROBR, 2021
NOME DO PROJETO	Simulação Hidrodinâmica das Cheias no Rio Doce: Atualização do Modelo Hec-Ras Utilizando um MDT de Alta Resolução.	Refinamento da Área de Passagem Da Lama (ADPL) Utilizando Simulação Hidrodinâmica 2D.	Estudo de Inundação entre os trechos T13 A T16.

EMPRESA	LACTEC, 2020b	LACTEC, 2020b	HIDROBR, 2021
OBJETIVO	Atualização da Área de Passagem da Lama (APDL) no rio Doce, entre a UHE Risoleta Neves e Colatina, utilizando simulação hidrodinâmica 1D.	Atualização da Área de Passagem da Lama (APDL) no rio Doce, entre Colatina e a foz, utilizando simulação hidrodinâmica 2D.	Apresentar as manchas de inundação das cheias naturais de tempo de retorno notáveis, além das vazões das cheias naturais ocorridas em janeiro de 2016 e janeiro de 2020, no rio Doce a jusante da UHE Risoleta Neves.
ABRANGÊNCIA	Resultados considerados entre a UHE Risoleta Neves e Colatina.	Entre Colatina e a foz (Linhares).	UHE Risoleta Neves até a foz do rio Doce, ou seja, entre os municípios de Rio Doce e Linhares.
TIPO DE MODELAGEM	Unidimensional	Bidimensional	Unidimensional ^{6/} Bidimensional
SOFTWARE DE MODELAGEM	HEC-RAS versão 5.0.7	HEC-RAS versão 5.0.7	HEC-RAS versão 5.0.7
EQUAÇÃO	Não informado	Diffusion Wave	Full Momentum (2D) e Método <i>Standard Step</i> (1D)
TOPOGRAFIA	MDT disponibilizado pela Fundação Renova (2019), gerado a partir da tecnologia Light Detection and Ranging – LiDAR, redimensionado para uma resolução de 2m, além da utilização de um MDT para a região de Linhares/ ES, que se baseia em curvas de nível de 5 em 5m.		Curvas de nível de 1 em 1 metro disponibilizada pela Fundação Renova, datada 2019, geradas a partir da tecnologia Light Detection and Ranging – LiDAR e transformadas em MDT de resolução de 1m. Esse estudo terá entregas complementares com refinamento considerando o MDT originado por nuvem de pontos do LiDAR, de resolução de 1m, além da utilização dos dados topográficos fornecidos pelo IEMA na região de Linhares.
TRATAMENTO DA TOPOGRAFIA	Utilização de 160 seções transversais disponibilizadas pela ANA (entre Fundão e foz do rio Doce). Inserção de batimetria a partir da definição de profundidades médias para rebaixar o terreno do leito. As cotas rebaixadas em cada seção foram então interpoladas com a ferramenta <i>Topo to Raster</i> presente no <i>software</i> ArcGIS. Simplificação do leito do fundo, foram desconsideradas as irregularidades do fundo do leito.		Utilização de 188 seções transversais sendo 117 seções disponibilizadas pela ANA (entre UHE Risoleta Neves e foz do rio Doce), 25 seções disponibilizadas pela CPRM e 6 perfis transversais de estações fluviométricas. Inserção de batimetria a partir da interpolação das seções topobatimétricas no <i>software</i> HEC-RAS considerando as irregularidades do fundo do leito.

⁶ Para cumprir o Ofício CT-GRSA 62/2020 a HIDROBR nesse primeiro momento está desenvolvendo o estudo bidimensional apenas nas sedes municipais, o estudo será realizado integralmente bidimensional (trechos 13 a 16) em um segundo momento.

EMPRESA	LACTEC, 2020b	LACTEC, 2020b	HIDROBR, 2021
CONSIDERAÇÃO DAS UHEs	Inseridas 4 seções topobatimétricas no reservatório de Baguari, batimetria de 2015 do reservatório de Aimorés e reservatório de Mascarenhas não foi citado.	Não se aplica.	Inserção das batimetrias dos reservatórios disponibilizadas pelas usinas: Baguari (2019), Aimorés (2019) e Mascarenhas (2016).
ESTUDO DE VAZÕES	O período de simulação considerado foi de 1980 a 2017. O modelo utilizado foi o MGB (desenvolvido por Collischonn et al. 2007). Com o MGB foi possível estimar as vazões para diversos trechos de cursos de água da bacia do rio Doce, usando dados de precipitação, de clima, de relevo, do tipo de solo e da sua capacidade de armazenamento de água e da vegetação que cobre o solo.		Regionalização de vazões utilizando o método Index Flood, a partir dos dados de 7 estações (Fazenda Cachoeira D'Antas, Cachoeira dos Óculos Montante, Belo Oriente, Governador Valadares, Tumiritinga, Resplendor-Jusante e Colatina) com período homogêneo de 1986 a 2020. Aplicação da Equação de Fuller, cujas vazões médias máximas diárias são convertidas em vazões máximas diárias.
CHEIAS NATURAIS SIMULADAS	Foram simulados o período de 2012 a 2017 com atenção especial para as cheias do período para calibração do modelo.	Foram realizadas duas simulações para as cheias de 2013-2014 e 2015-2016, que têm relevâncias devido as suas magnitudes.	Cheias notáveis de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos de tempo de retorno, além das vazões das cheias naturais ocorridas em janeiro de 2016 e janeiro de 2020.
CALIBRAÇÃO DO MANNING	Calibração do Manning para a calha principal os valores foram ajustados, variando entre 0,032 e 0,050, utilizando as estações Rio Dantas, Cachoeira dos óculos, Governador Valadares, Tumiritinga, Resplendor_Jusante, Colatina, Belo Oriente, UHE Baguari Barramento, UHE Mascarenhas Barramento, UHE Mascarenhas Jusante, Linhares Cais do Porto, RDO 05, RDO 07, RDO 09, RDO 11.		Calibração do Manning pelas estações fluviométricas convencionais: Fazenda Cachoeira D'Antas, Cachoeira dos Óculos Montante, Belo Oriente, Gov. Valadares, Tumiritinga, Colatina e Linhares.

EMPRESA	LACTEC, 2020b	LACTEC, 2020b	HIDROBR, 2021
TIPO DE MALHA UTILIZADO	Não se aplica	Malha variável, com células de 200 m x 200 m com refinamento da calha principal do rio Doce (100 m x 100 m), lagoa Monsarás (50 m x 50 m) e ao sul próximo a Barra do rio Riacho (50 m x 50 m)	Malha variável. Região entre Linhares e Foz: células de 40m x40m na topografia de precisão da Renova, variando até 80mx80m na topografia de menor resolução do IEMA e breaklines de 15 m. Para as demais regiões células de 20m x20m, com breaklines variando entre 5 e 15 m. As breaklines delimitam as áreas de leito vazante, leito menor, ilhas fluviais, lagoas marginais, principais afluentes e mudanças abruptas de elevação ocasionada por diques, estradas e canais.

As **Figura 9-1** a **Figura 9-8** apresentam as comparações entre as manchas de inundação do cenário de cheia ocorrida em janeiro de 2016 elaboradas pelo centro LACTEC (2020b) e HIDROBR (2021).

A **Figura 9-1** ilustra as manchas de simulações em Ipatinga onde se observa que a mancha de simulação unidimensional elaborada pelo centro LACTEC (2020b) apresenta maior área de inundação principalmente no bairro Ilha do Rio Doce no município de Caratinga. A busca por registros jornalísticos de inundação destes bairros em janeiro de 2016 não retornou resultados e, conforme descrito no item 8.4.2, a imagem de satélite SENTINEL-B de 20/12/2016 (vazão próxima à cheia de Jan/2016) não demonstra indícios de inundações neste bairro. Portanto, entende-se que a mancha de inundação de simulação bidimensional elaborada pela HIDROBR (2021) se apresenta mais coerente aos registros de jornais e de imagem de satélite.

A **Figura 9-2** ilustra as manchas das simulações em Governador Valadares onde se observa que a mancha de simulação unidimensional elaborada pelo centro LACTEC (2020b) apresenta área de inundação maior nos bairros Santa Rita (final), Jardim Alice/JK e São Pedro. Por outro lado, a mancha de simulação bidimensional elaborada pela HIDROBR (2021) apresenta maior área de inundação no bairro nos bairros São Paulo, JK, Universitário e Ilha dos Araújo que não são atingidos pela mancha elaborada pelo centro LACTEC (2020b). Ambas as manchas de inundação demonstram

áreas atingidas semelhantes no início do bairro Santa Rita, nos bairros Esplanadinha, São Tarcísio e Santa Terezinha e em áreas agropastoris na margem direita do rio Doce.

Segundo a Defesa Civil do município, os bairros mais atingidos pela cheia foram: Santa Rita, JK I, II e III, São Paulo, Santa Terezinha, São Tarcísio, São Pedro e Ilha dos Araújos. O município entrou em estado de alerta e a água do rio Doce chegou na iminência de inundar outros bairros ribeirinhos da sede. Segundo reportagens do portal G1 e Prefeitura Municipal, os bairros Jardim Alice/JK e Universitário também foram atingidos. A casa de bombas da Estação de Tratamento de Água - ETA do bairro Vila Isa foi atingida. Com relação à registros de imageamento por satélites as imagens de satélite do evento de janeiro de 2016 não oferecem registros em Governador Valadares devido a presença de nebulosidade. Neste contexto, considera-se que a mancha de inundação elaborada pela HIDROBR (2021) se apresenta mais adequada por representar inundações na maior parte dos bairros citados nos registros jornalísticos.

A **Figura 9-3** ilustra as manchas das simulações em Aimorés e Baixo Guandu onde observa-se que a mancha de simulação bidimensional elaborada pela HIDROBR (2021) apresenta maior área de inundação no bairro Barra do Manhuaçu, no distrito de Santo Antônio do rio Doce e em áreas agropastoris: a montante da confluência entre o rio Doce com o Rio Manhuaçu na margem esquerda; e a jusante da confluência com o rio Guandu na margem direita do que a mancha de simulação unidimensional elaborada pelo centro LACTEC (2020b). Os bairros Barra do Manhuaçu e Distrito de Santo Antônio do Rio Doce são referidos como locais de risco de inundação segundo o mapeamento de risco elaborado pela CPRM (2014), entretanto, não foram encontrados registros jornalísticos de enchente nestas localidades em janeiro de 2016.

Conforme apresentado na **Figura 9-3** a imagem do satélite LANDSAT 8 de 24/01/2016 ilustra o leito vazante preenchido atingindo os limites da sede municipal. Entretanto, devido à nebulosidade, não é possível verificar inundações em Barra do Manhuaçu e distrito de Santo Antônio do rio Doce. Neste caso, considera-se a mancha elaborada pela HIDROBR (2021) um pouco mais conservadora por apresentar maior área de inundação.

A **Figura 9-4** ilustra as manchas das simulações no distrito de Itapina em Colatina onde observa-se grande semelhança entre as áreas inundadas. Em ambas as manchas de inundação o rio Doce permanece na calha fluvial e o distrito de Itapina não é atingido. Não foram encontrados registros jornalísticos referentes a enchentes no distrito de Itapina em Jan/2016 e a imagem do satélite LANDSAT 8 de 24/01/2016 indica o rio Doce contido em sua calha. Portanto, considera-se ambas as manchas de inundação elaboradas adequadas.

A **Figura 9-5** ilustra as manchas de simulações bidimensionais na sede de Colatina onde observa-se que em ambas as manchas o rio Doce se encontra contido na calha fluvial na maior parte do trecho. Nas duas manchas transbordamentos são identificados na margem esquerda do rio, nos bairros: Maria das Graças, Lacê, São Braz, Martineli e Honório Fraga. Tais transbordamentos ocupam áreas agropastoris às margens do rio Doce de modo que as envoltórias de inundação se encontram nos limites entre as áreas agropastoris e as áreas urbanas. Não foram encontrados registros jornalísticos referentes a enchentes na sede municipal de Colatina em Jan/2016, apenas a indicação de que o rio atingiu a cota de inundação. A imagem do satélite LANDSAT 8 de 24/01/2016 demonstra transbordamento na margem esquerda a montante da sede municipal e nos bairros São Braz, Martineli e Maria das Graças. Portanto, considera-se ambas as manchas de inundação elaboradas adequadas.

A **Figura 9-6** ilustra as manchas de simulações bidimensionais no trecho T16 entre a sede de Linhares e foz do rio Doce. Observa-se que a mancha elaborada pelo Centro LACTEC (2020b) apresenta área de inundação muito superior em relação à mancha elaborada pela HIDROBR (2021), abrangendo toda a planície de inundação alcançando Barra Seca no limite norte e o terminal Barra do Riacho no limite sul.

Considerando que a vazão do evento de Jan/2016 em Colatina apresenta período de retorno inferior a 2 anos (item 7.2.2), a mancha de inundação elaborada pelo Centro LACTEC (2020b) superestima as áreas atingidas pois apresenta envoltória semelhante ao evento registrado pelo satélite LANDSAT 8 em 24/12/2013 que possui período de retorno semelhante a 100 anos. Além disso, nota-se que a mancha de inundação elaborada pelo Centro LACTEC (2020b) apresenta descontinuidades nos limites entre a topografia LiDAR e a topografia do IEMA. Não foram encontrados registros jornalísticos referentes a enchentes no município de Linhares em Jan/2016 e não foi possível analisar

as imagens de satélite devido à obstrução por nuvens. Considera-se a mancha de inundação no trecho T16 elaborada pela HIDROBR (2021) mais adequada.

As **Figura 9-7** e **Figura 9-8** apresentam a comparação entre a mancha de inundação de simulação unidimensional elaborada pela HIDROBR (2021) e mancha de inundação de simulação unidimensional elaborada pelo Centro LACTEC (2020b) para o evento de Jan/2016 em regiões próximas a áreas urbanizadas. As duas envoltórias apresentam áreas muito semelhantes nas proximidades na UHE Risoleta Neves e nas localidades de Periquito, Pedra Corrida, Galiléia, Resplendor, Mascarenhas e IFES Campus Itapina. Por outro lado, a envoltória elaborada pela HIDROBR (2021) apresenta maior área de inundação nas localidades Tumiritinga e Conselheiro Pena. O contrário é observado nas localidades Revés do Belém, Ipaba, Perpétuo Socorro.

Considera-se mais completo e mais próximo da realidade o atual estudo elaborado pela HIDROBR (2021). Ressalta-se que os dados de entrada e premissas utilizadas pelo atual estudo são mais precisos e refinados em comparação aos demais descritos, apresentando menor simplificação dos dados, além de metodologias mais adequadas, como a utilização dos equacionamentos de Full Momentum e maior refino da malha de simulação na região do estudo bidimensional.

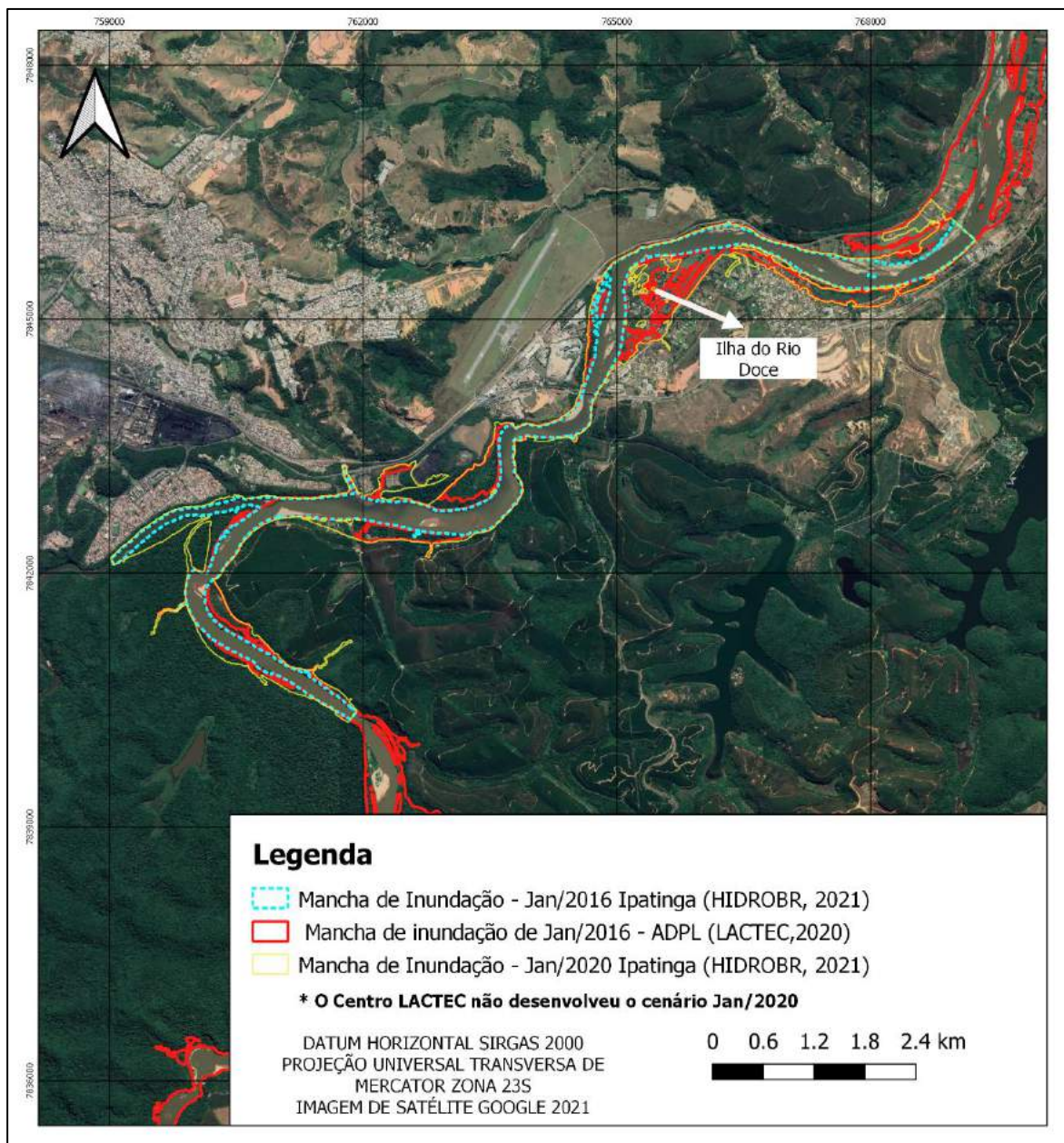


Figura 9-1 – Comparação entre manchas de inundação em Ipatinga referentes à cheia de Jan/2016 elaboradas por LACTEC (2020b) simulação 1D e HIDROBR (2021) simulação 2D.

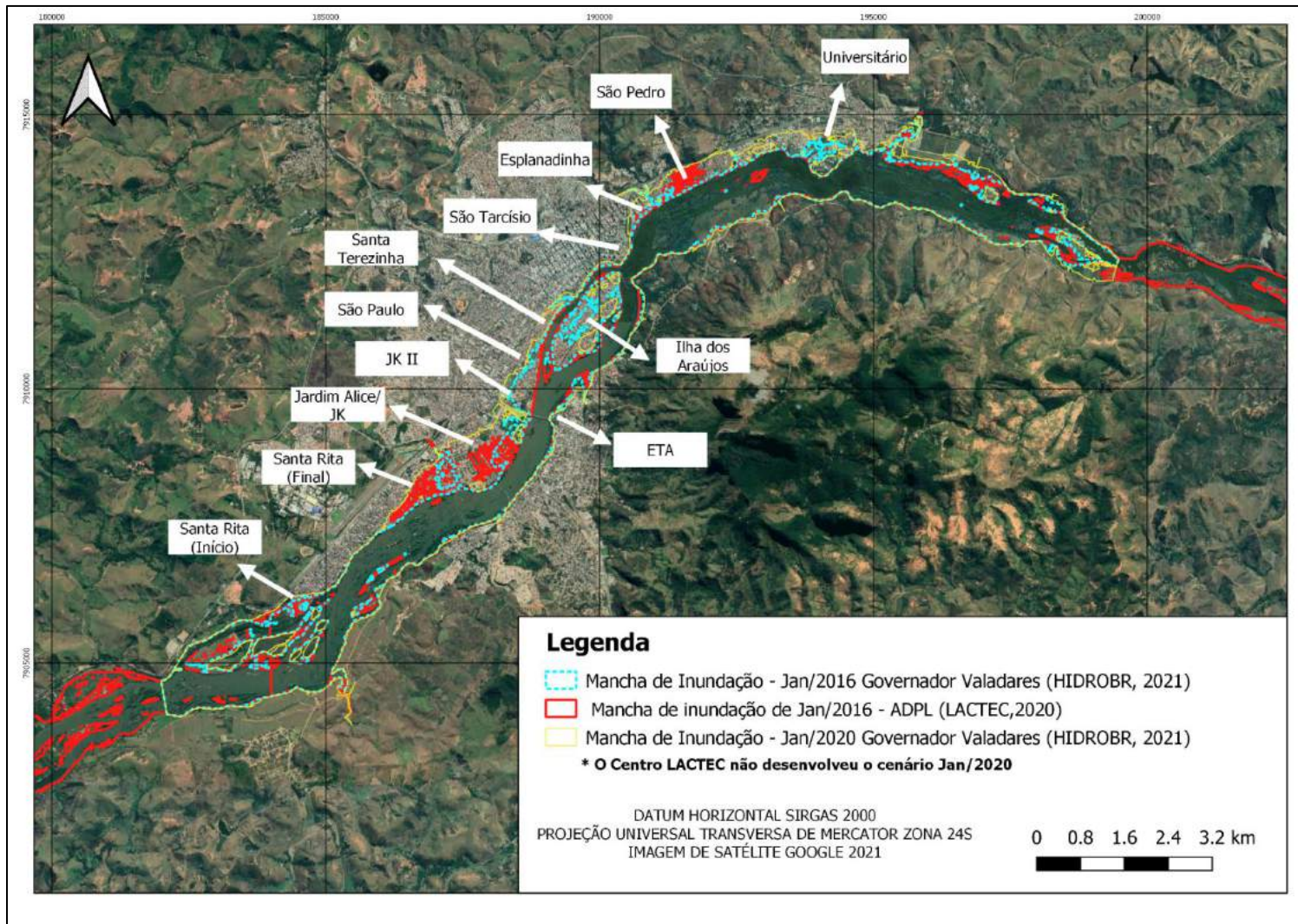


Figura 9-2 – Comparação entre manchas de inundação em Governador Valadares referentes à cheia de Jan/2016 elaboradas por LACTEC (2020b) simulação 1D e HIDROBR (2021) simulação 2D.

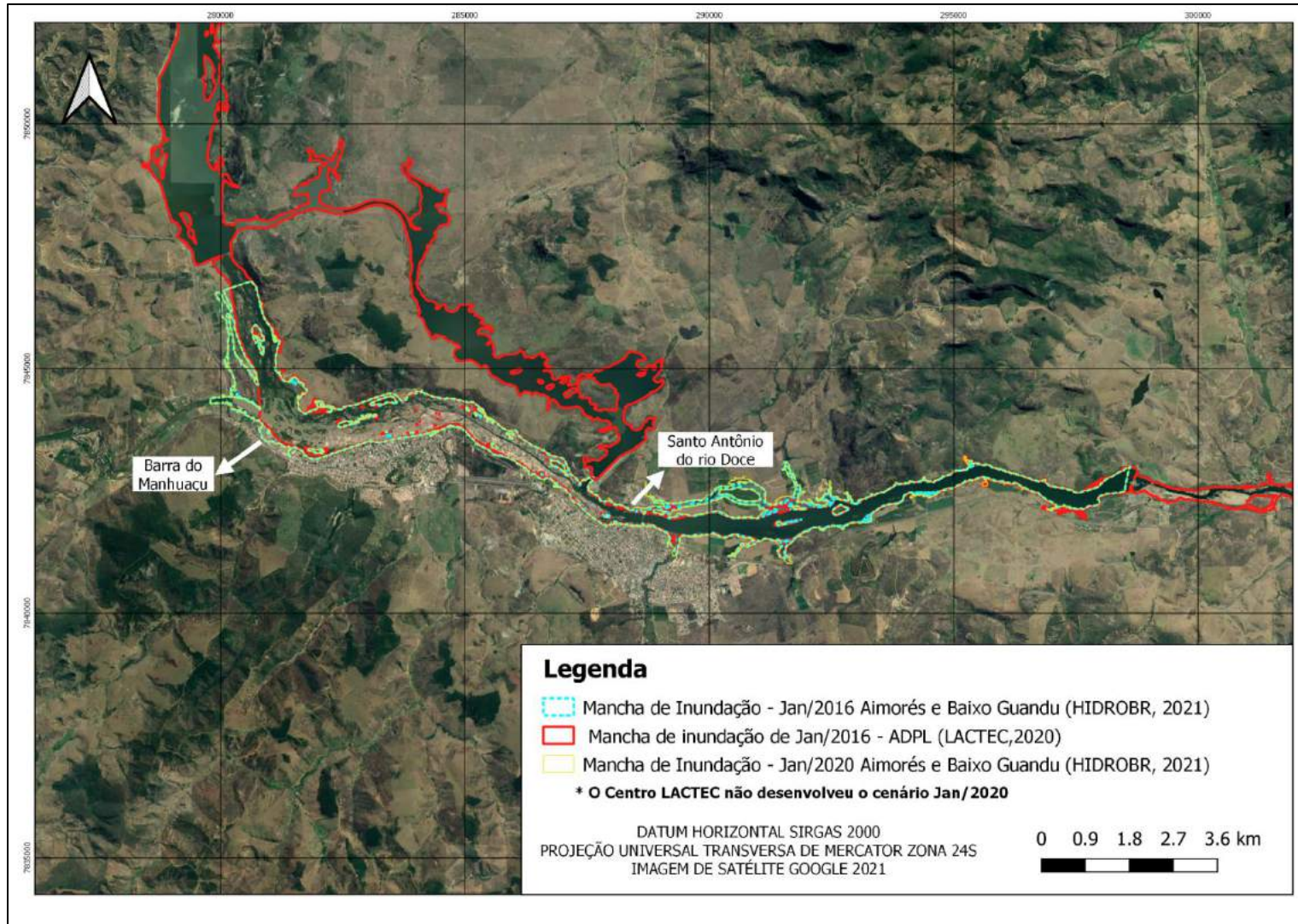


Figura 9-3 - Comparação entre manchas de inundação em Aimorés e Baixo Guandu referentes à cheia de Jan/2016 elaboradas por LACTEC (2020b) simulação 1D e HIDROBR (2021) simulação 2D.

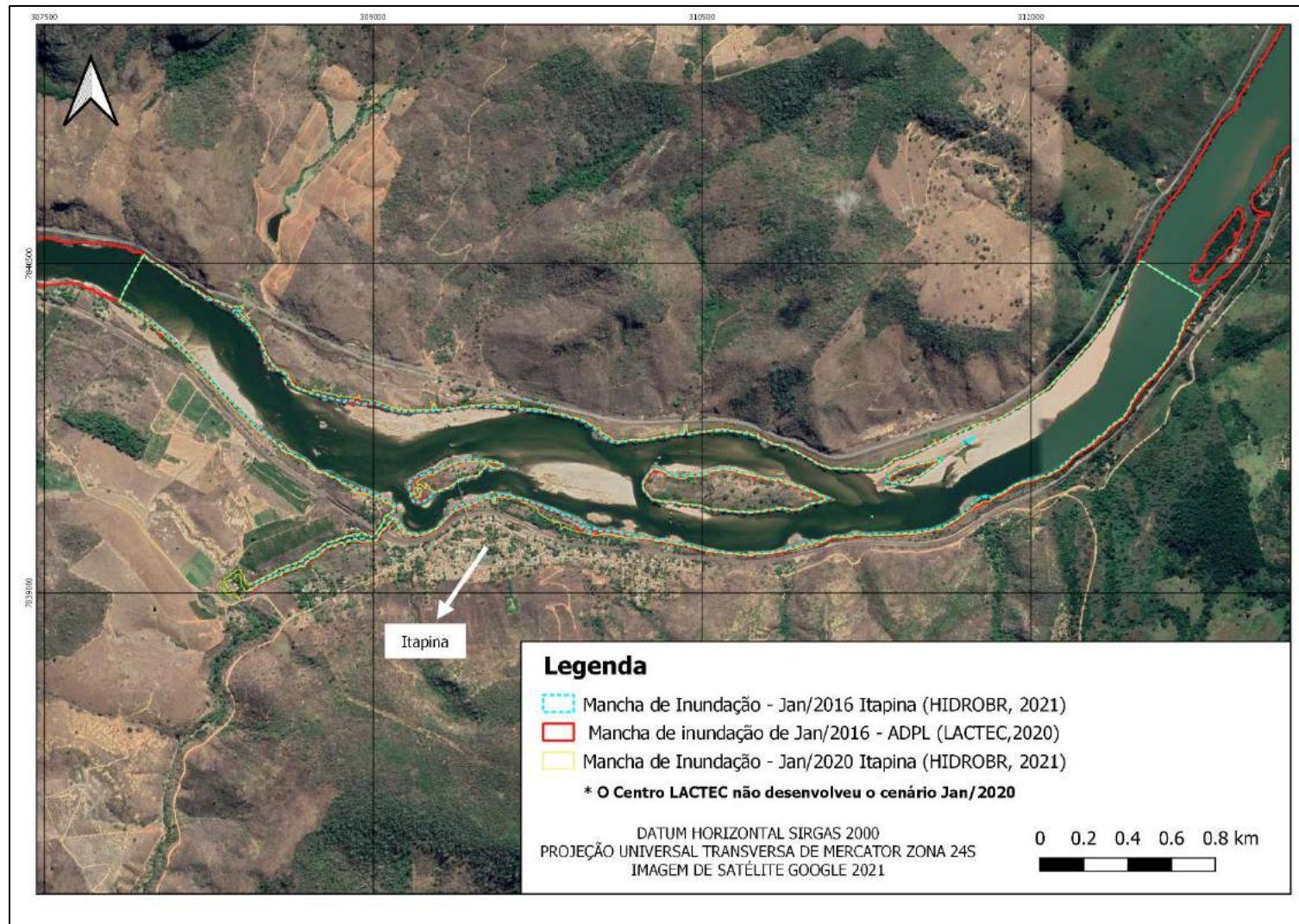


Figura 9-4 - Comparação entre manchas de inundação em Itapina referentes à cheia de Jan/2016 elaboradas por LACTEC (2020b) simulação 1D e HIDROBR (2021) simulação 2D.

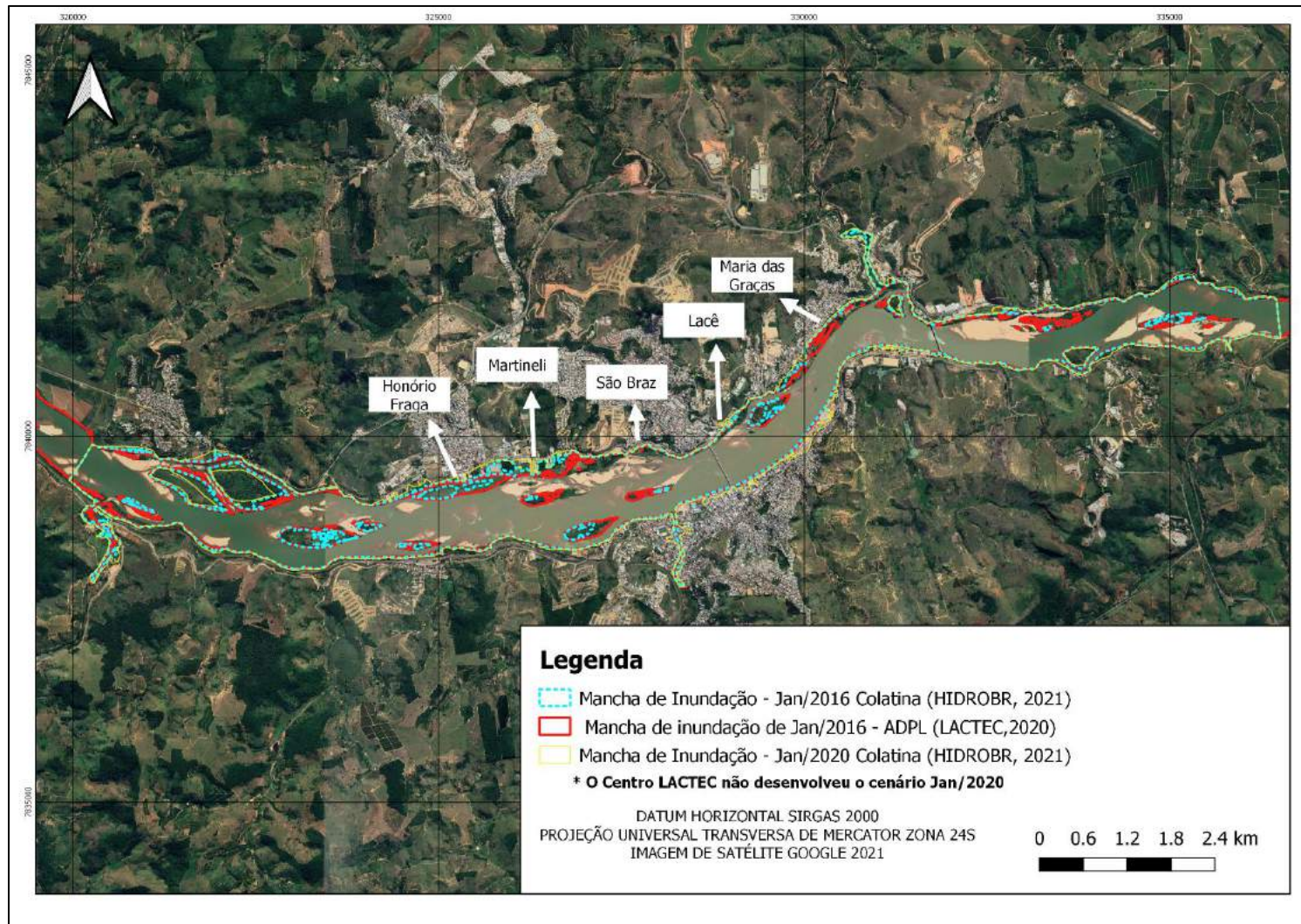


Figura 9-5 - Comparação entre manchas de inundação em Colatina referentes à cheia de Jan/2016 elaboradas por LACTEC (2020b) simulação 2D e HIDROBR (2021) simulação 2D.

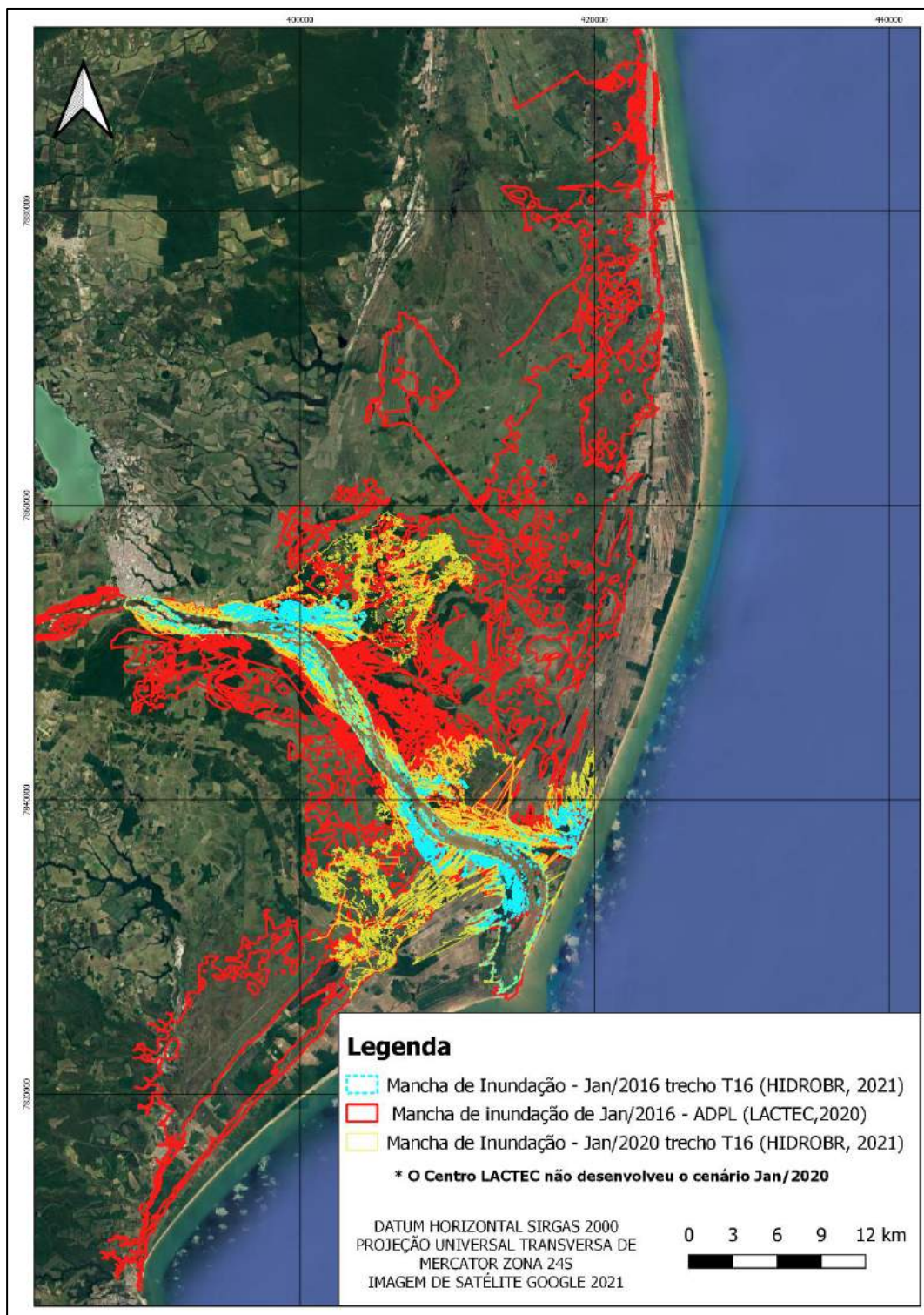


Figura 9-6 - Comparação entre manchas de inundação no trecho T16 referentes à cheia de Jan/2016 elaboradas por LACTEC (2020b) simulação 2D e HIDROBR (2021) simulação 2D.

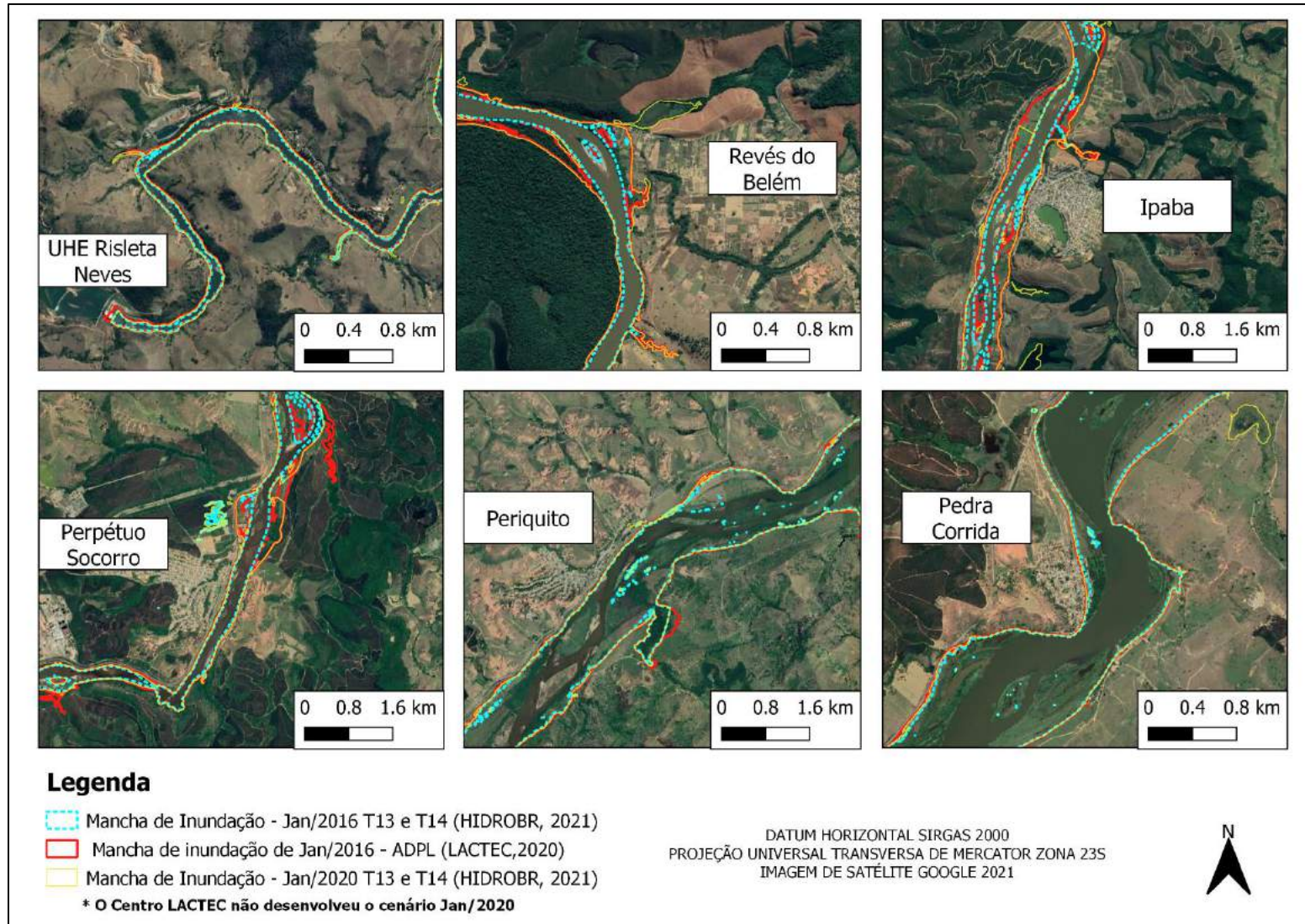


Figura 9-7 - Comparação entre manchas de inundação nos trechos T13 e T14 referentes à cheia de Jan/2016 elaboradas por LACTEC (2020b) simulação 1D e HIDROBR (2021) simulação 1D.

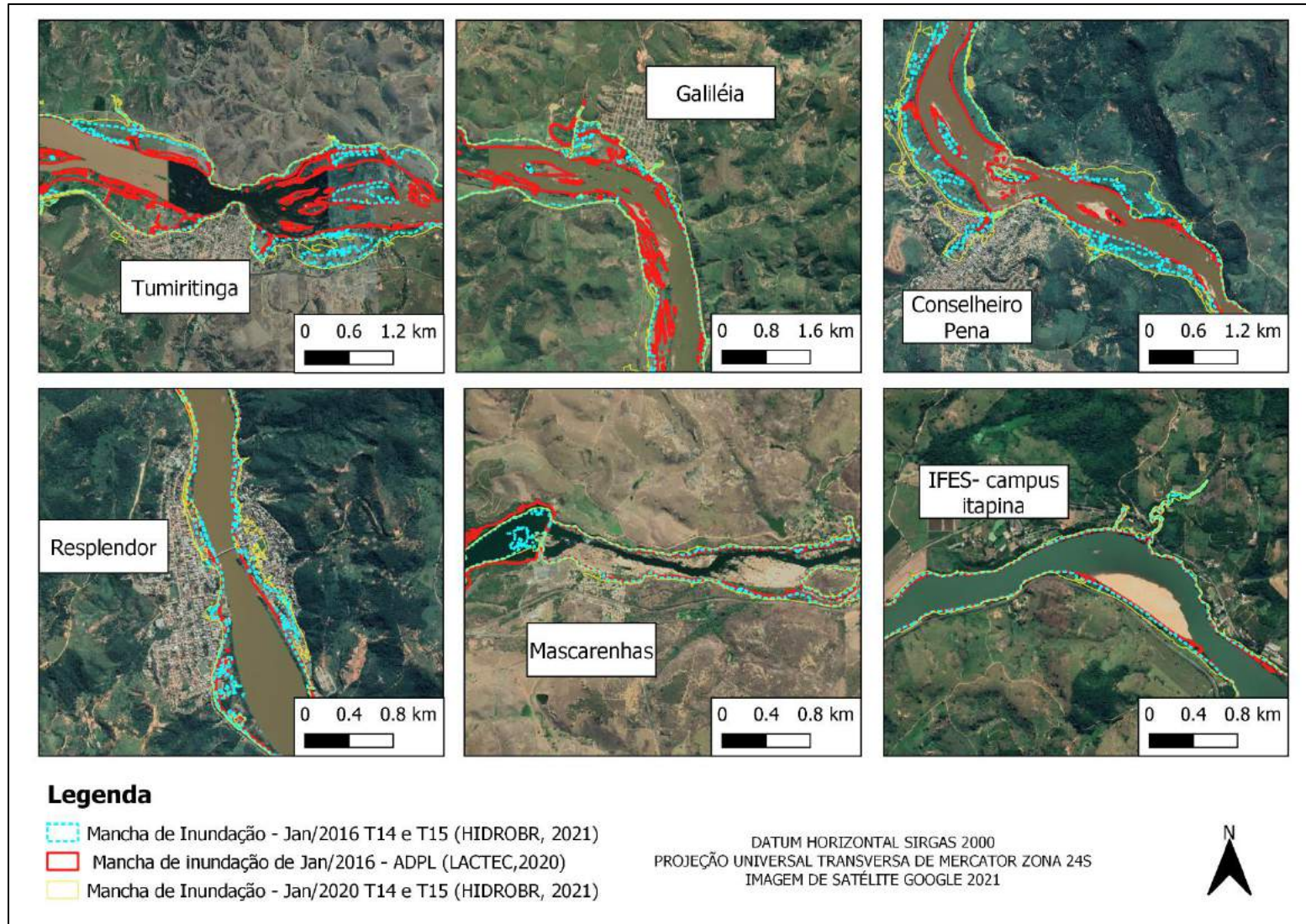


Figura 9-8 - Comparação entre manchas de inundação nos trechos T14 e T15 referentes à cheia de Jan/2016 elaboradas por LACTEC (2020b) simulação 1D e HIDROBR (2021) simulação 1D.

10 CONCLUSÃO

Este documento apresentou o desenvolvimento do projeto de modelagem hidrodinâmica de vazões de tempos de retorno notáveis e das cheias naturais de Jan/2016 e Jan/2020, no rio Doce entre a UHE Risoleta Neves e a foz – trechos T13 a T16, conforme itens 1 e 3 da Deliberação nº 497/2021. O projeto contemplou: análise dos dados básicos, elaboração de Modelo Digital de Terreno para simulação, estudo hidrológico, visita de campo, levantamento de seções topobatimétricas complementares, calibração e simulação de modelos hidrodinâmicos.

O item 3 apresentou a análise dos dados básicos que foi uma etapa muito importante para a definição dos dados já disponíveis e aqueles necessários a serem solicitados e para a determinação da topografia mais adequada para o estudo. Foram analisadas as topografias LiDAR, MDT IEMA, MDE IEMA e MDS ANA. Dentre estas, as mais adequadas selecionadas para utilização foram a topografia LiDAR e o MDE IEMA.

O item 4 apresentou a visita de campo de reconhecimento da área estudada a partir da qual foi possível compreender melhor a geometria da calha do rio, tipologia de sedimentos do leito fluvial, geomorfologia e uso e ocupação do solo da região. Estas observações foram importantes para complementar a análise de definição de critérios das simulações referentes à rugosidade da superfície.

O item 5 apresentou as metodologias e resultados do levantamento das 40 seções topobatimétricas complementares solicitadas para a elaboração do Modelo Digital de Terreno (MDT). O levantamento das seções complementares foi essencial para suprir as lacunas de informações que existiam nas ilhas fluviais existentes ao longo do rio Doce, as quais compreendem importantes constrições, além do trecho da foz do rio, que apresenta grande complexidade. Dessa forma, esses levantamentos foram essenciais para melhor caracterização na construção do MDT final para modelagem.

As seções foram levantadas entre os meses de novembro e dezembro de 2020 pelas empresas HIDROGEST, HGT e TOPGEO. Entende-se que os serviços de campo e as metodologias empregadas

para a compilação dos dados são adequados e suficientes para sua utilização no modelo de inundação, objetivo final desse contrato.

O item 6 apresentou a elaboração do Modelo Digital de Terreno para a simulação deste relatório com entrega acordada em 30 de junho de 2021, seguindo o parecer técnico do ofício FR.2021.0608 apresentado na 53ª reunião ordinária da CT-GRSA e que antecedeu a Deliberação nº 497/2021. Portanto, esse item compreendeu 9 etapas, sendo que as modelagens hidrodinâmicas consideraram para a simulação unidimensional do trecho T13 a T16 e simulações bidimensionais dos municípios de Ipatinga, Governador Valadares, Aimorés, Baixo Guandu e Colatina (sede e distrito de Itapina) o MDT elaborado a partir topografia LiDAR gerada pela interpolação de curvas de nível (resolução espacial de 1 m e acurácia vertical de 1 m) e batimetria interpolada referente às seções topobatimétricas disponíveis e levantadas. Para a simulação bidimensional do trecho T16 (entre Linhares a foz do rio Doce) foi considerado o MDT gerado a partir a topografia LiDAR, disponibilizada no formato Geotiff (resolução espacial de 1 m e acurácia vertical da ordem de centímetros), baseado em nuvem de pontos, o MDE IEMA tratado e batimetria interpolada referente às seções topobatimétricas disponíveis e levantadas.

Entende-se que os dados fornecidos e as metodologias empregadas para a construção do MDT são adequados e suficientes para sua utilização no modelo de inundação, objetivo final desse contrato. O MDT conta com a topografia LiDAR disponibilizada pela Fundação Renova, com as seções topobatimétricas disponibilizadas pela ANA, com as seções dos estudos de Definição da Planície de Inundação de Governador Valadares (CPRM, 2004) e Colatina-ES (CPRM, 2016), com os perfis transversais das estações fluviométricas, com as seções topobatimétricas complementares e com as batimetrias dos reservatórios das usinas hidrelétricas de Baguari, Aimorés e Mascarenhas, disponibilizadas.

Algumas ressalvas e observações sobre o MDT gerado incluem:

- Embora represente com alto nível detalhamento as margens do rio Doce, a precisão do MDT referente à batimetria do rio depende da quantidade de seções presentes e seu distanciamento. Ressalta-se que, tanto a quantidade de seções utilizadas, quanto o

distanciamento entre elas, está adequado e são suficientes para o desenvolvimento do trabalho. A batimetria entre as seções conhecidas foi representada a partir de interpolação que considera as variações de largura do leito vazante do rio e declividade constante do talvegue;

- A representação das ilhas e barras arenosas está condicionada à data do levantamento topográfico pelo método LiDAR. O levantamento foi iniciado em novembro de 2018 e finalizado em junho de 2019, período em que a vazão relativamente baixa do rio Doce permitiu a identificação da maioria das ilhas e bancos de areia presentes no trecho de interesse;
- Em trechos com presença de cachoeiras e quedas de água, a declividade e redução da elevação do talvegue foi representada de acordo com a topografia LiDAR. Foram identificadas a cachoeira dos Óculos, cachoeira da Ruínas da Ponte Queimada em Pingo de água, cachoeira Sant'Ana e cachoeira Escura;
- Na região estuarina não foram implementadas batimetrias nos canais de drenagem e lagoas situadas na planície de inundação do rio Doce. Salienta-se que o objetivo do estudo é a modelagem hidrodinâmica do rio Doce, que possui um controle hidráulico sobre todos os canais e lagoas existentes em suas margens. Portanto, entende-se que é possível interpretar o alcance das cheias do rio Doce sobre essas estruturas, sendo mais conservadora, uma vez que o escoamento fluvial neste caso ocorrerá por cima dessa região, podendo superestimar as inundações;
- O MDT constitui um importante produto para desenvolvimento dos estudos hidráulicos e poderá ser utilizado em estudos de definição de planície de inundação, de modelagem de qualidade da água, de transporte de sedimentos e de ruptura hipotética de barragens dentre outros.

O item 7 apresentou os estudos realizados para cálculo das vazões notáveis, com tempo de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos de tempo de retorno, além das vazões das cheias naturais ocorridas em janeiro de 2016 e janeiro de 2020 no rio Doce entre a UHE Risoleta Neves e a foz. Salienta-se que o estirão fluvial em análise é contemplado com uma rede de informações hidrográficas

operadas pela CPRM e ANA, totalizando 7 estações fluviométricas convencionais cujos dados foram analisados, consistidos e utilizados para a construção de curvas de regionalização de vazões.

Entende-se que os dados utilizados bem como a metodologia empregada para o cálculo das vazões são adequados e suficientes para sua utilização no modelo de inundação, objetivo final desse contrato. São feitas as seguintes observações:

- Conforme mencionado no item 7.2.2, a estação Resplendor possui dados até 2004, dessa forma a mesma foi desconsiderada para a análise das cheias de 2016 e 2020;
- Verificou-se que as estações Fazenda Cachoeira d'Antas, Cachoeira dos Óculos Montante e Belo Oriente apresentaram melhor ajuste à distribuição de probabilidade pela curva Exponencial, enquanto para as demais estações em estudo, Governador Valadares, Tumiritinga, Resplendor Jusante e Colatina, um melhor ajuste foi observado para a curva de Gumbel. Para melhor avaliar a capacidade de ajuste das distribuições selecionadas aos dados fluviométricos de cada estação, foram realizados testes de aderência amplamente utilizados em estudos hidrológicos: Kolmogorov-Smirnov, Qui-Quadrado, Anderson-Darling e Filliben. Todos os testes de aderência foram aceitos tendo em vista a ocorrência de p-valores acima do valor crítico de 0,05;
- As vazões modeladas com aplicação do método de Fuller para os cenários de 2016 e 2020 foram superiores as vazões instantâneas de pico obtidas das estações telemétricas para todas as estações fluviométricas analisadas, com exceção para estação Governador Valadares que apresentou um valor 4,5% inferior para janeiro de 2016. Portanto, a utilização do método de Fuller para esses cenários se mostrou uma abordagem conservadora, agindo a favor da segurança no estudo realizado.

O item 8 apresentou os modelos hidrodinâmicos construídos com descrição dos dados utilizados, premissas e critérios adotados e resultados alcançados. Os resultados apresentados neste relatório estão de acordo com os ofícios FEAM/CT – GRSA n°. 62/2020 e n° 10/2021 e Nota Técnica CT-GRSA n° 7/2021, sendo que cada item destes documentos foi atendido e referenciado conforme o Apêndice 12.9 contemplando: modelo unidimensional que abrange toda a área de estudo e modelos bidimensionais que abrangem separadamente sedes municipais e distritos ao longo do rio Doce (Ipatinga, Governador

Valadares, Aimorés, Baixo Guandu, Itapina, Colatina, Linhares), de acordo com os itens 1 e 3 da Deliberação nº 497/2021.

As premissas e critérios adotados contemplaram principalmente a definição do coeficiente de rugosidade de Manning, das condições de contorno e da geometria de simulação. Para a caracterização da rugosidade da planície de inundação utilizaram-se referências consolidadas da literatura de acordo com o uso e ocupação do solo da região. No caso da rugosidade da calha do rio doce, esta foi determinada de acordo com calibração realizada pelo método de *Standard Step* que calcula o perfil da linha de água entre as seções transversais levantadas considerando regime de escoamento permanente e fluxo unidimensional.

Salienta-se que os valores de coeficiente de rugosidade de Manning obtidos no processo de calibração, ainda que condizentes com os valores propostos na literatura, estão sujeitos a incertezas referentes principalmente aos valores de nível de água observados para as estações fluviométricas cujos valores de cota zero da régua são desconhecidos para a maioria das estações fluviométricas utilizadas. Além disso, o perfil de linha de água simulado está condicionado ao perfil longitudinal do talvegue e, portanto, para estações fluviométricas localizadas em trechos com poucas seções transversais conhecidas, a incerteza sobre os níveis de água simulados aumenta.

Os resultados das simulações hidrodinâmicas foram analisados em conjunto com registros jornalísticos, registros de imagens de satélite, registros de níveis de água em estações fluviométricas e registros de marcas da cheia de 2020 levantados em campo pelo LACTEC. As análises realizadas indicaram que os resultados das simulações se mostraram condizentes com os registros jornalísticos para as cheias de janeiro de 2016 e janeiro de 2020. Além disso, a comparação entre as envoltórias de simulação e áreas alagadas visualizadas em imagens de satélite também indicaram resultados concordantes. Com relação à comparação entre os resultados e níveis de água observados foram obtidos maiores valores de discrepância para o modelo unidimensional nas estações Fazenda Cachoeira D'Antas, Cachoeira dos Óculos Montante e Tumiritinga. A comparação dos resultados com as marcas de cheia do evento de 2020 indicaram menores discrepâncias na sede de Governador Valadares.

Por último, o item 9 apresentou comparações entre metodologias empregadas e resultados das simulações hidrodinâmicas do evento de Jan/2016 considerando estudos anteriores realizados pelo Centro de Ciência e Tecnologia LACTEC e o presente estudo. Observou-se que o presente estudo possui uma área de abrangência maior levando em consideração as simulações de escoamento bidimensionais e contempla cenários de simulação de tempos de retorno notáveis não inclusos nos estudos anteriores. Além disso, o presente estudo apresenta geometria bidimensional mais refinada, utilização dos equacionamentos de Full Momentum para modelagem 2D e modelo digital de terreno mais completo por considerar mais seções topobatimétricas, as batimetrias das três UHEs e tratamento do MDE IEMA. Com relação à comparação das manchas de inundação do evento de Jan/2016, o presente estudo demonstrou a elaboração de resultados mais coerentes com os registros jornalísticos e análises de imagens de sensoriamento remoto.

11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRANTES, T. V. *Determinação de Coeficientes de Rugosidade Equivalentes do Rio Doce*. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de São João Del Rei. Ouro Branco, 2017. 71 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Modelo Digital de Elevação (MDE) de alta resolução espacial (células de 1m), Imagens de satélite de Alta Resolução (0,5m), Pontos de Controle e Curvas de Nível com equidistância de 1m para os 26 municípios elencados pelo Comitê de Bacia do Rio Doce. Catálogo de Metadados ANA. 2014. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/830d00e6-9924-469d-b24b-aff67a1fd432>>. Acesso em: 11 de maio de 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Seções Transversais Topobatimétricas na Bacia do Rio Doce. Catálogo de Metadados ANA. 2019. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/3f40dc0f-fbb3-4b90-a640-9ce978f0fa3b>>. Acesso em: 11 de maio de 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas 2017 5k (BHO5k). Catálogo de Metadados ANA. 2018. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/f7b1fc91-f5bc-4d0d-9f4f-f4e5061e5d8f>>. Acesso em: 11 de maio de 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Uso e Ocupação do Solo em moderada resolução espacial (10m) da Bacia do Rio Doce. Catálogo de Metadados ANA. 2016. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/49a3aa22-fff4-4527-a17b-64b6ad31d8cb>>. Acesso em: 11 de maio de 2021.

ARCEMENT, G. J. & SCHNEIDER, V. R. Guide for selecting Manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains. Water Supply Paper. Report 2339. USGS Publications Warehouse. 1989.

BAPTISTA, M. B. & COELHO, M. M. L. P. Fundamentos de engenharia hidráulica. 3ª ed. revisada e ampliada – Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.473 p.

BRASIL. Ministério Público Federal (MPF). LACTEC. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce. 3º Relatório Parcial de Resultados: Cheia de 2020. Curitiba: Lactec, 2020.

COUTINHO, M. M. *Avaliação do Desempenho da Modelagem Hidráulica Unidimensional e Bidimensional na Simulação de Eventos de Inundação em Colatina/ES*. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. Belo Horizonte, 2015. 260 p.

CHOW, V. T., *Open Channel Hydraulics*. Editora McGraw-Hill, New York, 1959. 680 p.

CHOW, V. T. *Hidráulica de canales abiertos*. Santafé de Bogotá: Mc Graw-Hill Interamericana S.A., 1994. 667p.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). *Definição da Planície de Inundação da Cidade de Governador Valadares - MG./* Graziela da Silva Rocha Oliveira, Nelson Baptista O Resende Costa, Sérgio Cordeiro da Luz, Gilberto Flausino, Olívio Bahia do Sacramento Neto. Belo Horizonte: CPRM-BH, junho/2004. 21p.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). *Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes, Inundações e Movimentos de Massa*. Fevereiro – 2014. Disponível em:< <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/19012>>. Acesso em: 11 de maio de 2021.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). *Definição da Planície de Inundação da Cidade de Colatina-ES./* Marlon Marques Coutinho, Breno Guerreiro da Motta, Colab. – Belo Horizonte: CPRM-BH, 2016. 196 p.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). *Boletim Extraordinário do Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do rio Doce*. Belo Horizonte, 30 de janeiro de 2020 às 09:00h.

Disponível em: <https://www.cprm.gov.br/sace/boletins/Doce/20200130_09-20200130%20-%20090959.pdf>. Acesso em: 11 de maio de 2021.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). *Boletim Extraordinário do Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do rio Doce*. Belo Horizonte, 31 de janeiro de 2020 às 20:00h.

Disponível em: <https://www.cprm.gov.br/sace/boletins/Doce/20200131_20-20200131%20-%2005711.pdf>. Acesso em: 11 de maio de 2021.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). *Boletim do Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do rio Doce*. Belo Horizonte, 24 de Janeiro de 2016 às 20:00h. Disponível em:

< https://www.cprm.gov.br/sace/boletins/Doce/20160124_20-20160124%20-%2004520.pdf>. Acesso em: 11 de maio de 2021.

FERREIRA, ZANA. Moradores vigiam elevação do nível do Rio Doce em Valadares. **G1**. 20 de jan. de 2016. Disponível em: < <http://g1.globo.com/mg/vales-mg/noticia/2016/01/moradores-vigiam-elevacao-do-nivel-do-rio-doce-em-valadares.html>>. Acesso em: 11 de maio de 2021.

FULLER, W. E. (1914), Flood flows, Trans. Am. Soc. Civ. Eng., 77, 564 – 617.

FUNDAÇÃO RENOVA. Modelo digital de terreno obtida de dados oriundos de perfilamento aéreo a laser executado no período entre 30/11/2018 e 19/06/2019, pela empresa Fototerra.

G1 ES. Nível do Rio Doce diminui, mas comunidades continuam alagadas em Linhares, ES. **G1**. 29 de jan. de 2020. Disponível em: <<https://g1.globo.com/es/espírito-santo/noticia/2020/01/29/nivel-do-rio-doce-diminui-mas-comunidades-continuam-alagadas-em-linhares-es.ghtml>>. Acesso em: 11 de maio de 2021.

G1 Vales de Minas Gerais. Depois de alerta para evacuação, bairro Ilha do Rio Doce possui 250 desalojados em Caratinga. **G1**. 28 de jan. de 2020. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/vales-mg/noticia/2020/01/28/depois-de-alerta-para-evacuacao-bairro-ilha-do-rio-doce-possui-250-desalojados-em-caratinga.ghtml>>. Acesso em: 11 de maio de 2021.

G1 Vales de Minas Gerais. Aimorés tem inundação e se prepara para abertura de comporta de Usina Hidrelétrica nesta terça-feira (28). **G1**. 27 de jan. de 2020. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/vales-mg/noticia/2020/01/27/aimores-tem-inundacao-e-se-prepara-para-abertura-de-comporta-de-usina-hidreletrica-nesta-terca-feira-28.ghtml>>. Acesso em: 11 de maio de 2021.

G1 ES. Rio Doce ultrapassa cota de inundação em Colatina, ES. **G1**. 27 de jan. de 2020. Disponível em: <<https://g1.globo.com/es/espírito-santo/noticia/2020/01/27/rio-doce-atinge-cota-de-inundacao-em-colatina-es.ghtml>>. Acesso em: 11 de maio de 2021.

G1 Vales de Minas Gerais. Governador Valadares registra enchente e Rio Doce continua a subir, diz Defesa Civil. **G1**. 26 de jan. de 2020. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/vales-mg/noticia/2020/01/26/governador-valadares-registra-enchente-e-rio-doce-continua-a-subir-diz-defesa-civil.ghtml>>. Acesso em: 11 de maio de 2021.

G1 Vales de Minas Gerais. Nível do Rio Doce sobe e deixa Valadares em estado de alerta. **G1**. 20 de jan. de 2016. Disponível em: <<http://g1.globo.com/mg/vales-mg/noticia/2016/01/nivel-do-rio-doce-sobe-e-deixa-valadares-em-estado-de-alerta.html/>>. Acesso em: 11 de maio de 2021.

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO (IEMA). Dados topográficos de um levantamento realizado por Hiparc Geotecnologia, entre os anos de 2012 e 2015. Disponível em: <<https://geobases.es.gov.br/novas-imagens-map-es-2012-2015-sem-ecw>>. Acesso em: 11 de maio de 2021.

KJERFVE, B. *Comparative oceanography of coastal lagoons*. In: WOLFE, D.A. Estuarine variability. New York: Academic Press, 1986, 63 – 81 p

LACTEC. *Diagnóstico Socioambiental dos Danos Decorrentes do Rompimento da Barragem de Fundão na Bacia do Rio Doce e Região Costeira Adjacente TOMO I – Contextualização*. 2020a.

LACTEC. *Parecer técnico sobre a área de passagem e deposição dos rejeitos advindos do rompimento da barragem de Fundão ao longo dos rios afetados*. 2020b.

LACTEC. *Diagnóstico Socioambiental - 3º Relatório Parcial de Resultados*. 2020c.

OLIVEIRA, Cinthya. Usina abre comportas em Aimorés e município se prepara para inundação; 1.200 estão desalojados. **Hoje em Dia**. 28 de jan. de 2020. Disponível em: <<https://www.hojeemdia.com.br/horizontes/usina-abre-comportas-em-aimor%C3%A9s-e-munic%C3%ADpio-se-prepara-para-inunda%C3%A7%C3%A3o-1-200-est%C3%A3o-desalojados-1.769389>>. Acesso em: 11 de maio de 2021.

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. *Princípios de Oceanografia Física de Estuários*. 1ª Ed. Editora Edusp, 2002.

MESMER, MATHEUS & FERREIRA, ZANA. Governador Valadares decreta situação de emergência e contabiliza 15 mil pessoas desalojadas no município; 292 estão desabrigadas. **G1**. 27 de jan. de 2020. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/vales-mg/noticia/2020/01/27/governador-valadares-decreta-situacao-de-emergencia-e-contabiliza-15-mil-pessoas-desalojadas-no-municipio-292-estao-desabrigadas.ghtml>>. Acesso em: 11 de maio de 2021.

PINHEIRO, H. T. & JOYEUX, J. C. *Pescarias Multi-específicas na região da foz do Rio Doce, ES, Brasil: Características, Problemas e Opções para um Futuro Sustentável*. Braz. J. Aquat. Sci. Technol., 2007, 11(2):15-23.

PREFEITURA MUNICIPAL DE GOVERNADOR VALADARES. Prefeito decreta situação de emergência em Governador Valadares. Prefeitura Municipal de Governador Valadares. 27 de jan. de 2020. Disponível em: <<https://www.valadares.mg.gov.br/detalhe-da-materia/info/prefeito-decreta-situacao-de-emergencia-em-governador-valadares/87311>>. Acesso em: 11 de maio de 2021.

REDAÇÃO, Radar Capixaba. Ação abre 'boca da barra' na Lagoa Monsarás, em Povoação, para escoar água da cheia do Rio Doce. **Radar Capixaba**. 29 de jan. de 2020. Disponível em: <<https://www.radarcapixaba.com.br/wp/acao-abre-boca-da-barra-na-lagoa-monsaras-em-povoacao-para-escoar-agua-da-cheia-do-rio-doce/>>. Acesso em: 11 de maio de 2021.

SISTEMA DE ACOMPANHAMENTO DE RESERVATÓRIO -SAR. Disponível em:<
<https://www.ana.gov.br/sar0/MedicaoSin>>. Acesso em: 11 de maio de 2021.

TEIXEIRA, E. K. C.; COELHO, M. M. L. P.; PINTO, E. J. A.; DINIZ, J. G.; SALIBA, A. P. M.
Manning's roughness coefficient for the Doce River. Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH),
Porto Alegre, v. 23, e52, 2018.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS. River Analysis System 2D Modeling User's Manual. Davis,
CA. 2016.

WALM Engenharia e Tecnologia Ambiental. *Projeto Conceitual - Estudo Hidrológico de Apoio aos
Projetos de Viabilidade dos Barramentos das Lagoas Pandolfi, Areal e Monsarás - SE23030 Relatório
Técnico - Civil – Infraestrutura*. 2018.

12 APÊNDICES / ANEXOS

12.1 Levantamento das 40 seções topobatimétricas complementares

12.1.1 Localização das seções topobatimétricas complementares

12.1.2 Planilha Eletrônica contemplando a tabela de dados de cada seção

12.1.3 Arquivos de processamento por rastreamento

12.1.4 Desenhos: planta e perfil das seções topobatimétricas levantadas

12.1.5 Equipamentos e softwares utilizados

- Estação Total, com precisão de 3” angular e 1mm + 1ppm por km nas medidas lineares, da marca TOPCON;
- Equipamento GNSS de navegação, da GARMIN;
- Equipamento GNSS em Levantamento Cinemático em Tempo Real (RTK), da TOPCON;
- Máquina fotográfica para o registro de fotos;
- GPS RTX, com uma precisão de até 0,01 metros na horizontal e de até 0,03 metros na vertical;
- Ecobatimetro HD-380 HITAGET;
- GPS Topcon T300 L1L2 RTK;
- AutoCAD;
- MAPGEO 2015;
- Microsoft Word;
- Microsoft Excel;
- Topcon Tools;
- Hi Sound;
- Topograph;

- Global Mapper.

Os equipamentos utilizados possuem um novo sistema, denominado RTX, no qual as coordenadas são corrigidas por satélites com uma precisão adequada para a realização do trabalho, sem necessitar de transporte de coordenadas ou bases de apoio. A única necessidade é a conversão das altitudes que são elipsoidais para ortométrica, realizado pelo software MAPGEO2015 do IBGE.

12.1.6 Coordenadas das seções topobatimétrica complementares

Tabela 12-1 –Coordenadas das seções levantadas.

Seção	Coordenadas		Coordenadas		Fuso
	Longitude (°)	Latitude (°)	Longitude (m)	Latitude (m)	
1	-42,85161	-20,19676	724493,053	7765290,872	23S
2	-42,75931	-20,11250	734266,740	7774493,521	23S
3	-42,74359	-20,01491	736057,268	7785277,162	23S
4	-42,62966	-19,92511	748121,477	7795056,532	23S
5	-42,54142	-19,86131	757465,897	7801988,758	23S
6	-42,50025	-19,69379	762053,923	7820475,771	23S
7	-42,48241	-19,64754	764000,947	7825569,980	23S
8	-42,52077	-19,49969	760212,935	7842001,303	23S
9	-42,49272	-19,57684	763033,910	7833415,278	23S
10	-42,42854	-19,42091	770029,461	7850583,055	23S
11	-42,41375	-19,38881	771636,740	7854114,310	23S
12	-42,35130	-19,28135	778381,557	7865915,875	23S
13	-42,29150	-19,23862	784743,614	7870550,884	23S
14	-42,24051	-19,17051	790227,930	7878009,730	23S
15	-42,20905	-19,14468	793583,955	7880817,314	23S
16	-42,13296	-19,06233	801742,757	7889808,691	23S
17	-42,07571	-18,96648	807949,240	7900325,200	23S

Seção	Coordenadas		Coordenadas		Fuso
	Longitude (°)	Latitude (°)	Longitude (m)	Latitude (m)	
18	-42,03959	-18,93915	811806,150	7903289,672	23S
19	-41,71646	-18,87904	213801,076	7910359,553	24S
20	-41,71043	-18,91230	214493,485	7906686,181	24S
21	-41,70340	-18,94542	215290,531	7903029,527	24S
22	-41,39930	-19,19873	247716,730	7875445,823	24S
23	-41,30311	-19,24744	257906,900	7870189,059	24S
24	-41,25697	-19,30204	262838,155	7864207,283	24S
25	-41,09321	-19,45999	280264,279	7846936,931	24S
26	-41,07182	-19,48858	282547,939	7843798,384	24S
27	-40,34296	-19,51751	359086,621	7841357,756	24S
28	-40,13832	-19,43277	380498,962	7850891,619	24S
29	-39,90598	-19,49887	404930,317	7843720,992	24S
30	-39,81613	-19,64646	414437,494	7827435,660	24S
31	-40,06348	-19,41079	388341,764	7853374,551	24S
32	-40,03774	-19,41822	391048,853	7852568,061	24S
33	-40,01047	-19,42347	393915,433	7852004,708	24S
34	-39,98289	-19,42620	396812,895	7851719,490	24S
35	-39,95600	-19,43035	399638,551	7851275,912	24S
36	-39,93518	-19,44766	401835,438	7849372,031	24S
37	-39,92097	-19,47019	403339,987	7846887,141	24S
38	-39,90892	-19,49357	404618,218	7844306,465	24S
39	-39,89349	-19,51556	406250,279	7841880,864	24S
40	-39,87799	-19,53636	407888,716	7839587,328	24S

12.1.7 Registro Fotográfico



Figura 12-1 – Levantamento da SC-01.



Figura 12-2 – Levantamento da SC-02.



Figura 12-3 – Levantamento da SC-03.



Figura 12-4 – Levantamento da SC-04.



Figura 12-5 – Levantamento da SC-05.



Figura 12-6 – Levantamento da SC-06.



Figura 12-7 – Levantamento da SC-07.



Figura 12-8 – Levantamento da SC-08.



Figura 12-9 – Levantamento da SC-09.



Figura 12-10 – Levantamento da SC-10.



Figura 12-11 – Levantamento da SC-11.



Figura 12-12 – Levantamento da SC-12.



Figura 12-13 – Levantamento da SC-13.



Figura 12-14 – Levantamento da SC-14.



Figura 12-15 – Levantamento da SC-15.



Figura 12-16 – Levantamento da SC-16.



Figura 12-17 – Levantamento da SC-17.



Figura 12-18 – Levantamento da SC-18.



Figura 12-19 – Levantamento da SC-19.



Figura 12-20 – Levantamento da SC-20.



Figura 12-21 – Levantamento da SC-21.



Figura 12-22 – Levantamento da SC-22.



Figura 12-23 – Levantamento da SC-23.



Figura 12-24 – Levantamento da SC-24.



Figura 12-25 – Levantamento da SC-25.



Figura 12-26 – Levantamento da SC-26.



Figura 12-27 – Levantamento da SC-27.



Figura 12-28 – Levantamento da SC-28.



Figura 12-29 – Levantamento da SC-29.



Figura 12-30 – Levantamento da SC-30.



Figura 12-31 – Levantamento da SC-31.



Figura 12-32 – Levantamento da SC-32.



Figura 12-33 – Levantamento da SC-33.



Figura 12-34 – Levantamento da SC-34.



Figura 12-35 – Levantamento da SC-35.



Figura 12-36 – Levantamento da SC-36.



Figura 12-37 – Levantamento da SC-37.



Figura 12-38 – Levantamento da SC-38.



Figura 12-39 – Levantamento da SC-39.



Figura 12-40 – Levantamento da SC-40.

12.2 Localização das 188 Seções Topobatimétricas

12.3 Quadro Resumo de Premissas e Critérios das Modelagens Hidrodinâmicas

12.4 Modelo Digital de Terreno

12.5 Mapas e Manchas de Inundação

12.6 Resultados das seções transversais

12.7 Registros Jornalísticos das Cheias de 2016 e 2020

12.8 ART

12.9 Atendimento às requisições da CT-GRSA e CIF

Este item atende a Deliberação CIF nº 25/2016, essa solicita, além dessa planilha indicando as páginas do documento em que se atesta o atendimento aos ofícios, deliberações e notificações encaminhados à Fundação Renova, o sumário executivo que resume o documento completo, e ainda a entrega dos dados (planilhas, arquivos de shape, arquivos digitais, etc.).

DOCUMENTO	REQUISIÇÃO	RELATÓRIO	
		ITEM	PÁGINA
NT CT-GRSA 22.2020 Item 2.a.	O estudo deverá apresentar as manchas de inundação geradas através de modelagem bidimensional para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos;	12.5	376

DOCUMENTO	REQUISIÇÃO	RELATÓRIO	
		ITEM	PÁGINA
NT CT-GRSA 22.2020 Item 2.b.	Deve ser observado que para a região a jusante de Linhares, mais próximo a foz do rio Doce, deverá utilizar os dados com o MDT do IEMA com resolução espacial de 2 metros, para complementar as informações espaciais, visto que os dados laser citados não cobriam toda a área necessária à modelagem (áreas em direção ao norte e sul da foz do rio Doce). Caso exista dados mais precisos e melhores, como melhor resolução espacial, deverão ser utilizados, desde que comparados e justificados tecnicamente;	3.4	43
NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 1 – item 2			
NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 3 – item 12			
NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 3 – item 15			
NT CT-GRSA 22.2020 Item 2.c.	Não são feitas menções de como serão tratadas as vazões contribuintes dos afluentes do rio Doce e os efeitos de amortecimento da vazão ao longo dos reservatórios. Estes dados deverão ser apresentados nas entregas parciais e finais do referente estudo;	7.2.1	226
NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 1 – item 3		7.2.2	231
NT CT-GRSA 22.2020 Item 2.d.	É importante a utilização de modelagem 2D em regiões próximas da foz, UHEs e em áreas urbanas. Impreterivelmente.	8	246
NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 1 – item 4			
NT CT-GRSA 22.2020 Item 2.e.	Apresentar a descrição dos procedimentos e metodologias utilizadas, detalhadamente, para a obtenção das bases de dados de entrada necessária para modelagem hidrodinâmica;	7	194
Memorando FEAM/ GEAAD n°17/2020 Item 1 – Parágrafo 1			
NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 1 – item 5			

DOCUMENTO	REQUISIÇÃO	RELATÓRIO	
		ITEM	PÁGINA
<p>NT CT-GRSA 22.2020 Item 2.f.</p> <p>Memorando FEAM/ GEAAD nº17/2020 Item 1 – Parágrafo 2</p> <p>NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 1 – item 6</p>	<p>Além dos dados já apresentados, modelagem hidrodinâmica deverá incluir informações, como dados de entrada:</p> <p>1- componentes hidráulicos (pontes, reservatórios, barramentos, obstruções e vertedouros);</p> <p>2- condições iniciais (lâmina/vazão inicial ou hidrograma);</p> <p>3- regime de escoamento;</p> <p>4- condições de contorno; e</p> <p>5- critério de parada.</p>	12.3	376
<p>NT CT-GRSA 22.2020 Item 2.g.</p> <p>Memorando FEAM/ GEAAD nº17/2020 Item 1 – Parágrafo 3</p> <p>NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 1 – item 7</p>	<p>Ao final das simulações, apresentar quadro resumo para cada cenário proposto informando todos os inputs utilizados, podendo ser incluso como anexo no documento que será entregue;</p>	12.3	376
<p>NT CT-GRSA 22.2020 Item 2.h.</p> <p>Memorando FEAM/ GEAAD nº17/2020 Item 2 – Parágrafo 1</p> <p>NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 1 – item 8</p>	<p>Para os dados de saída, apresentar:</p> <p>1. A envoltória máxima de inundação;</p> <p>2. Profundidade de inundação;</p> <p>3. Velocidade de fluxo.</p>	12.5	376
<p>NT CT-GRSA 22.2020 Item 2.i.</p> <p>NT Nº16 / IGAM / GMHEC / 2020 Item 2 – Ponto 9</p> <p>NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 1 – item 9</p>	<p>Os mapas de inundação gerados devem conter, além da determinação das áreas inundadas, as cotas alcançadas pelas vazões associadas aos diferentes períodos de retorno</p>	12.5	376

DOCUMENTO	REQUISIÇÃO	RELATÓRIO	
		ITEM	PÁGINA
NT CT-GRSA 22.2020 Item 2.j.			
NT N°16 / IGAM / GMHEC / 2020 Item 2 – Ponto 5	Em relação ao ajuste das distribuições probabilísticas, recomenda-se testar a aderência às seguintes distribuições: Gumbel, Pearson III, Log Pearson III, Log Normal II e Log Normal III, de acordo com a aderência dos dados e justificativa técnica;	7.1.8	220
NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 1 – item 1			
NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 1 – item 10			
			Subproduto 1: Ofício FR.2020.2120 - 22/12/2020
NT CT-GRSA 22.2020 Item 2.l.	Para melhor acompanhamento dos sub-produtos gerados, deverá ser encaminhado à CT-GRSA relatórios intermediários contendo: i) Levantamento topobatimétrico complementar e informações dos dados de entrada; ii) Modelo Digital de Terreno; iii) Modelagem hidráulica, quando a Fundação Renova tiver as principais entregas e de acordo com o cronograma apresentado.		Subproduto 2: Ofício FR.2021.0134 - 27/01/2021
			Subproduto : Ofício FR.2021.0296 - 26/02/2021
NT CT-GRSA 22.2020 Item 2.m.	Apresentar as fontes de dados de topografia e batimetrias adotadas para elaboração do estudo com os respectivos mapas com mosaico para cada modelo;	3	34
NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 1 – item 11			
NT CT-GRSA 22.2020 Item 2.n.	Apresentar a revisão dos estudos hidrológicos;	7	194
NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 1 – item 12			

DOCUMENTO	REQUISIÇÃO	RELATÓRIO	
		ITEM	PÁGINA
NT CT-GRSA 22.2020 Item 2.o.	Não foi apresentado junto ao Plano de Trabalho a Assinatura de Responsabilidade Técnica dos Responsáveis. Tal item deve ser encaminhado a Câmara Técnica, seguido das informações que auxiliaram na elaboração de mapas, em arquivos de shape files.	12.5	376
NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 1 – item 13		12.8	376
NT N°16 / IGAM / GMHEC / 2020 Item 2 – Ponto 7	O estudo não especifica as estações que serão utilizadas no estudo, os trechos, nem o período da série de dados de vazão que será considerado para avaliar as cheias de 2016 e 2020. Para esse último, recomenda-se utilizar o máximo de dados da série histórica disponível, levando em consideração as particularidades das metodologias aplicadas, tal como o Index-Flood, a fim de determinar com maior precisão as vazões associadas aos períodos de retorno propostos.	7	194
NT N°16 / IGAM / GMHEC / 2020 Item 2 – Ponto 8	Embora o estudo mencione as cheias de 2016 e 2020, deve ser considerado o ano hidrológico no lugar do ano civil. Sendo assim, os anos avaliados devem ser, na verdade, os períodos chuvosos referente aos anos hidrológicos 2015/2016 e 2019/2020.	7.2.2	231
Memorando FEAM/ GEAAD n°17/2020 Item 2 – Parágrafo 2	Em todos os produtos elaborados, a envoltória máxima de inundação correspondente ao cenário, simbolizada ou não, deve ser apresentada como uma superfície cobrindo o imageamento background. Um fator de transparência deve ser adotado para permitir visualização de elementos geográficos relevantes	12.5	376
Memorando FEAM/ GEAAD n°17/2020 Item 2 – Parágrafo 3	As informações devem ser apresentadas em Quadros-síntese de Resultados Hidrodinâmicos para cada cenário (inclusive no formato de planilha eletrônica Excel), apresentado os parâmetros hidrodinâmicos, das seções transversais do trecho fluvial jusante. Nestes perfis devem constar: identificação da seção, distância no sentido longitudinal, elevação do fundo do curso de água, profundidade máxima, velocidade máxima e vazão máxima.	12.6	376

DOCUMENTO	REQUISIÇÃO	RELATÓRIO	
		ITEM	PÁGINA
Memorando FEAM/ GEAAD nº 17/2020 Item 3	Todos os dados geoespaciais deverão estar padronizados e acompanhados da documentação correspondente, em conformidade com a Resolução Conjunta Semad/Feam/IEF/Igam nº 2.684, de 03 de setembro de 2018, que estabelece a especificação técnica a ser atendida para o correto encaminhamento de dados geoespaciais digitais vetoriais ao Sisema. A nomenclatura dos arquivos deve apresentar indexação e identificação adequada do conteúdo e do cenário correspondente	12.5	376
Ofício FEAM/CT - GRSA nº. 62/2020	Adicionalmente, requisita-se que a região de Itapina, em Colatina/ES, seja inserida na modelagem 2D, visto que há concentração populacional e é uma região de interesse para análise técnica.	8.4.5	311
NT CT-GRSA 07.2021 Item 4 – 2º parágrafo	É imprescindível que todas as entregas dos subprodutos deverão cumprir a Deliberação CIF nº 25/2016, principalmente quanto à entrega de todos os dados brutos (planilhas, arquivos de shape, arquivos digitais, etc.). Além disso, ainda, cabe a entrega de todos os dados geoespaciais do produto final, devendo apresentar, quando possível, em formatos nativos, como .shp ou .geotif, e, também, em formatos KMZ e KML, nativos do Google Earth, buscando dar maior acesso aos dados.	12	359
NT CT-GRSA 07.2021 Item 4 – 1º subproduto - requisição 1			
NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 1 – item 14	Apresentar em uma tabela a série de vazões máximas anuais por estação fluviométrica.	7.1	197
Ofício FEAM/CT - GRSA nº. 10/2021 Requisição 1			

DOCUMENTO	REQUISIÇÃO	RELATÓRIO											
		ITEM	PÁGINA										
NT CT-GRSA 07.2021 Item 4 – 1º subproduto - requisição 2	<p>Apresentar o erro e a aderência das opções testadas na distribuição de vazões máximas com as séries analisadas. A distribuição escolhida deverá ser aquela com menor erro e melhor aderência. Caso isso não seja obedecido, o estudo hidrológico deverá ser revisado e as simulações (no modelo hidrodinâmico) deverão ser refeitas.</p>	7.1.8	220										
NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 1 – item 15 Ofício FEAM/CT - GRSA nº. 10/2021 Requisição 2				NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 1 – item 16	<p>Apresentar quais foram os anos com falha nos meses de cheia que foram descartados das análises. Apontar em cada estação analisada.</p>	7.1	197	NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 2 – item 1	<p>O Relatório Técnico menciona a realização da consistência dos registros diários de vazão e o descarte de anos com falhas nos meses de cheia, porém não detalha a metodologia utilizada na consistência nem o critério detalhado utilizado para o descarte de dados. Tais dados deverão ser apresentados e acompanhados de sua justificativa técnica detalhada.</p>	7.1	197	NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 3 – item 1	NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 2 – item 2
NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 1 – item 16	<p>Apresentar quais foram os anos com falha nos meses de cheia que foram descartados das análises. Apontar em cada estação analisada.</p>	7.1	197										
NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 2 – item 1	<p>O Relatório Técnico menciona a realização da consistência dos registros diários de vazão e o descarte de anos com falhas nos meses de cheia, porém não detalha a metodologia utilizada na consistência nem o critério detalhado utilizado para o descarte de dados. Tais dados deverão ser apresentados e acompanhados de sua justificativa técnica detalhada.</p>	7.1	197										
NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 3 – item 1				NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 2 – item 2	<p>Foi avaliada a adequação dos dados a três distribuições teóricas de probabilidade: Exponencial, Gumbel e Lognormal. Para esse tipo de análise, sabe-se que o método utilizado para estimar os parâmetros das distribuições de probabilidade influencia no grau de ajuste à série de dados, portanto torna-se necessário averiguar qual o melhor método para estimar os parâmetros, a fim de evitar estimadores sujeitos a variações amostrais, onde são utilizados. Para isso, geralmente utilizam-se de testes de aderência para dar suporte à tomada de decisão sobre a qualidade do ajuste de uma distribuição probabilística à série de dados hidrológicos, o que não foi realizado no referido Relatório Técnico. Sendo assim, recomenda-se a realização dessa etapa com a utilização dos testes de aderência mais comumente utilizados hidrologia, sendo: Kolmogorov-Smirnov, Qui-quadrado, Filliben e Anderson-Darling.</p>	7.1.8	220						
NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 2 – item 2	<p>Foi avaliada a adequação dos dados a três distribuições teóricas de probabilidade: Exponencial, Gumbel e Lognormal. Para esse tipo de análise, sabe-se que o método utilizado para estimar os parâmetros das distribuições de probabilidade influencia no grau de ajuste à série de dados, portanto torna-se necessário averiguar qual o melhor método para estimar os parâmetros, a fim de evitar estimadores sujeitos a variações amostrais, onde são utilizados. Para isso, geralmente utilizam-se de testes de aderência para dar suporte à tomada de decisão sobre a qualidade do ajuste de uma distribuição probabilística à série de dados hidrológicos, o que não foi realizado no referido Relatório Técnico. Sendo assim, recomenda-se a realização dessa etapa com a utilização dos testes de aderência mais comumente utilizados hidrologia, sendo: Kolmogorov-Smirnov, Qui-quadrado, Filliben e Anderson-Darling.</p>	7.1.8	220										

DOCUMENTO	REQUISIÇÃO	RELATÓRIO	
		ITEM	PÁGINA
<p>NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 2 – item 3</p> <p>Ofício FEAM/CT - GRSA n.º. 10/2021 1º SUBPRODUTO Considerações CT-GRSA</p>	<p>Considerando que algumas estações selecionadas para fazer parte do estudo são telemétricas, ou seja, possuem transmissão automática, com geração de dados de 15 em 15 minutos, deve-se avaliar a utilização de dados telemétricos ou então utilizá-los para aferir os resultados encontrados nos ajustes feitos utilizando a Equação de Fuller.</p>	7.3	241
<p>NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 2 – item 4</p> <p>Ofício FEAM/CT - GRSA n.º. 10/2021 1º SUBPRODUTO Considerações CT-GRSA 1</p>	<p>Considerando que o período chuvoso de 2019/2020 teve consideráveis dados de acumulação de precipitação, principalmente na bacia do rio Doce, bem como apresentou uma realidade bem diferente dos últimos anos, os quais registraram a recorrência de anomalias negativas de precipitação, é importante salientar que, antes da entrega final do estudo, os dados que serão utilizados devem ser revistos e atualizados, conforme mencionado na Conclusão do documento.</p>	Conforme	Ofício FEAM/CT - GRSA n.º. 10/2021 este item será atendido no relatório final (item 2 da Deliberação CIF n.º 497/2021) com os dados disponibilizados até o início da modelagem bidimensional completa dos trechos T13 a T16.
<p>NT CT-GRSA 07.2021 Item 4 – 1º subproduto – requisição 3</p> <p>Ofício FEAM/CT - GRSA n.º. 10/2021 1º SUBPRODUTO Considerações CT-GRSA 2</p> <p>Ofício FEAM/CT - GRSA n.º. 10/2021 Requisição 3</p>	<p>Apresentar os erros das vazões das cheias ocorridas em 2016 e 2020 em cada estação fluviométrica conhecida.</p>	7.3	241

DOCUMENTO	REQUISIÇÃO	RELATÓRIO	
		ITEM	PÁGINA
NT CT-GRSA 07.2021			
Item 4 – 1º subproduto			
– requisição 4			
Ofício FEAM/CT - GRSA nº. 10/2021 1º SUBPRODUTO Considerações CT- GRSA 3	Apresentar os erros do nível calculado pelo modelo, com altura de marcas das inundações de 2016 e de 2020 conhecidas. Considerar o erro do modelo na definição das manchas de inundação de 2016 e 2020. Considerar o relatório produzido pelo LACTEC.	8.2	259
		8.5	327
Ofício FEAM/CT - GRSA nº. 10/2021 Requisição 4			
<hr/>			
NT CT-GRSA 07.2021			
Item 4 – 1º subproduto			
– requisição 5			
Ofício FEAM/CT - GRSA nº. 10/2021 1º SUBPRODUTO Considerações CT- GRSA 4	Apresentar a mancha de inundação de 2020 (área de susceptibilidade ao extravasamento da lama), local em que pode ocorrer novos impactos. Considerar o estudo da LACTEC, que ainda está em quarentena.	12.5	376
Ofício FEAM/CT - GRSA nº. 10/2021 Requisição 6			
<hr/>			
NT CT-GRSA 07.2021			
Item 4 – 1º subproduto			
– requisição 6			
NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 3 – item 16	Considerar os canais de drenagem, presente na região da foz do rio Doce, dentro da paisagem. Esses canais indicam os locais que, de fato, alteram a mancha de inundação. Além disso, tais canais fazem a comunicação entre o Rio Doce e a região costeira e marinha da foz do rio.	6.8.1	180
Ofício FEAM/CT - GRSA nº. 10/2021 Requisição 7			

DOCUMENTO	REQUISIÇÃO	RELATÓRIO	
		ITEM	PÁGINA
NT CT-GRSA 07.2021 Item 4 – 1º subproduto – requisição 7 Ofício FEAM/CT - GRSA nº. 10/2021 Requisição 8	Propor a utilização de imagens de satélite para fazer a validação dos locais que realmente foram atingidos.	8.4	296
NT CT-GRSA 07.2021 Item 4 – 1º subproduto – requisição 8 NT CT-GRSA 07.2021 Item 4 – 2º subproduto – requisição 4 NT CT-GRSA 07.2021 Item 4 – 3º subproduto – requisição 6	Atender as recomendações e orientações da Nota Técnica GEAAD/FEAM	12.5	376
NT CT-GRSA 07.2021 Item 4 – 2º subproduto – requisição 1	Padronização da escala utilizada nos levantamentos realizados.	12.1.4	359
NT CT-GRSA 07.2021 Item 4 – 2º subproduto – requisição 2 NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 3 – item 5	Apresentar as informações quanto a batimetria em corredeiras.	6.4.1	161
NT CT-GRSA 07.2021 Item 4 – 2º subproduto – requisição 3 NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 3 – item 6	Apresentar as informações quanto a distância entre os pontos de batimetria.	5.1	89
NT CT-GRSA 07.2021 Item 4 – 3º subproduto – requisição 1	Plotar todos os pontos utilizados para a confecção do Modelo Digital de Terreno (MDT) em um mesmo mapa de pontos e não apenas os 40 pontos complementares.	6.2	127

DOCUMENTO	REQUISIÇÃO	RELATÓRIO	
		ITEM	PÁGINA
NT CT-GRSA 07.2021 Item 4 – 3º subproduto – requisição 2 Ofício FEAM/CT - GRSA n°. 10/2021 3º SUBPRODUTO Considerações CT- GRSA	Na apresentação dos resultados, sugere-se apresentar a data e hora do levantamento realizado, bem como se existem réguas de nível próximos aos locais que foram levantados.	5.2.1	121
NT CT-GRSA 07.2021 Item 4 – 3º subproduto – requisição 3	Para a apresentação dos perfis, atribuir escalas vertical, horizontal para os eixos X e Y e estaqueamento das distâncias ao longo da medição, com isso ajuda melhor a obtenção dos valores x cota.	12.1.4	359
NT CT-GRSA 07.2021 Item 4 – 3º subproduto – requisição 4	Apresentar o levantamento topobatimétrico mais detalhado, de pelo menos, o distanciamento entre pontos de metro em metro seguindo a mesma escala do Modelo Digital do Terreno (MDT) que é de 1x1m.	5.1	89
NT CT-GRSA 07.2021 Item 4 – 3º subproduto – requisição 5	Incluir no Modelo Digital do Terreno (MDT) os canais de drenagem existentes na região do Espírito Santo (porção estuarina).	6.8.1	180
NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 3 – item 7	7 – Os valores apresentados de topobatimetria são ortométricos ou eleptosoidal?	5.2	91
NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 3 – item 8	8- Como será amarrada as seções topobatimétricas que não possuem levantamento da parte terrestre unir com MDT? Não seria recomendado avaliar para seção que se consegue comparar os resultados da seção com MTD já existente para avaliar a necessidade de complementação ou ajuste?	6.3	130
NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 3 – item 9	9 – Pode se detalhar a metodologia de pós processamento de pontos? Pode se apresentar o relatório dos pontos pós processados e se todos os pontos apresentaram ambiguidade.	12.1	359

DOCUMENTO	REQUISIÇÃO	RELATÓRIO	
		ITEM	PÁGINA
NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 3 – item 10	10 – Detalhar de maneira breve e melhor a metodologia para elaborar a etapa 05 referentes a inserção da batimetria no MDT. Esse detalhamento deverá constar no relatório final.	6.5	166
NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 3 – item 11	11 – Na elaboração do MDT final com inserção das seções batimétricas foram consideradas as lagoas nesse processo? Será feita a escavação do MDT nas lagoas, em especial as do ES?	6.8	179
NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 3 – item 13	13 – A ANA levantou 160 seções transversais. Por que algumas dessas seções da região não foram consideradas? Só consideraram 117. Essa informação deve constar no relatório.	3.2	37
NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 3 – item 14	14 – Em nenhum momento cita que será realizada uma modelagem bidimensional na região a jusante de Colatina até o mar. Ficou acordado através dos ofícios que a modelagem da mancha de inundação seria unidimensional, mas que na porção da foz e nas cidades com grande concentração populacional modelagem seria bidimensional, a saber Ipatinga, Governador Valadares, Aimorés, Baixo Guandu, Colatina e Linhares. Para a comunidade de Itapina em Colatina e para a região de Linhares, entre Linhares e a foz do rio Doce, questiona quais ações foram realizadas, pois não estão claras no relatório.	8.3	281
NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 3 – item 17	17 – Nas sessões 29, 35, 37 e 38 como será feita a união com MDT uma vez que está faltando parte do levantamento?	6.3	130
NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 3 – item 18	18 – Quanto ao método de levantamento do leito do rio, verifica-se que há seções com grandes profundidades as quais devem ter utilizada um ecobatímetro. Qual método foi utilizado?	12.1	359
NT CT-GRSA 07.2021 Quadro 3 – item 19	19 – Em caso de uso de ecobatímetro tem ecogramas para análise? As medições originadas a partir do ecobatímetro tiveram as suas coordenadas corrigidas pelo método RTK?	12.1	359

DOCUMENTO	REQUISIÇÃO	RELATÓRIO	
		ITEM	PÁGINA
Ofício FEAM/CT - GRSA n.º. 10/2021 Requisição 5	Incluir os resultados do estudo da LACTEC na mancha de inundação de 2016 (área de passagem e deposição de lama).	9	332
Deliberação CIF 497/2021 Item 1	Determinar que a Fundação Renova protocole o relatório final referente ao estudo da mancha de Inundação do rio Doce em 1 D, entre a UHE Risoleta Neves e a Foz no Estado do Espírito Santo (Trechos 13 a 16 do Plano de Manejo de Rejeitos) para os anos de 2016 e 2020 e em 2 D para as sedes de Ipatinga-MG, Governador Valadares-MG, Aimorés-MG, Baixo Guandu-ES, Colatina-ES, Linhares-ES e para a região entre Linhares-ES e a foz do rio Doce, até 30/06/2021.	Ao longo de todo o relatório	
Deliberação CIF 497/2021 Item 2	Determinar que a Fundação Renova entregue o relatório completo e mapas, contendo ainda a mancha de inundação com a modelagem em 2D, entre a UHE Risoleta Neves e a Foz no Estado do Espírito Santo (Trechos 13 a 16 do Plano de Manejo de Rejeitos) para os anos de 2016 e 2020 até a datade 30/11/2021;	Próxima entrega	
Deliberação CIF 497/2021 Item 3	Determinar que a Fundação Renova ajuste o relatório final às conclusões e recomendações condas na Nota Técnica CT-GRSA n.º 07/2021 - Avaliação dos subprodutos do estudo de caracterização da mancha de inundação entre os trechos T13 a T16, que avaliou: 1º Subproduto (Atualização dos estudos hidrológicos); 2º Subproduto (Visita de campo e Levantamento topobamétrico complementar) e 3º Subproduto (Elaboração do Modelo Digital de Terreno).	Ao longo de todo o relatório	