



**MINAS PCH**

**UHE CANTO DO RIO**

**Estudos Hidrológicos e de Remanso**

**Relatório Técnico**  
**Outubro / 2018**

---

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>ESTUDOS HIDROLÓGICOS .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1</b>	<b>Vazões Médias.....</b>	<b>4</b>
2.1.1	Estações Fluviométrica Seleccionadas .....	4
2.1.2	Consistência de Dados Básicos.....	4
2.1.3	Homogeneização de Períodos nas Estações Base .....	6
2.1.4	Série Histórica da UHE Canto do Rio .....	9
<b>2.2</b>	<b>Vazões Máximas .....</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>ESTUDO DE REMANSO .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1</b>	<b>Informações Básicas .....</b>	<b>17</b>
3.1.1	Estudos Anteriores e Documentos de Referência .....	17
3.1.2	Restituição Aerofotogramétrica .....	19
3.1.3	Dados Cadastrais do Empreendimento .....	19
3.1.4	Levantamentos Topográficos e Topobatimétricos .....	20
<b>3.2</b>	<b>Hidráulica Fluvial .....</b>	<b>32</b>
3.2.1	Calibração do Modelo .....	33
3.2.2	Simulações.....	43
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES SOBRE O TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.....</b>	<b>52</b>
<b>5</b>	<b>ESCLARECIMENTOS AOS QUESTIONAMENTOS DO PARECER TÉCNICO Nº 10/2018-COHID/CGTEF/DILIC.....</b>	<b>57</b>
<b>6</b>	<b>ANÁLISE CONCLUSIVA.....</b>	<b>63</b>
	<b>Anexo 1 – ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA.....</b>	<b>64</b>
	<b>Anexo 2 – MAPAS .....</b>	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Em 08 de fevereiro de 2018, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), por meio do Ofício nº 44/2018/COHID/CGTEF/DILIC-IBANA, encaminhou à Minas PCH S.A. o Parecer Técnico nº 10/2018/COHID/CGTEF/DILIC, datado de 02 de fevereiro de 2018, referente ao Processo nº 02001.006384/2011-51, no qual foi solicitada a delimitação do reservatório com base na envoltória que considera os efeitos de remanso provocado pelo reservatório na ocorrência de uma vazão igual a vazão média das máximas anuais.

O estudo de remanso que fora objeto de análise e que culminou na apresentação do referido Parecer Técnico discutiu amplamente a questão da delimitação do reservatório pelo critério definido no Termo de Referência (IBAMA, 2012), argumentando que as diferenças entre os perfis de linha de água natural e remansado eram pequenas e inferiores à precisão do modelo topográfico usado nos estudos de impacto ambiental, cujo padrão de exatidão cartográfico PEC-A, considera e permite erros maiores do que as diferenças altimétricas verificadas.

Os resultados do trabalho anterior indicavam que a influência do remanso do reservatório, no trecho fluvial que atravessa as áreas urbanas das cidades de Santa Filomena e Alto Parnaíba, era da ordem de poucos centímetros quando consideradas as vazões extraordinárias, ou restrita aos limites da calha menor do curso de água, para vazões mais baixas, incluindo as cheias ordinárias (2 e 5 anos de período de retorno), ou seja, não traria nenhum transtorno adicional associado ao transbordamento do rio Parnaíba de sua calha principal.

Apesar de muito pequena, a influência do remanso neste trecho fluvial não pôde ser considerada inexistente, imputando ao empreendedor, além da necessidade de implantar uma faixa de área de preservação permanente (APP) sob sua responsabilidade, em área urbana consolidada, a obrigação de proteger benfeitorias e infraestruturas que já seriam atingidas naturalmente por cheias de elevada magnitude, ainda que o reservatório inexistia.

A despeito da discussão técnica resumidamente apresentada, considerando que o cumprimento das exigências assessorias ao conceito empregado pelo Instituto, na prática, resulta na inviabilização econômica e social do empreendimento, a solução encontrada para

a compatibilização de ambos, foi a análise de novo nível normal de operação para o empreendimento com base na seguinte premissa principal: a envoltória que define o reservatório deve finalizar a jusante do trecho fluvial que margeia as áreas urbanas das cidades de Santa Filomena e Alto Parnaíba.

Tendo este contexto, os estudos apresentados neste documento abarcam: (i) a atualização dos estudos hidrológicos à luz dos dados mais recentes, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA); (ii) a revisão dos estudos de remanso para o reservatório da UHE Canto do Rio, considerando o nível de água normal de operação na El. 265,0 m, ou seja, 6,0 m abaixo do anterior, de maneira a garantir que a envoltória do reservatório não atinja as áreas urbanas em questão; e (iii) considerações sobre o transporte de sedimentos.

Cabe ressaltar que as vazões de referência para a elaboração dos estudos de remanso, neste documento, estão alteradas em relação aos anteriores, devido à atualização dos estudos hidrológicos, baseada nos dados atualizados das estações fluviométricas disponibilizados pela Agência Nacional de Águas – ANA.

O presente documento foi estruturado de maneira a detalhar tecnicamente os estudos atualizados e revisados e foi dividido em cinco capítulos, além deste introdutório, contendo os três tópicos mencionados, os esclarecimentos diretos às questões apontadas no Parecer Técnico nº 10/2018/COHID/CGTEF/DILIC, anteriormente mencionado e, por fim, uma análise conclusiva dos resultados alcançados com o trabalho.

## 2 ESTUDOS HIDROLÓGICOS

### 2.1 Vazões Médias

#### 2.1.1 Estações Fluviométrica Seleccionadas

Comparando o banco de dados atualizado da ANA com os dados obtidos quando da elaboração dos estudos anteriores, constatou-se uma sutil diferença entre as informações. Por este motivo optou-se pela avaliação da nova análise de consistência dos dados básicos das estações fluviométricas, apresentadas na Tabela 2.1.

**Tabela 2.1.** Estações fluviométricas selecionada.

Código	Local	Rio	Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )	Coordenadas	
				Latitude	Longitude
34020000	Alto Parnaíba	Parnaíba	12.900	- 09°06'47"	-45°55'34"
34040000	Fazenda Paracati	Parnaíba	25.500	-08°16'51"	-45°40'00"
34040500	Fazenda Paracati II	Parnaíba	25.500	-08°16'15"	-45°40'06"

#### 2.1.2 Consistência de Dados Básicos

Seguindo a mesma linha das recomendações feitas pela ANA nos estudos anteriores, os dados das estações fluviométricas selecionadas foram trabalhados nestes estudos conforme constam no banco de dados desta entidade.

As curvas-chaves disponibilizadas pela referida Agência foram validadas e estão apresentadas entre a Figura 2.1 e a Figura 2.3, com seus respectivos períodos de validade. No banco de dados houveram alterações nas séries de cotas médias diárias, as quais são as responsáveis pelas principais diferenças entre os dados apresentados nos estudos anteriores e os dados atuais.

A verificação da correspondência dos dados gerados às curvas-chaves definidas também foi verificada e validada, bem como a obtenção das vazões médias mensais. A estação do rio Parnaíba em Fazenda Paracati (34040000) apresentava dados de vazões médias mensais para o período entre 2005 e 2014, quando já não operava, os quais foram descartados.

Para todas as estações foi mantida a consistência apresentada no banco de dados da ANA.

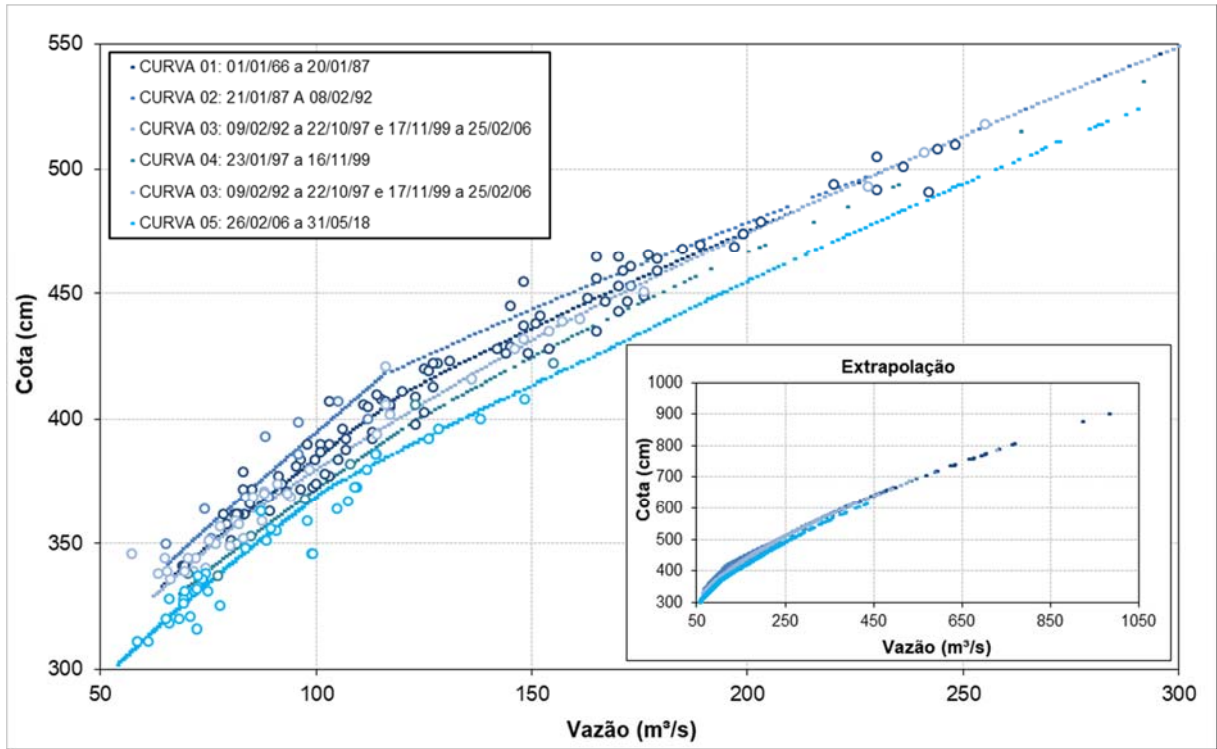


Figura 2.1. Curvas-chaves do rio Parnaíba em Alto Parnaíba (34020000).

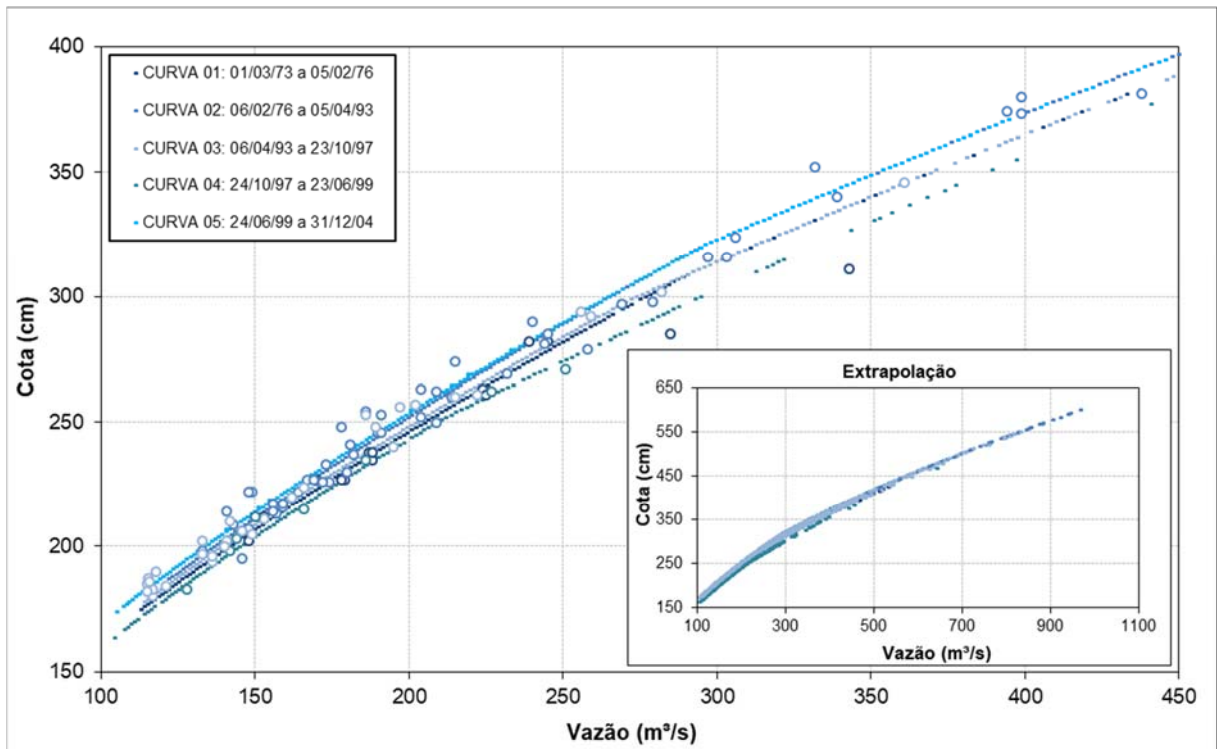
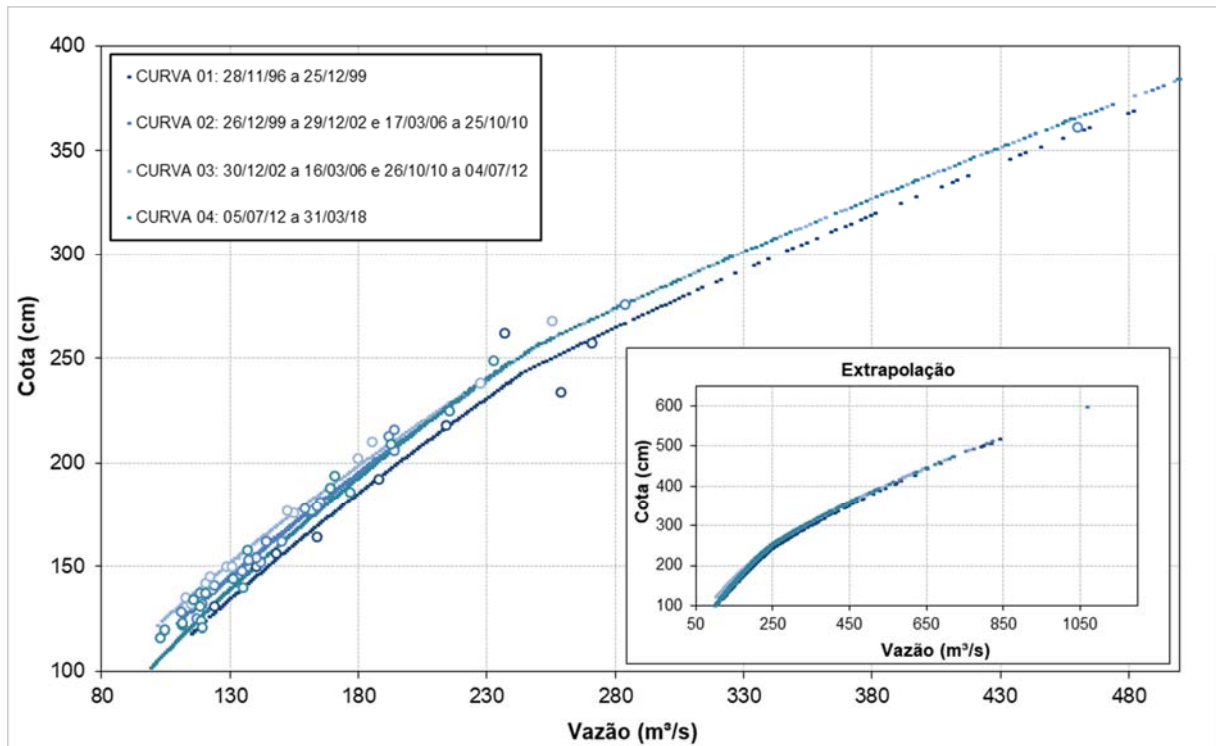


Figura 2.2. Curvas-chaves do rio Parnaíba em Fazenda Paracati (34040000).



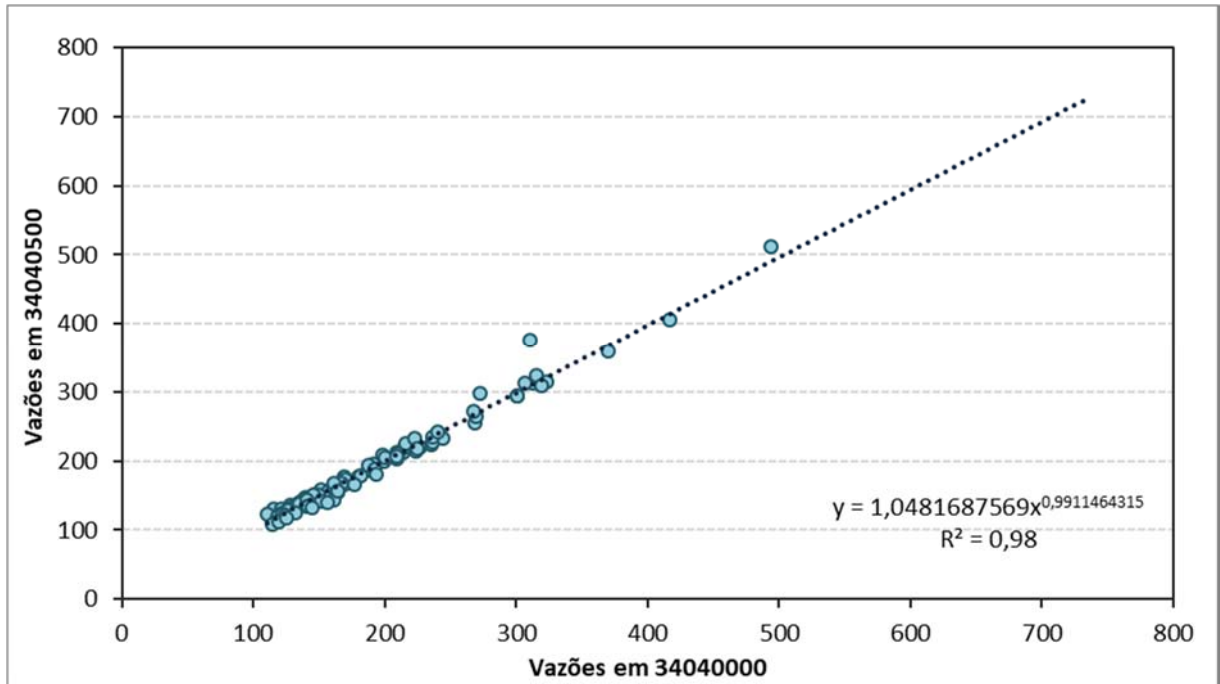
**Figura 2.3.** Curvas-chaves do rio Parnaíba em Fazenda Paracati II (34040500).

### 2.1.3 Homogeneização de Períodos nas Estações Base

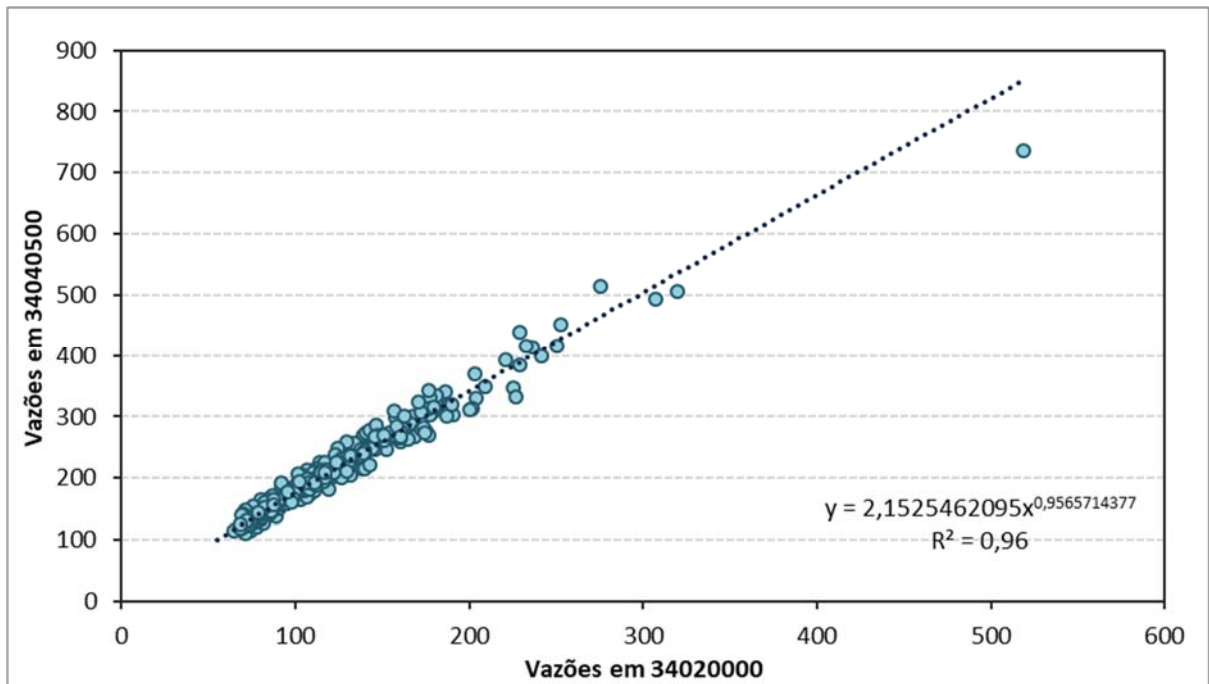
Os registros históricos das estações selecionadas não apresentam falhas, todavia não remetem a um período comum de informações. Em virtude disto, foi realizado o procedimento de extensão de tais períodos, a fim de se obter séries completas e o mais extensas possível.

Considerando que as estações fluviométricas do rio Parnaíba em Fazenda Paracati (34040000) e em Fazenda Paracati II (34040500) estão localizadas no mesmo local, apenas uma série histórica foi consolidada para este ponto. Optou-se por manter o histórico da estação do rio Parnaíba em Fazenda Paracati II (34040500) por ser esta que se mantém em operação atualmente.

A Figura 2.4 e a Figura 2.5 apresentam, respectivamente, as equações de correlação adotadas para a complementação das falhas observadas na série histórica da estação fluviométrica do rio Parnaíba em Fazenda Paracati II (34040500) com base nos dados de Fazenda Paracati (34040000) e Alto Parnaíba (34020000), bem como o respectivo grau de determinação das correlações estabelecidas ( $R^2$ ). É importante salientar que o período de dados utilizado nas correlações corresponde ao maior histórico disponível em cada estação.



**Figura 2.4.** Correlação de vazões para extensão de período de dados entre as estações 34040500 e 34040000.



**Figura 2.5.** Correlação de vazões para extensão de período de dados entre as estações 34040500 e 34020000.

O Quadro 2.1 apresenta a série histórica consolidada na estação fluviométrica do rio Parnaíba em Alto Parnaíba (34020000), enquanto esta mesma informação para a estação fluviométrica do rio Parnaíba em Fazenda Paracati II está mostrada no Quadro 2.2.



**Quadro 2.1.** Série de vazões médias mensais do rio Parnaíba em Alto Parnaíba (3402000) (m<sup>3</sup>/s).

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Máxima	Mínima
1966	107	236	134	126	87,5	79,8	73,4	70,1	70,9	80,1	80,9	123	106	236	70,1
1967	128	136	163	185	101	86,5	79,8	73,7	73,4	75,0	131	175	117	185	73,4
1968	110	141	174	104	88,0	83,6	77,6	73,3	69,3	78,1	142	111	104	174	69,3
1969	156	206	255	99,2	94,1	81,7	75,8	72,5	74,5	87,3	97,2	170	122	255	72,5
1970	212	152	128	98,5	89,6	79,7	75,0	71,6	70,6	91,1	165	94,0	111	212	70,6
1971	96,9	111	126	161	89,7	84,2	77,0	75,3	74,7	80,3	127	103	101	161	74,7
1972	98,3	129	100	111	86,7	80,3	75,0	73,1	72,6	90,8	111	120	95,6	129	72,6
1973	108	129	146	124	100,0	84,5	80,3	76,7	71,0	102	98,8	122	104	146	71,0
1974	134	151	229	168	134	112	94,4	87,6	84,2	109	122	119	129	229	84,2
1975	125	152	138	147	98,2	89,0	88,9	80,3	77,2	97,8	118	111	110	152	77,2
1976	126	167	137	132	99,7	86,7	81,7	77,6	80,2	108	132	121	112	167	77,6
1977	152	167	128	151	119	96,5	88,5	82,8	88,7	105	104	169	121	169	82,8
1978	160	190	221	160	143	109	98,3	90,0	85,4	112	107	158	136	221	85,4
1979	241	319	174	175	129	109	101	94,8	92,3	102	165	133	153	319	92,3
1980	225	519	227	176	131	117	110	103	107	111	139	159	177	519	103
1981	172	133	209	182	113	105	96,9	92,6	85,6	99,4	159	123	131	209	85,6
1982	236	145	162	160	107	97,8	92,5	88,4	87,5	98,3	94,9	105	123	236	87,5
1983	173	188	160	117	94,1	87,7	84,2	80,7	77,5	84,2	101	139	116	188	77,5
1984	109	121	141	126	93,3	84,5	80,1	79,0	80,4	84,4	95,0	97,0	99,3	141	79,0
1985	204	180	148	186	116	93,8	86,2	80,7	79,5	99,6	117	253	137	253	79,5
1986	229	181	156	144	113	97,3	91,4	86,1	81,6	105	97,5	113	125	229	81,6
1987	116	110	202	139	105	85,0	79,6	75,3	72,9	81,9	146	142	113	202	72,9
1988	128	140	158	134	91,6	83,3	77,7	73,1	69,8	80,6	81,4	154	106	158	69,8
1989	106	127	159	134	114	86,9	80,6	75,1	72,3	74,1	114	275	118	275	72,3
1990	157	178	142	117	94,3	83,8	79,3	74,1	74,8	82,2	82,2	104	106	178	74,1
1991	177	129	146	124	92,1	80,1	75,5	71,5	69,7	68,9	111	101	104	177	68,9
1992	178	250	118	123	98,8	86,0	80,8	76,6	75,9	78,8	119	132	118	250	75,9
1993	98,8	131	109	118	94,0	76,9	73,3	70,3	74,9	81,1	81,4	111	93,3	131	70,3
1994	139	138	177	139	92,2	84,6	77,4	73,1	69,9	71,3	101	115	106	177	69,9
1995	123	138	126	147	109	86,0	79,1	73,9	69,6	74,7	116	144	107	147	69,6
1996	130	114	139	131	99,8	81,9	75,8	71,6	67,0	82,2	119	99,9	101	139	67,0
1997	177	106	233	172	118	95,6	85,4	78,8	78,2	85,6	97,0	115	120	233	78,2
1998	136	126	125	94,0	88,2	78,0	74,8	72,3	70,3	75,9	127	125	99,3	136	70,3
1999	132	140	146	94,0	89,5	78,8	74,2	71,1	78,0	81,6	122	179	107	179	71,1
2000	171	163	151	139	96,0	84,1	78,8	73,3	77,8	72,9	110	187	117	187	72,9
2001	108	117	160	107	95,1	79,8	74,4	70,0	69,0	79,7	98,8	138	99,8	160	69,0
2002	307	174	130	140	98,0	86,3	80,0	74,1	74,3	72,5	79,6	112	119	307	72,5
2003	143	117	139	111	90,7	78,3	71,4	67,4	64,9	67,9	82,0	87,5	93,3	143	64,9
2004	190	200	204	123	95,3	82,6	77,2	72,0	67,9	78,7	87,7	102	115	204	67,9
2005	138	161	211	137	117	88,3	79,3	73,2	69,7	67,2	84,5	102	111	211	67,2
2006	86,1	126	158	202	121	95,0	87,0	79,9	80,4	92,4	119	101	112	202	79,9
2007	107	230	124	103	88,6	80,9	77,4	73,7	71,1	71,4	83,5	100	101	230	71,1
2008	100	142	195	155	98,7	85,2	79,6	74,5	70,2	69,4	88,5	125	107	195	69,4
2009	122	124	128	174	179	103	87,5	79,4	77,2	103	98,7	122	116	179	77,2
2010	121	101	135	119	86,3	78,3	73,0	69,4	66,6	81,7	96,9	101	94,1	135	66,6
2011	128	163	186	112	90,6	81,1	75,7	71,6	67,4	93,7	103	129	108	186	67,4
2012	147	142	135	105	90,1	78,7	73,8	69,5	66,7	64,8	118	118	101	147	64,8
2013	165	109	128	116	87,4	78,0	72,0	67,8	64,3	67,4	88,2	157	100	165	64,3
2014	99,2	109	128	107	84,8	72,8	67,4	63,3	61,2	61,6	79,5	105	86,5	128	61,2
2015	82,3	100	100	97,4	82,3	67,8	63,6	60,3	58,8	61,1	66,0	69,9	75,8	100	58,8
2016	195	98,9	87,5	74,5	64,5	63,4	59,9	58,0	57,7	63,1	69,8	78,4	80,9	195	57,7
2017	82,5	155	113	121	71,0	65,4	62,3	59,6	56,7	55,0	72,0	87,8	83,4	155	55,0
2018	85,6	126	178	108	75,0								114	178	75,0
<b>Mínima</b>	82,3	98,9	87,5	74,5	64,5	63,4	59,9	58,0	56,7	55,0	66,0	69,9	<b>Q<sub>MLT</sub></b>		<b>Q<sub>ESP</sub></b>
<b>Máxima</b>	307	519	255	202	179	117	110	103	107	112	165	275	<b>(m<sup>3</sup>/s)</b>		<b>(L/s.km<sup>2</sup>)</b>
<b>Média</b>	145	157	155	133	100	86,2	80,0	75,4	74,0	83,5	107	128	<b>111</b>		<b>8,57</b>

**Quadro 2.2.** Série de vazões médias mensais do rio Parnaíba em Fazenda Paracati II (34040500) (m<sup>3</sup>/s).

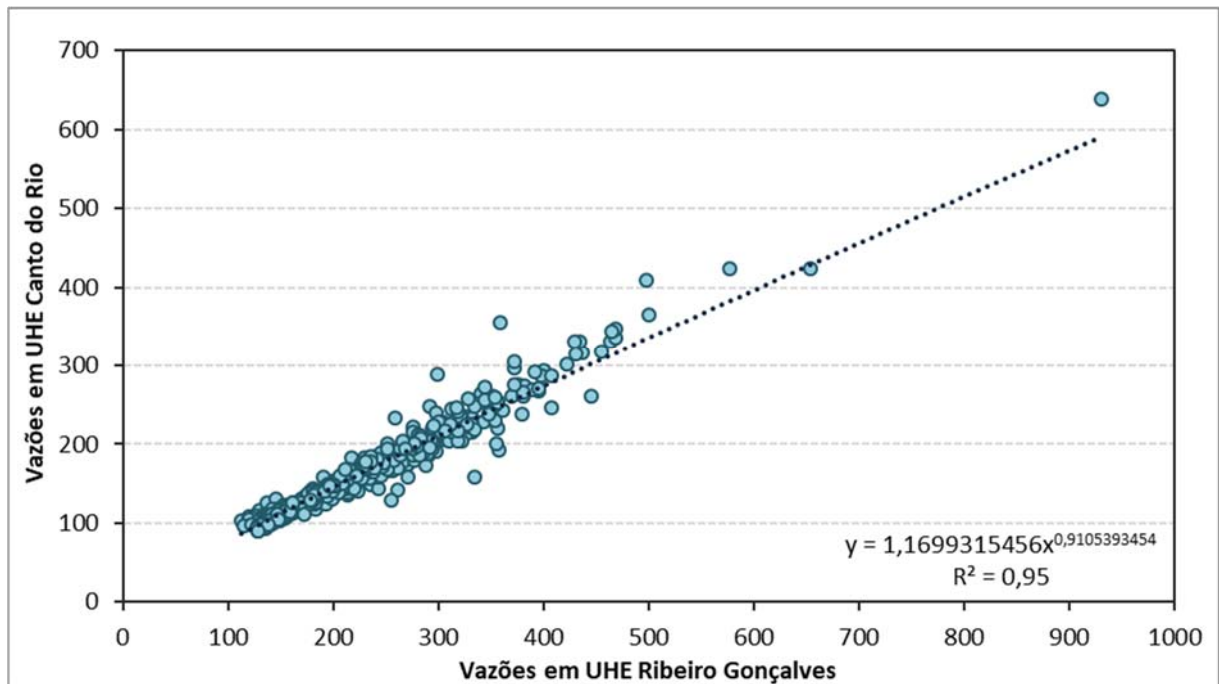
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Máxima	Mínima
1966	187	401	233	220	155	142	131	125	127	143	144	214	185	401	125
1967	223	236	281	317	177	153	142	132	131	134	228	302	205	317	131
1968	193	244	300	183	156	148	138	131	124	139	246	195	183	300	124
1969	270	352	432	175	166	145	135	130	133	155	171	293	213	432	130
1970	361	262	224	174	159	142	134	128	126	161	285	166	193	361	126
1971	171	194	220	278	159	149	137	134	133	143	222	182	177	278	133
1972	173	225	177	195	154	143	134	131	130	161	194	209	169	225	130
1973	190	224	262	235	170	141	133	127	116	175	171	209	179	262	116
1974	225	256	382	299	239	192	159	148	142	186	218	209	221	382	142
1975	224	259	255	262	178	157	155	139	131	166	208	202	195	262	131
1976	221	287	237	227	171	144	135	128	131	173	210	200	189	287	128
1977	245	269	214	260	215	162	146	136	138	173	170	267	200	269	136
1978	280	301	391	258	250	182	163	150	143	188	176	272	229	391	143
1979	398	502	278	275	212	180	167	160	158	167	262	215	248	502	158
1980	346	728	331	268	209	189	177	166	169	179	234	271	272	728	166
1981	280	235	346	319	197	179	166	157	146	173	264	216	223	346	146
1982	411	260	279	275	189	171	161	154	154	174	170	183	215	411	154
1983	281	316	265	215	161	151	144	138	134	144	177	238	197	316	134
1984	195	223	270	231	164	146	139	133	138	145	159	168	176	270	133
1985	329	332	269	340	214	173	159	149	144	188	219	449	247	449	144
1986	435	334	270	249	207	177	166	156	146	193	180	215	227	435	146
1987	218	213	313	269	202	167	156	148	143	159	246	269	209	313	143
1988	245	272	297	254	184	163	153	143	137	155	163	272	203	297	137
1989	212	235	284	255	226	172	159	149	143	146	216	510	226	510	143
1990	308	329	277	226	183	166	157	147	147	156	156	204	205	329	147
1991	342	259	284	247	193	165	156	147	142	140	209	207	208	342	140
1992	306	413	201	212	175	154	145	137	136	143	182	204	201	413	136
1993	172	231	195	212	159	132	126	121	132	143	140	191	163	231	121
1994	236	237	302	242	163	152	137	125	119	127	181	212	186	302	119
1995	237	246	231	269	198	157	141	127	120	130	195	247	191	269	120
1996	233	208	237	228	177	147	135	126	118	141	202	178	178	237	118
1997	312	208	405	313	213	178	159	147	145	151	162	202	216	405	145
1998	224	212	220	165	156	136	129	122	119	127	199	214	169	224	119
1999	228	233	255	166	160	139	130	123	130	137	213	323	186	323	123
2000	314	295	264	235	171	152	141	130	133	125	186	294	203	314	125
2001	178	205	272	195	174	144	132	123	120	135	169	220	172	272	120
2002	512	298	210	225	168	150	138	128	128	123	144	194	202	512	123
2003	232	207	242	188	154	134	121	113	108	112	144	156	159	242	108
2004	309	376	359	218	165	142	133	124	117	132	139	181	200	376	117
2005	235	300	392	249	210	157	140	128	121	115	148	186	198	392	115
2006	154	210	238	330	194	156	141	129	132	146	190	164	182	330	129
2007	176	361	209	183	154	137	128	121	114	114	132	169	167	361	114
2008	170	233	331	264	173	148	136	126	118	116	148	215	181	331	116
2009	201	215	222	299	313	182	155	139	133	169	169	201	200	313	133
2010	212	182	220	206	151	135	126	120	113	134	163	171	161	220	113
2011	216	270	315	195	157	139	127	117	108	149	179	213	182	315	108
2012	225	247	241	184	154	133	133	125	120	116	180	207	172	247	116
2013	287	198	225	213	164	146	134	125	119	124	152	274	180	287	119
2014	179	204	235	193	161	140	129	121	116	116	148	194	161	235	116
2015	161	202	200	188	162	134	125	117	111	114	125	128	147	202	111
2016	325	200	188	144	124	120	112	110	109	121	136	143	153	325	109
2017	148	253	203	230	138	125	116	110	104	100	131	173	153	253	100
2018	180	228	207	190	134								188	228	134
<b>Mínima</b>	148	182	177	144	124	120	112	110	104	100	125	128	<b>Q<sub>MLT</sub></b> (m <sup>3</sup> /s)	<b>Q<sub>ESP</sub></b> (L/s.km <sup>2</sup> )	7,58
<b>Máxima</b>	512	728	432	340	313	192	177	166	169	193	285	510			
<b>Média</b>	251	272	268	235	179	153	142	133	130	146	184	223			

Valores completados por correlação com a estação 34020000  
 Valores completados por correlação com a estação 34040500

### 2.1.4 Série Histórica da UHE Canto do Rio

Em função da localização da UHE Canto do Rio, entre as estações fluviométricas cujas séries históricas foram consolidadas no item anterior, a série de vazões médias mensais afluentes ao reservatório da UHE Canto do Rio foi obtida por meio do critério de vazão incremental, valendo-se de proporcionalidade de área de drenagem.

Na sequência, considerando as recomendações da ANA, a série assim obtida foi correlacionada aos dados da série histórica da UHE Ribeiro Gonçalves, conforme apresentado na Figura 2.6. A referida correlação foi usada para estender o período histórico da série de vazões médias mensais do rio Parnaíba em UHE Canto do Rio até o ano de 1931.



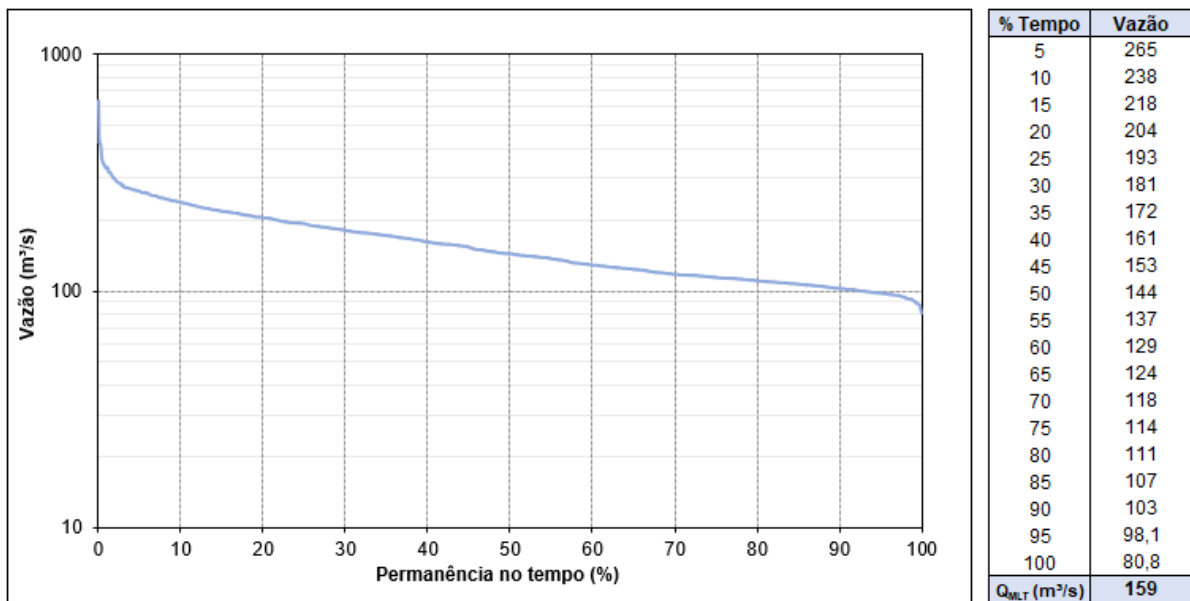
**Figura 2.6.** Correlação de vazões para extensão de período de dados entre as UHE's Canto do Rio e Ribeiro Gonçalves.

A série de vazões médias mensais afluentes ao local de implantação da UHE Canto do Rio determinada pela metodologia apresentada está mostrada no Quadro 2.3. A curva de permanência correspondente está mostrada na Figura 2.7. As vazões características correspondentes à referida série estão apresentadas na Tabela 2.2.

**Tabela 2.2.** Vazões características do rio Parnaíba em UHE Canto do Rio.

Variável	Valor
Vazão Média de Longo Termo	159 m <sup>3</sup> /s
Vazão Específica Média de Longo Termo	7,92 L/s.km <sup>2</sup>
Vazão Máxima Média Mensal	638 m <sup>3</sup> /s
Vazão Mínima Média Mensal	80,8 m <sup>3</sup> /s
Média das Vazões Máximas Anuais	262 m <sup>3</sup> /s
Média das Vazões Mínimas Anuais	104 m <sup>3</sup> /s





**Figura 2.7.** Curva de permanência de vazões médias mensais afluentes à UHE Canto do Rio.

## 2.2 Vazões Máximas

Os estudos de vazões extremas foram elaborados com base em um enfoque estatístico, em função da disponibilidade de dados da região de interesse. Esta consideração está de acordo com as instruções da Eletrobrás para estudos de aproveitamentos hidrelétricos.

Na aplicação do método descrito, foram empregadas as amostras de máximos anuais de vazão diária, registrados nas estações fluviométricas bases. Tais máximos representam a maior leitura de cota registrada durante o dia, entre as leituras feitas as 07 e as 17 horas. As referidas amostras estão apresentadas na Tabela 2.3.

Para a aplicação da técnica de análise de frequência local de eventos máximos anuais a uma determinada amostra é necessário que esta contenha pelo menos dez eventos de valores anuais máximos e possa ser considerada representativa da população a ser estimada (valores extremos em função de períodos de retorno). A amostra deve ainda atender aos requisitos de homogeneidade, independência e ausência (ou não influência) de *outliers*. As amostras obtidas com base nos dados das estações base foram testadas sob o ponto de vista dos critérios citados, tendo se mostrado adequadas. Foi identificado um *outlier* superior na amostra da estação fluviométrica do rio Parnaíba em Alto Parnaíba (34020000), correspondente a vazão do ano hidrológico de 79-80, sua retirada, contudo, não altera significativamente a assimetria e pouco influencia nos resultados encontrados, portanto, o valor foi mantido.

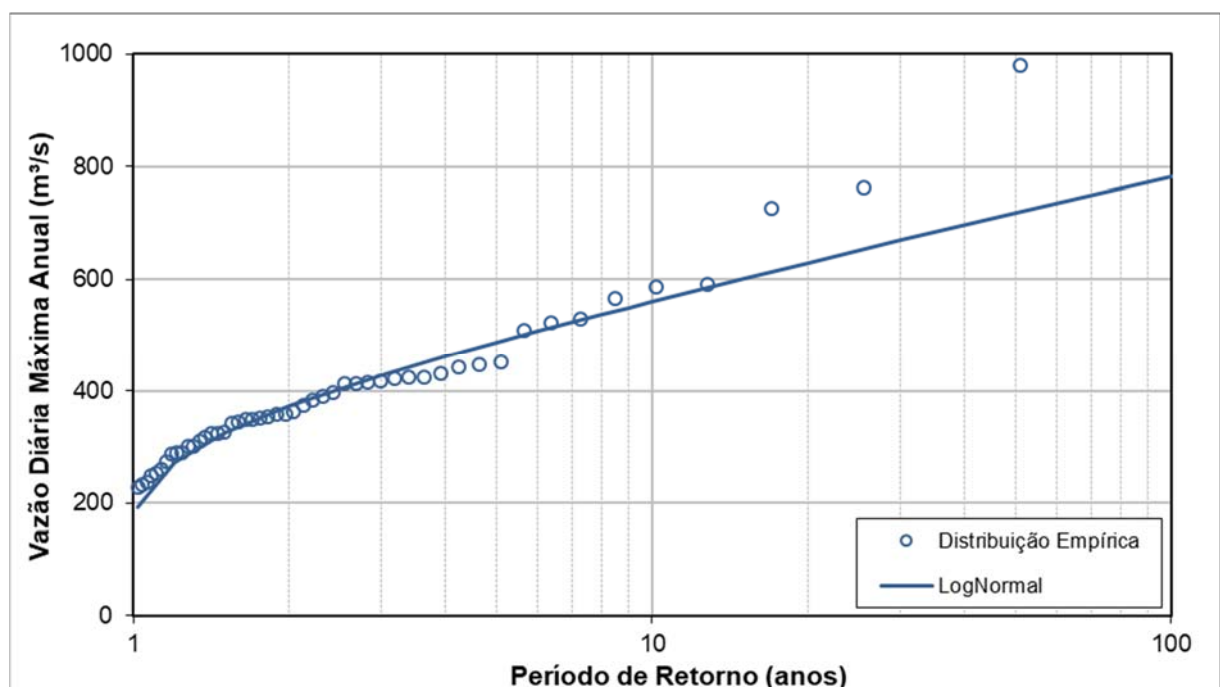
**Tabela 2.3.** Amostras de máximos anuais de vazão média diária do rio Parnaíba.

Ano Hidrológico	Alto Parnaíba (34020000)		Fazenda Paracati (34040000) + Fazenda Paracati II (34040500)	
	Dia/Mês	Vazão	Dia/Mês	Vazão
66-67	20/03	373	-	-
67-68	28/12	592	-	-
68-69	12/02	391	-	-
69-70	18/01	424	-	-
70-71	09/11	300	-	-
71-72	15/11	237	-	-
72-73	14/02	252	-	-
73-74	14/03	362	29/04	542
74-75	06/02	260	27/01	437
75-76	17/02	274	17/02	445
76-77	01/02	359	29/04	577
77-78	07/03	529	08/03	796
78-79	07/02	762	19/01	938
79-80	20/02	981	11/02	967
80-81	24/03	412	25/03	611
81-82	14/01	443	15/01	764
82-83	28/03	424	28/01	643
83-84	04/12	219	15/03	378
84-85	27/01	417	28/01	656
85-86	28/12	567	29/12	904
86-87	12/03	412	14/03	530
87-88	20/11	351	20/11	454
88-89	17/12	422	18/12	498
89-90	26/12	448	22/12	826
90-91	19/03	348	17/01	611
91-92	08/02	588	08/02	810
92-93	30/11	248	05/04	401
93-94	06/03	316	10/04	542
94-95	16/04	324	17/04	431
95-96	01/01	300	01/12	452
96-97	30/03	522	31/03	839
97-98	22/01	233	19/01	381
98-99	06/03	354	07/03	580
99-00	25/12	359	25/12	617
00-01	17/12	509	18/12	696
01-02	18/01	726	19/01	1066
02-03	24/03	310	31/12	418
03-04	30/01	451	20/03	696
04-05	09/03	397	10/03	759
05-06	05/04	290	17/04	439
06-07	23/02	431	24/02	769
07-08	02/04	325	03/04	491
08-09	06/05	350	06/05	590
09-10	07/12	228	11/04	331
10-11	13/03	287	14/03	516
11-12	04/01	228	08/03	358
12-13	01/12	384	01/12	621
13-14	23/12	342	23/12	681
14-15	18/12	290	19/12	502
15-16	21/01	414	29/01	715
16-17	12/02	327	03/04	517
17-18	13/03	344	11/02	346

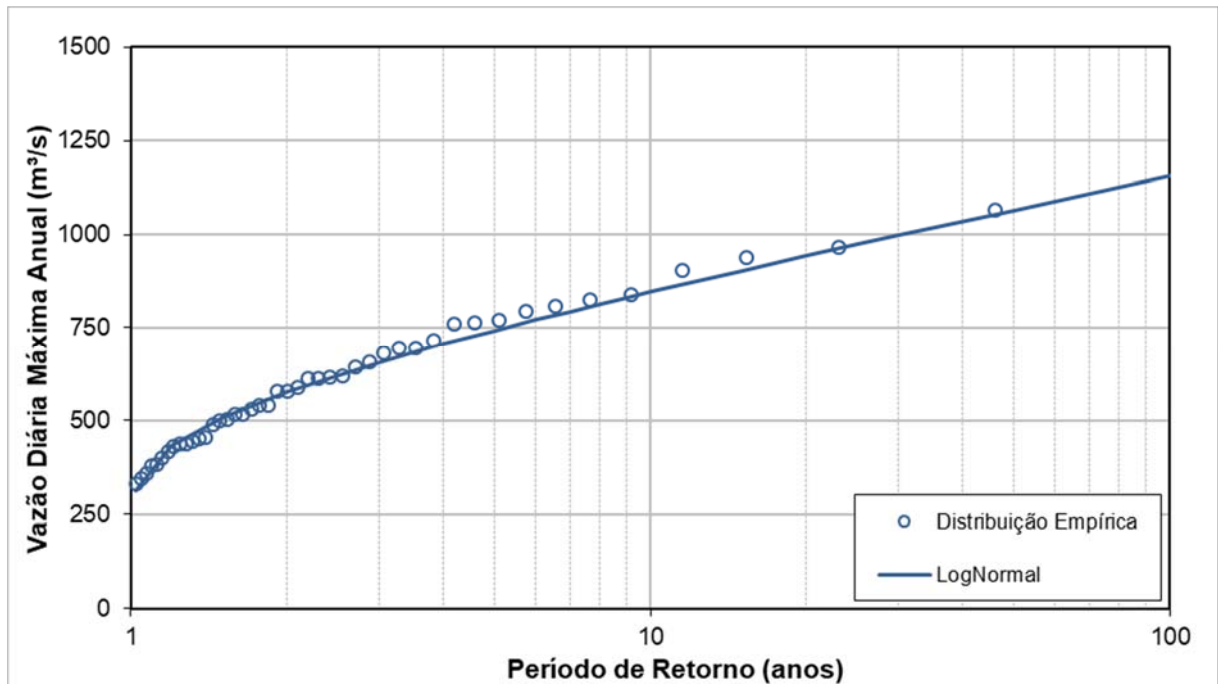
A cada uma destas amostras foi aplicada a técnica de análise de frequência de eventos extremos, ajustando-se as distribuições de probabilidades comumente empregadas nesse tipo de análise (Exponencial, Gumbel, Log-normal, GEV, Pearson III e Log-Pearson III). Para verificar a aderência das distribuições teóricas e auxiliar na escolha da melhor distribuição de probabilidades ajustada à amostra foram empregados, além da análise visual, testes de aderência como o  $\chi^2$  (Qui-Quadrado) e de Kolmogorov-Smirnov.

Os testes de aderência verificam qual o valor máximo do desvio entre o quantil teórico da distribuição ajustada e o ocorrido. Valores superiores aos valores críticos do desvio máximo, tabelado em função do tamanho da amostra e o nível de significância do teste, rejeitam a distribuição. Os testes foram realizados com um nível de significância de 5%. Além disso, foram aplicados testes não paramétricos tais como o de Kendall, Grubbs & Beck e Van Monfort & Witter.

A Figura 2.8 e a Figura 2.9 mostram os resultados do ajuste de distribuição teórica de probabilidades Log-normal às amostras das estações do rio Parnaíba em Alto Parnaíba (34020000) e Fazenda Paracati + Fazenda Paracati II (34040000 + 34040500), respectivamente. É importante lembrar que o ponto da parte superior da amostra da estação Alto Parnaíba foi identificado como *outliers*.



**Figura 2.8.** Distribuição de probabilidades teórica Log-normal ajustada à amostra de máximos anuais de vazão média diária do rio Parnaíba em Alto Parnaíba (34020000).



**Figura 2.9.** Distribuição de probabilidades teórica Log-normal ajustada à amostra de máximos anuais de vazão média diária do rio Parnaíba em Fazenda Paracati (34040000) + Fazenda Paracati II (34040500).

A Tabela 2.4 apresenta os quantis notáveis obtidos para as estações base por meio do emprego da metodologia descrita.

**Tabela 2.4.** Quantis de projeto de vazões máximas estimados para rio Parnaíba nas estações fluviométricas base.

Período de Retorno (anos)	Alto Parnaíba (34020000) (m³/s)	Fazenda Paracati (34040000) + Fazenda Paracati II (34040500) (m³/s)
2	372	578
5	487	742
10	561	846
25	652	973
50	718	1065
100	783	1155
500	934	1362
1000	1000	1451
10000	1223	1750



Os referidos quantis foram transferidos ao local da UHE Canto do Rio, valendo-se do critério de proporcionalidade entre as respectivas áreas de drenagem:

$$Q_{AP} = Q_{PM} + \left[ \frac{A_{AP} - A_{PM}}{A_{PJ} - A_{PM}} \times (Q_{PJ} - Q_{PM}) \right]$$

Onde: AP corresponde ao aproveitamento, PM ao posto de montante, PJ ao posto de jusante, Q é a vazão média mensal (m<sup>3</sup>/s) e A, a área de drenagem (km<sup>2</sup>).

As vazões máximas médias no local da usina são apresentadas na Tabela 2.5. Por terem sido empregadas amostras contendo a maior vazão entre duas observações diárias (7 h ou 17 h), teoricamente, estaria dispensada a aplicação da equação proposta por Füller (para obtenção de valores instantâneos) aos quantis determinados por meio da análise de frequência local de eventos máximos anuais. Entretanto, como a vazão máxima instantânea pode não ter ocorrido necessariamente às 7 h ou 17 h, achou-se por bem aplicar a equação aos resultados obtidos, como forma de maximizar os quantis, a favor da segurança. A fórmula de Füller, utilizada nos estudos, é representada por:

$$Q_P = Q_{MAX} \left( 1 + \frac{2,66}{A^{0,3}} \right)$$

em que: Q<sub>P</sub> representa a vazão de pico (m<sup>3</sup>/s), Q<sub>MAX</sub> a vazão máxima anual média diária (m<sup>3</sup>/s) e A, a área de drenagem do aproveitamento (km<sup>2</sup>). A Tabela 2.5 também apresenta os quantis instantâneos, obtidos por meio da aplicação da formulação aos quantis médios diários.

**Tabela 2.5.** Vazões máximas de projeto estimadas para rio Parnaíba em UHE Canto do Rio.

Período de Retorno (anos)	Quantil de Projeto (m <sup>3</sup> /s) UHE CANTO DO RIO	
	Média	Instantânea
2	490	556
5	633	719
10	724	823
25	835	949
50	916	1041
100	996	1132
500	1179	1339
1000	1258	1429
10000	1524	1731

### 3 ESTUDO DE REMANSO

A UHE Canto do Rio, em processo de licenciamento ambiental, iria operar a fio-d'água com nível de água máximo normal na El. 271,0 m. Todavia, em função da potencial influência da curva de remanso do reservatório nos níveis de água do trecho fluvial do rio Parnaíba às margens das cidades de Santa Filomena e Alto Parnaíba, este estudo buscou a identificação do nível de água máximo normal que não resultasse na necessidade de implantar áreas de preservação permanente em local com ocupação urbana consolidada, o que estava inviabilizando o empreendimento do ponto de vista econômico e social.

De acordo com os resultados obtidos, apresentados na sequência, o nível de água normal de operação que atende ao requisito estabelecido pela condição hidráulica de não atingimento das áreas urbanas corresponde à cota com El. 265,0 m. Desta maneira, os estudos que se seguem foram elaborados com esta premissa.

#### 3.1 Informações Básicas

As informações básicas utilizadas nos estudos de hidráulica fluvial referem-se à restituição aerofotogramétrica da região de interesse; às seções topobatimétricas executadas durante os estudos de inventário do rio Parnaíba e durante a elaboração do Projeto Básico da UHE Canto do Rio; ao levantamento topográfico complementar, que contemplou pontos do leito do rio, ilhas, margens e planícies de inundação; aos dados cadastrais do projeto da UHE Canto do Rio e aos dados de estudos anteriores realizados para a área de interesse.

##### 3.1.1 Estudos Anteriores e Documentos de Referência

Para elaboração do presente estudo, foram consultados os seguintes documentos:

- Estudos de Inventário Hidrelétrico da Bacia do Rio Parnaíba, 17 Volumes, elaborado pela CNEC Engenharia S. A. para a CHESF – Companhia Hidrelétrica do São Francisco, 2001;
- Avaliação Ambiental Integrada dos Aproveitamentos Hidrelétricos da Bacia do Rio Parnaíba, elaborado pela EPE – Empresa de Pesquisas Energéticas, 2007;

- Relatório de Cartografia e Topografia, UHE Canto do Rio, Minas PCH, elaborado pela Rota Topografia e Engenharia Ltda., 2009;
- Relatório Técnico, UHE Canto do Rio, Operação da Rede Hidrométrica, Processamento de Dados Hidrológicos, elaborado pela Construserv Serviços Gerais Ltda., 2010;
- Aproveitamento Hidrelétrico Canto do Rio, Projeto Básico, Volumes I e II, elaborado pela SPEC Planejamento, Engenharia, Consultoria Ltda., 2011;
- UHE Canto do Rio, Relatório Técnico, Resposta ao Ofício nº 835/2014-SGH/ANEEL, (Ofício nº 879/2014/SRE-ANA), elaborado pela ERHA Engenharia de Recursos Hídricos Aplicada Ltda., 2014;
- UHE Canto do Rio, Estudos Técnicos, Resposta ao Ofício nº 707/2014-SCG/ANEEL, elaborado pela ERHA Engenharia de Recursos Hídricos Aplicada Ltda., 2015;
- Parecer Técnico nº 20/2016/COREG/SRE, Documento nº 00000.007037/2016-34, Referência: 02501.000596/2014-36, Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica para o aproveitamento hidrelétrico Canto do Rio, rio Parnaíba, Agência Nacional de Águas, 2016;
- PAR. 02012.000009/2016-82 NLA/MA/IBAMA, Análise do Estudo de Impacto Ambiental do Aproveitamento Hidrelétrico Canto do Rio. Processo nº 02001.006384/2011-51. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Núcleo de Licenciamento Ambiental – MA, 2016;
- UHE Canto do Rio, Estudo de Remanso, Relatório Técnico Preliminar, Plano de Refinamento dos Estudos, elaborado pela ERHA Engenharia de Recursos Hídricos Aplicada Ltda., 2016;
- Ofício nº 1633/2016/SRE-ANA, Referência: 02501.000596/2014-36, 00000.046585/2016-80, Análise de novo estudo de vazões máximas para a UHE Canto do Rio, Agência Nacional de Águas, rio Parnaíba, 2016;
- Relatório Técnico, Projeto de Estudos Topográficos, Análise de Remanso, AHE Canto do Rio / PI / MA, elaborado pela GEO3D Engenharia de Mapeamento, 2016;
- Parecer Técnico nº 10/2018-COHID/CGTEF/DILIC, Análise do Estudo de Remanso. Processo nº 02001.006384/2011-51. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Coordenação de Licenciamento Ambiental de Hidrelétricas, Hidrovias e Estruturas Fluviais, 2018.

### 3.1.2 Restituição Aerofotogramétrica

A identificação da região e cálculo das características físicas de interesse foi feita através da restituição aerofotogramétrica realizada sobre fotografias aéreas que recobrem a área do reservatório, no âmbito do desenvolvimento dos estudos de Projeto Básico.

A restituição aerofotogramétrica foi executada pela empresa Engesat Imagens de Satélite Ltda., numa área de aproximadamente 745 km<sup>2</sup> e está apresentada com curvas de nível de 5 em 5 metros.

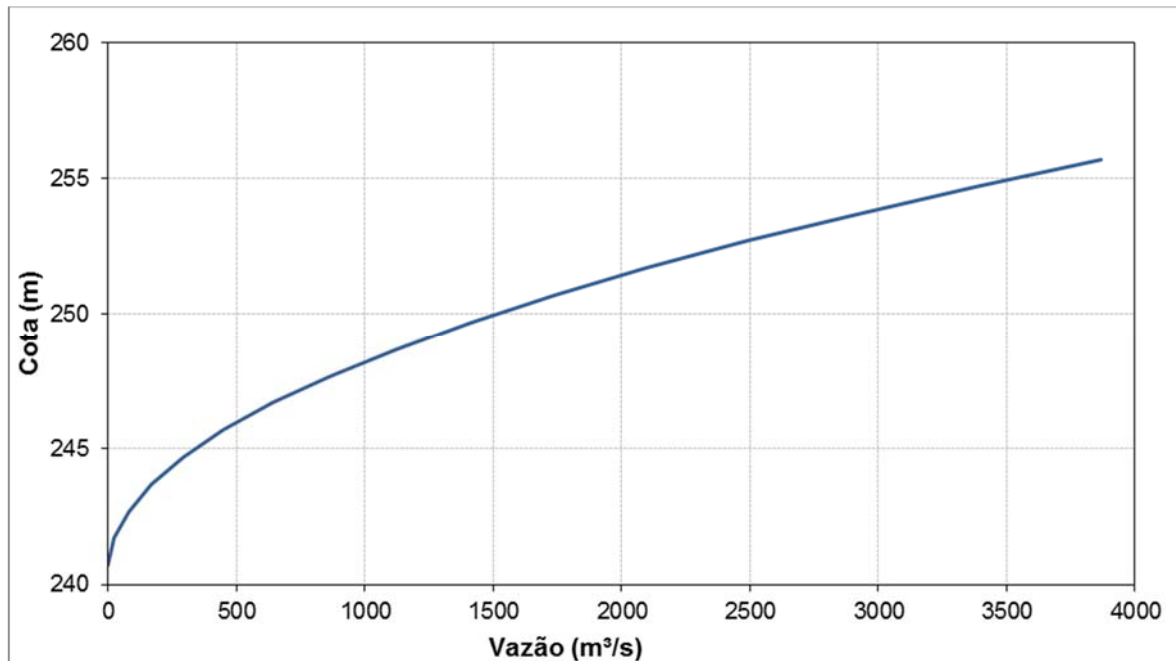
### 3.1.3 Dados Cadastrais do Empreendimento

Conforme premissas assumidas, a UHE Canto do Rio com a nova configuração analisada neste documento deverá operar a fio-d'água com nível de água máximo normal na El. 265,0 m. Seu vertedouro possui quatro comportas, cujo funcionamento busca manter o nível de água constante, desta forma o N.A. máximo normal de operação permanece igual ao N.A. máximo maximorum ( $NA_{MAXMAX} = 265,0$  m).

O reservatório da UHE Canto do Rio foi delimitado considerando os resultados deste trabalho, pela envoltória correspondente à passagem da vazão média das máximas anuais, considerando os efeitos de remanso provocados pelo reservatório e possui 54,7 km<sup>2</sup> de área.

Como no rio Parnaíba, a montante do local de implantação da futura UHE Canto do Rio, atualmente, não opera nenhuma usina hidrelétrica, bem como não existem reservatórios de regularização implantados, as afluições ao reservatório da UHE podem ser consideradas naturais.

A curva-chave definida para o local do eixo do barramento, determinada nos estudos de Projeto Básico, foi validada e considerada pertinente. Sua construção foi feita a partir da transposição da curva elaborada em função das medições de vazão realizadas para o local de implantação do barramento da UHE Canto do Rio, localizada pouco a jusante do local de interesse. A Figura 3.1 apresenta graficamente a relação cota *versus* vazão usada para definir o comportamento hidráulico do rio Parnaíba no local de implantação do eixo do barramento.



**Figura 3.1.** Curva-chave do rio Parnaíba em eixo UHE Canto do Rio.

Finalizando o leque de informações cadastrais, as vazões características para o empreendimento, as quais constituem as vazões de projeto a serem avaliadas nos estudos de remanso estão apresentadas na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1.** Vazões de projeto afluentes ao local do eixo da UHE Canto do Rio.

Vazão Notável	Valor (m³/s)
Q <sub>MLT</sub>	159
Q <sub>2 ANOS</sub>	556
Q <sub>5 ANOS</sub>	719
Q <sub>10 ANOS</sub>	823
Q <sub>50 ANOS</sub>	1041
Q <sub>100 ANOS</sub>	1132
Médias das Máximas Anuais	262
Médias das Mínimas Anuais	104

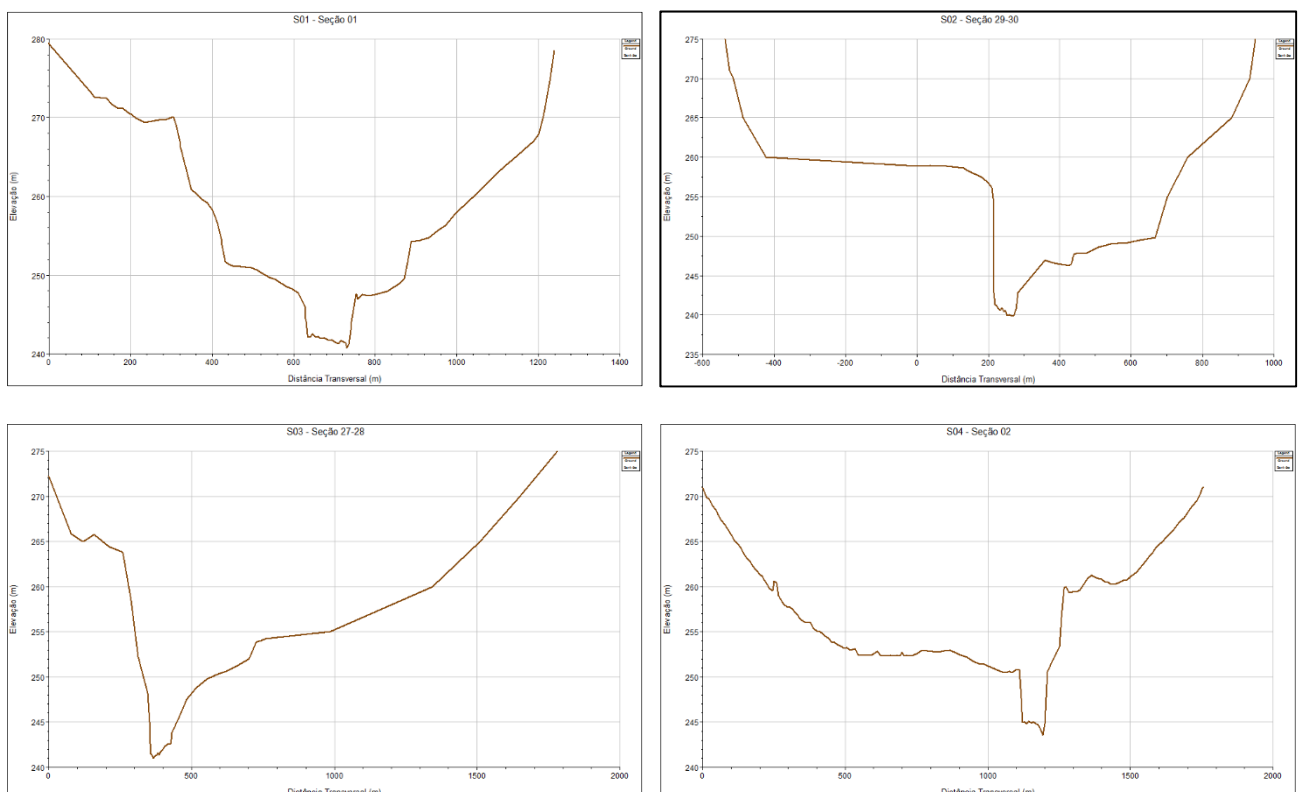
### 3.1.4 Levantamentos Topográficos e Topobatimétricos

Foram utilizadas, no total, 44 (quarenta e quatro) seções transversais, levantadas no âmbito dos estudos de Projeto Básico (20) e de Inventário (10), assim como construídas a partir das complementações dos levantamentos topográficos realizadas em julho/agosto de 2016 (14).

As distâncias entre as seções foram tiradas, sobre o material cartográfico disponível, referente à restituição aerofotogramétrica. A Figura 3.2 mostra os perfis transversais (plotados da margem esquerda para direita) das seções utilizadas e o Desenho 1, em anexo, sua localização em planta. Ressalta-se que o eixo do barramento da UHE Canto do Rio está localizado sobre a seção S01.

As 14 (quatorze) seções transversais adicionais, estilizadas com base nos levantamentos complementares, foram incorporadas ao modelo do estudo de remanso anterior, onde a numeração das seções já havia sido ajustada. Por esta razão sua numeração foi considerada em forma de decimal. Tais seções representam potenciais controles hidráulicos ou singularidades que potencialmente interferem nos perfis de linha de água, como ilhas, praias, rampas e canais preferenciais.

Para as seções levantadas durante os Estudos de Inventário, foi necessário estender suas margens até uma cota que contemplasse toda a faixa de níveis altimétricos trabalhados. Para tanto, foram usados os dados referentes ao levantamento aerofotogramétrico disponível.



**Figura 3.2.** Perfis transversais das seções topobatimétricas levantadas.

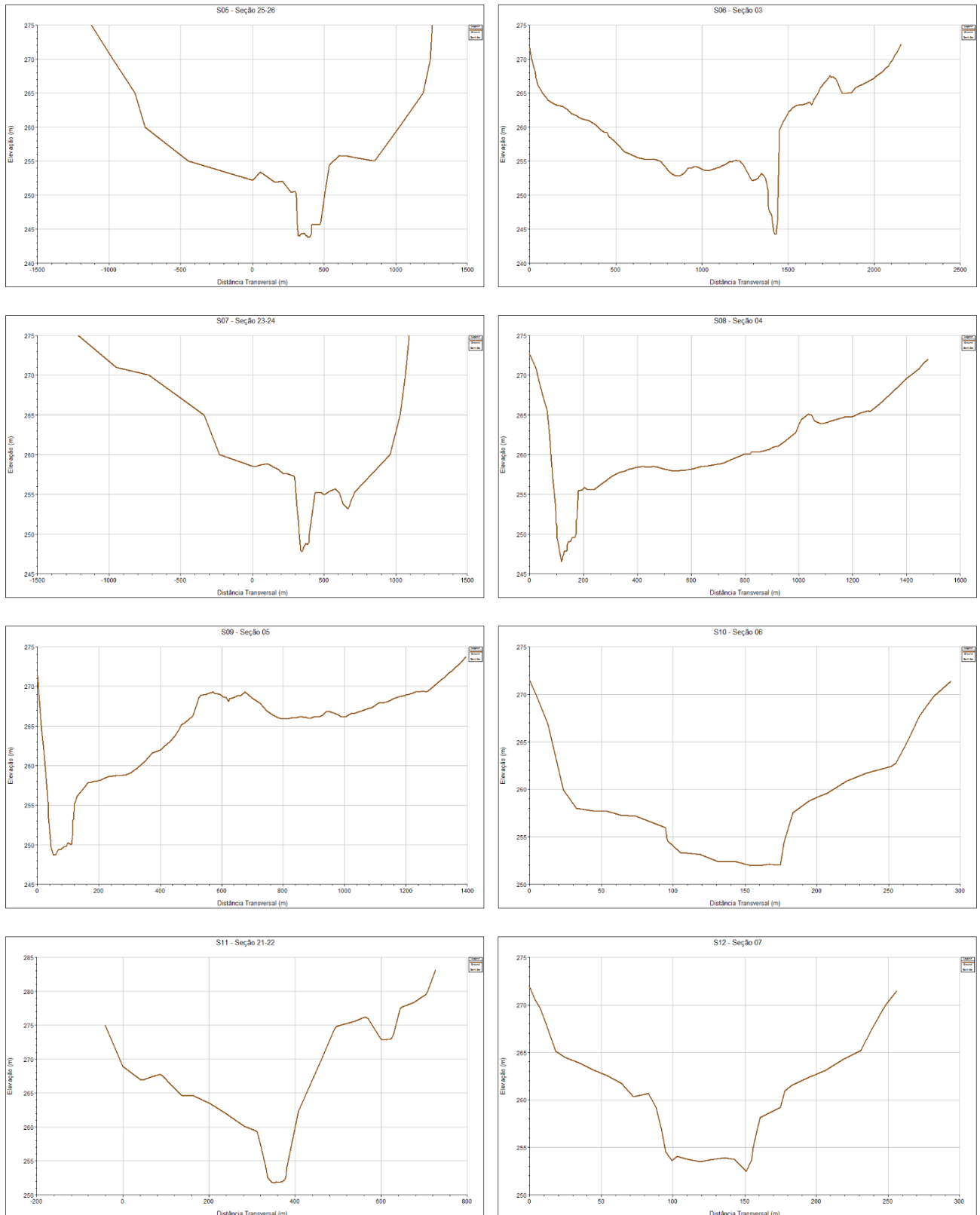
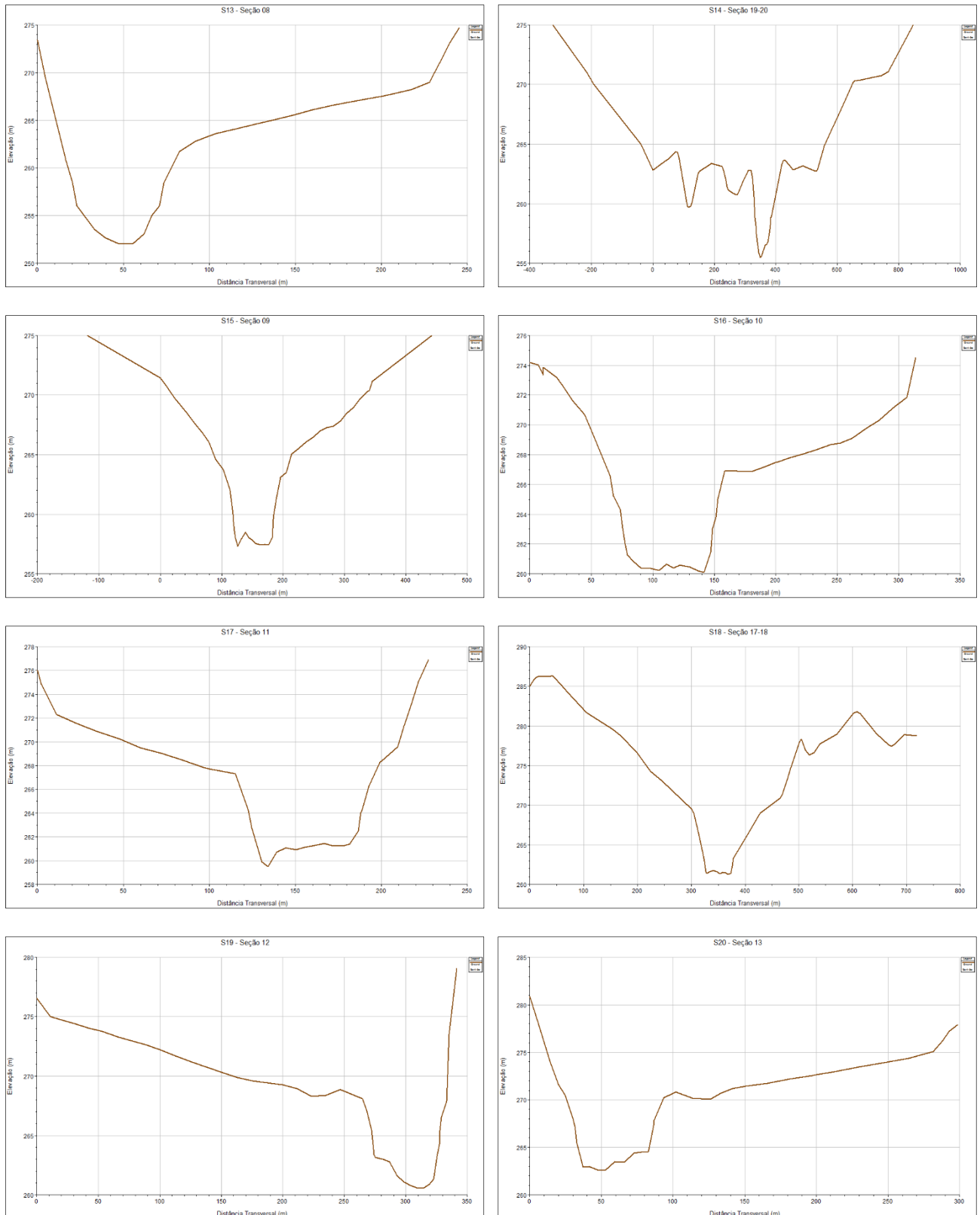


Figura 3.2 (continuação). Perfis transversais das seções topobatimétricas levantadas.



**Figura 3.2 (continuação).** Perfis transversais das seções topobatimétricas levantadas.



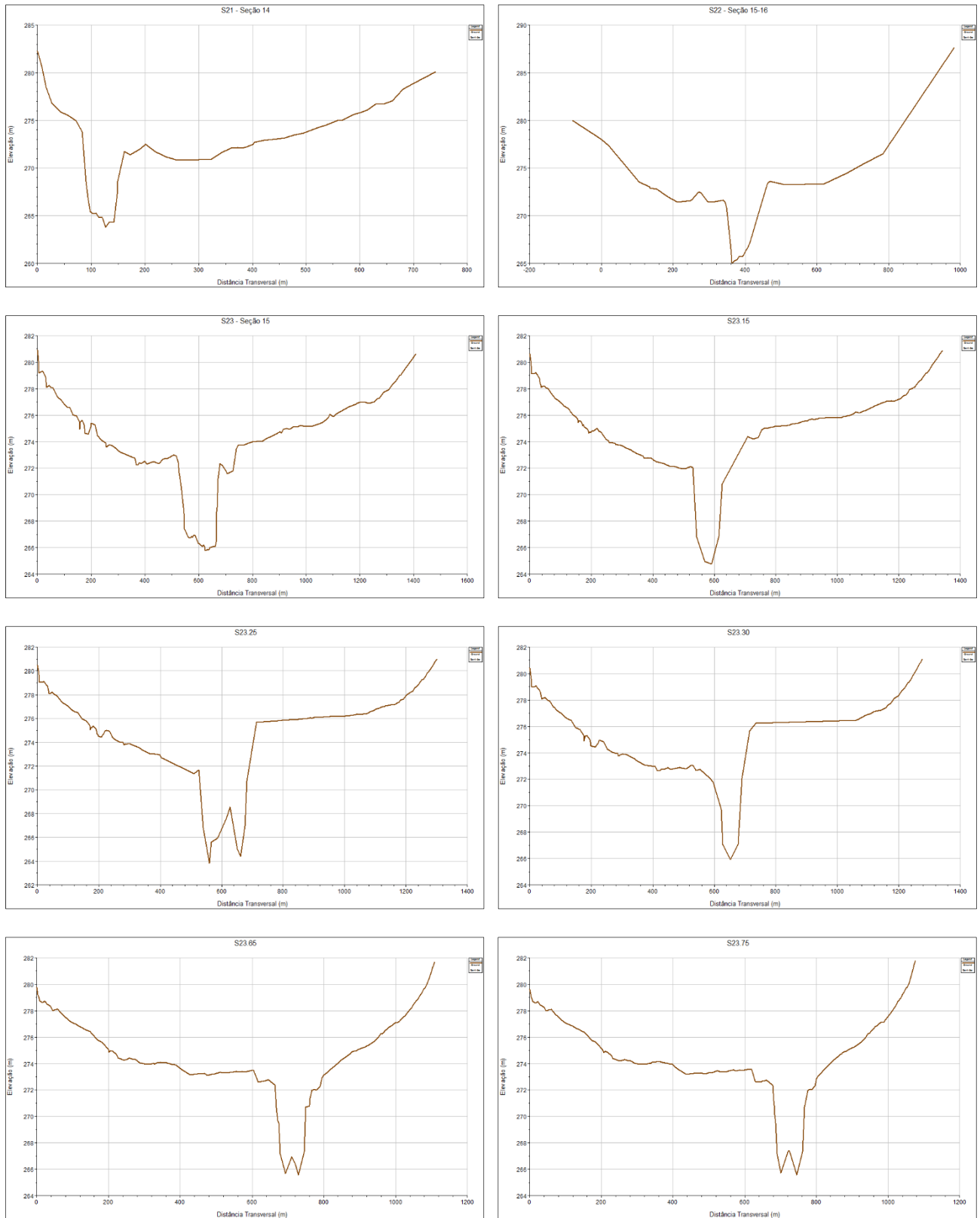


Figura 3.2 (continuação). Perfis transversais das seções topobatimétricas levantadas.

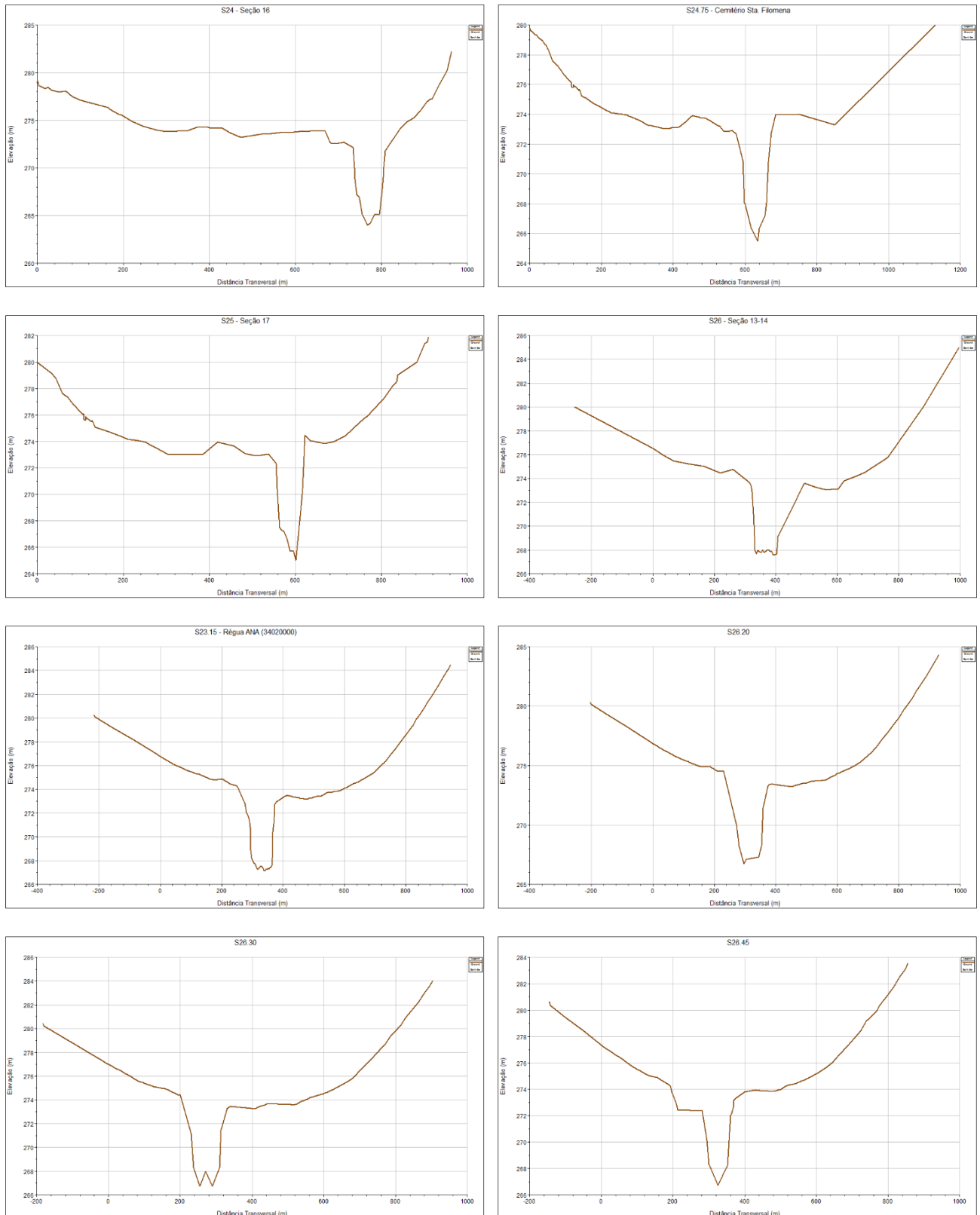


Figura 3.2 (continuação). Perfis transversais das seções topobatimétricas levantadas.

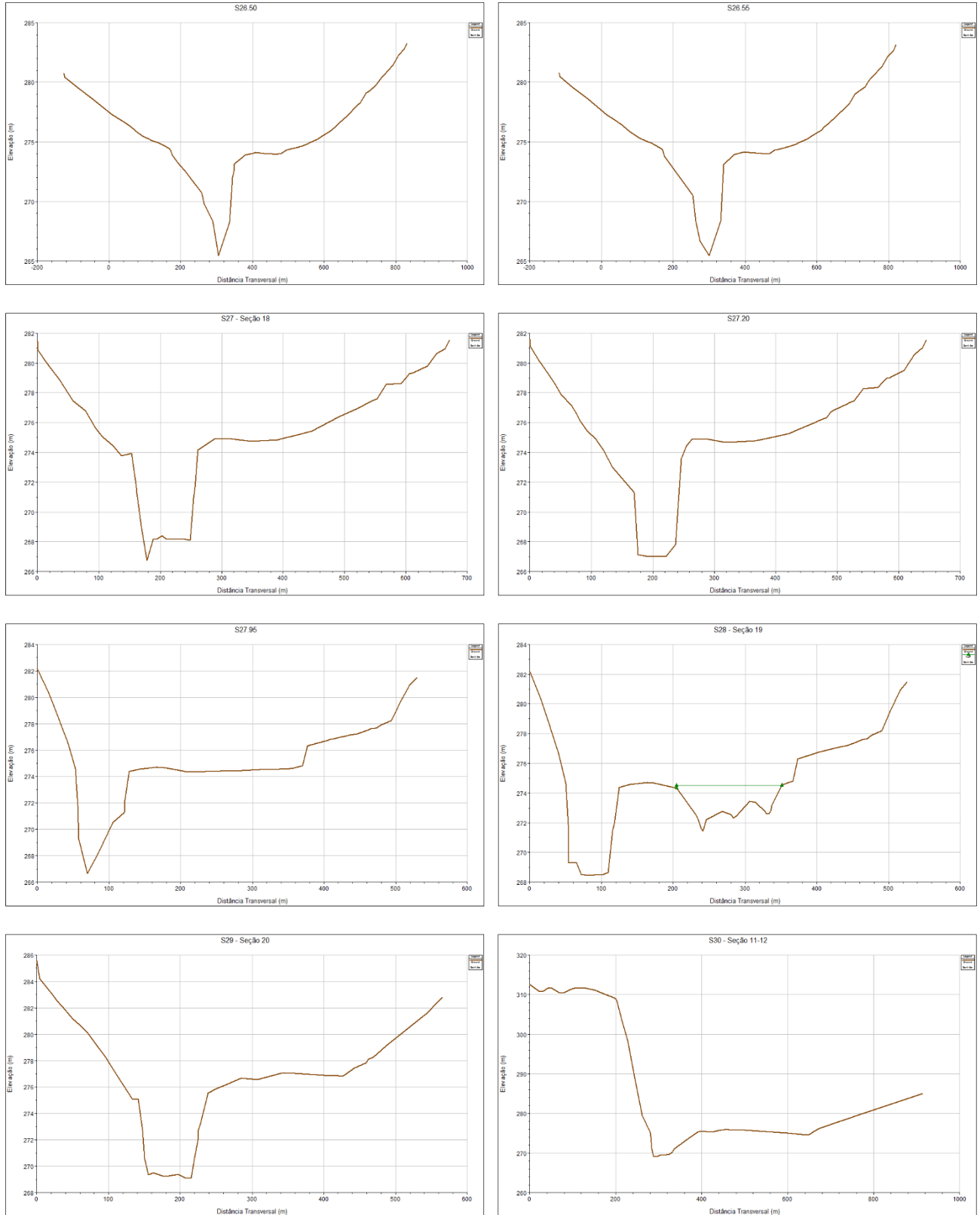


Figura 3.2 (continuação). Perfis transversais das seções topobatimétricas levantadas.

A Tabela 3.2 apresenta as distâncias longitudinais entre as seções topobatimétricas, considerando margens e eixo do rio, bem como informações sobre a distância à seção mais a jusante dentre as levantadas (S01) e a cota mínima de fundo de cada uma das seções. A partir destas informações foi possível elaborar o perfil de fundo apresentado na Figura 3.3.

**Tabela 3.2.** Informações sobre as seções topobatimétricas utilizadas nos estudos.

Nome Atual	Descrição (Nome Antigo)	Distância Acumulada (m)	Cota de Fundo (m)	Distância à Seção de Jusante (m)		
				Margem Esquerda	Eixo	Margem Direita
S30	Seção 11-12 INV	88174	269,12	1526	1506	1520
S29	Seção 20 PB	86669	269,11	2551	2504	2467
S28	Seção 19 PB	84165	268,46	95	95	95
S27.95	-	84070	266,66	1430	1415	1400
S27.20	-	82655	267,01	327	323	320
S27	Seção 18 PB	82331	266,74	373	345	322
S26.55	-	81986	265,43	27	25	23
S26.50	-	81961	265,43	59	55	51
S26.45	-	81906	266,73	119	110	103
S26.30	-	81796	266,71	65	60	56
S26.20	-	81736	266,73	38	35	33
S26.15	Régua ANA (34020000)	81701	267,12	124	115	107
S26	Seção 13-14 INV	81586	267,57	600	717	845
S25	Seção 17 PB	80869	265,03	380	370	367
S24.75	Cemitério Sta Filom.	80499	265,48	1339	1304	1292
S24	Seção 16 PB	79196	263,98	363	360	363
S23.75	-	78836	265,58	101	100	101
S23.65	-	78736	265,58	535	530	534
S23.30	-	78206	265,94	81	80	81
S23.25	-	78126	263,83	126	125	126
S23.15	-	78001	264,77	216	214	216
S23	Seção 15 PB	77786	265,79	1795	1818	1855
S22	Seção 15-16 INV	75969	265,04	476	424	387
S21	Seção 14 PB	75545	263,81	3055	2972	2927
S20	Seção 13 PB	72573	262,57	4980	5063	5205
S19	Seção 12 PB	67510	260,58	3037	2933	2855
S18	Seção 17-18 INV	64577	261,29	563	666	733
S17	Seção 11 PB	63912	259,51	2275	2245	2265
S16	Seção 10 PB	61666	260,10	8009	7874	7890
S15	Seção 09 PB	53792	257,30	530	478	435
S14	Seção 19-20 INV	53314	255,50	3988	3871	3779
S13	Seção 08 PB	49443	252,02	4534	4566	4634
S12	Seção 07 PB	44877	252,46	4267	4322	4414
S11	Seção 21-22 INV	40555	251,76	2515	2443	2445
S10	Seção 06 PB	38112	251,97	5934	5778	5735
S09	Seção 05 PB	32333	248,69	4416	4312	4228
S08	Seção 04 PB	28022	246,51	1234	1184	1134
S07	Seção 23-24 INV	26838	247,77	6492	6617	6897
S06	Seção 03 PB	20220	244,24	7157	6959	6959
S05	Seção 25-26 INV	13262	243,77	669	722	796
S04	Seção 02 PB	12539	243,55	7128	7068	7159
S03	Seção 27-28 INV	5472	241,02	3634	3505	3463
S02	Seção 29-30 INV	1966	239,85	1928	1966	1962
S01	Seção 01 PB	0	240,73	0	0	0

PB – Projeto Básico

INV – Inventário

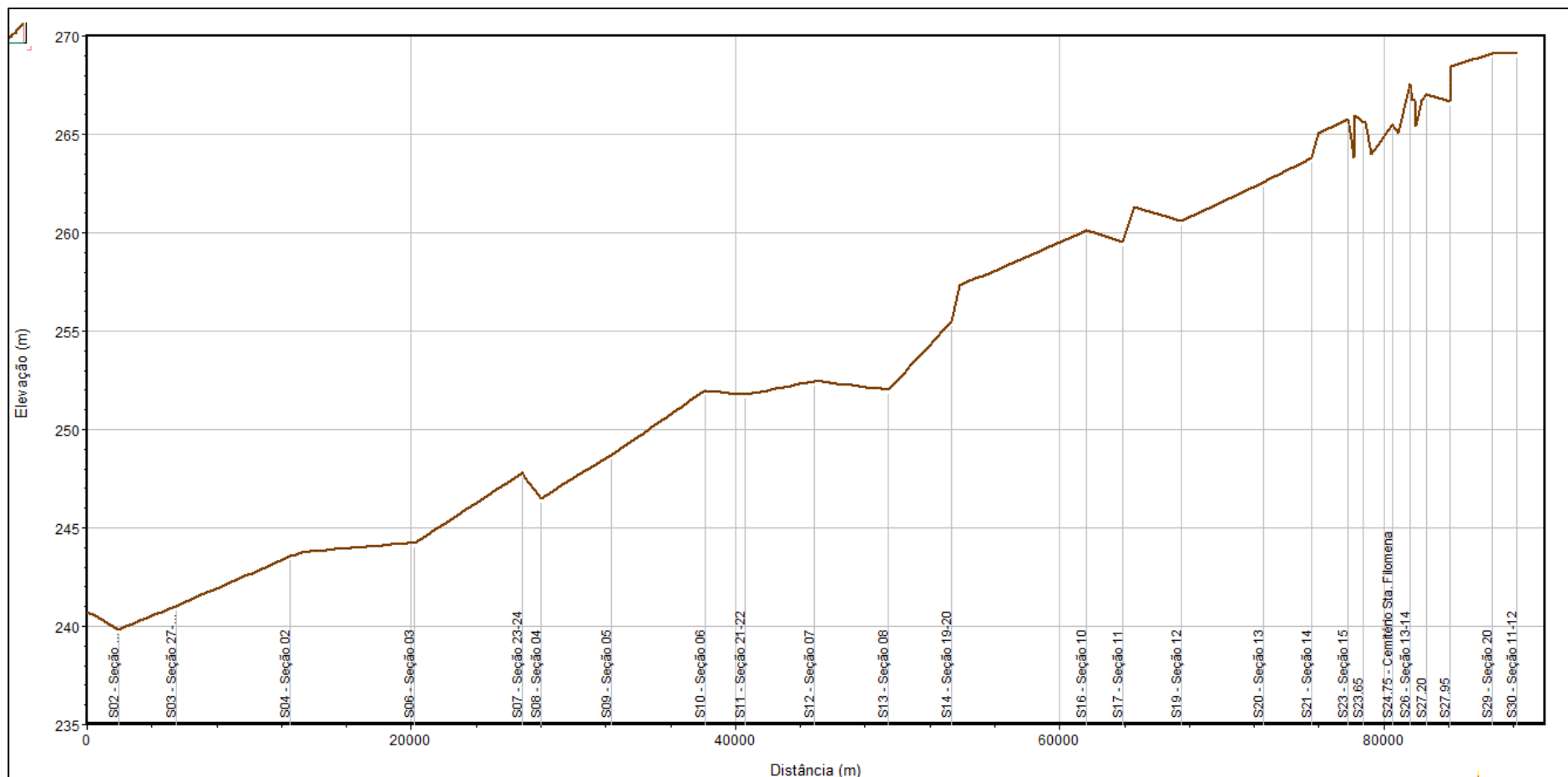
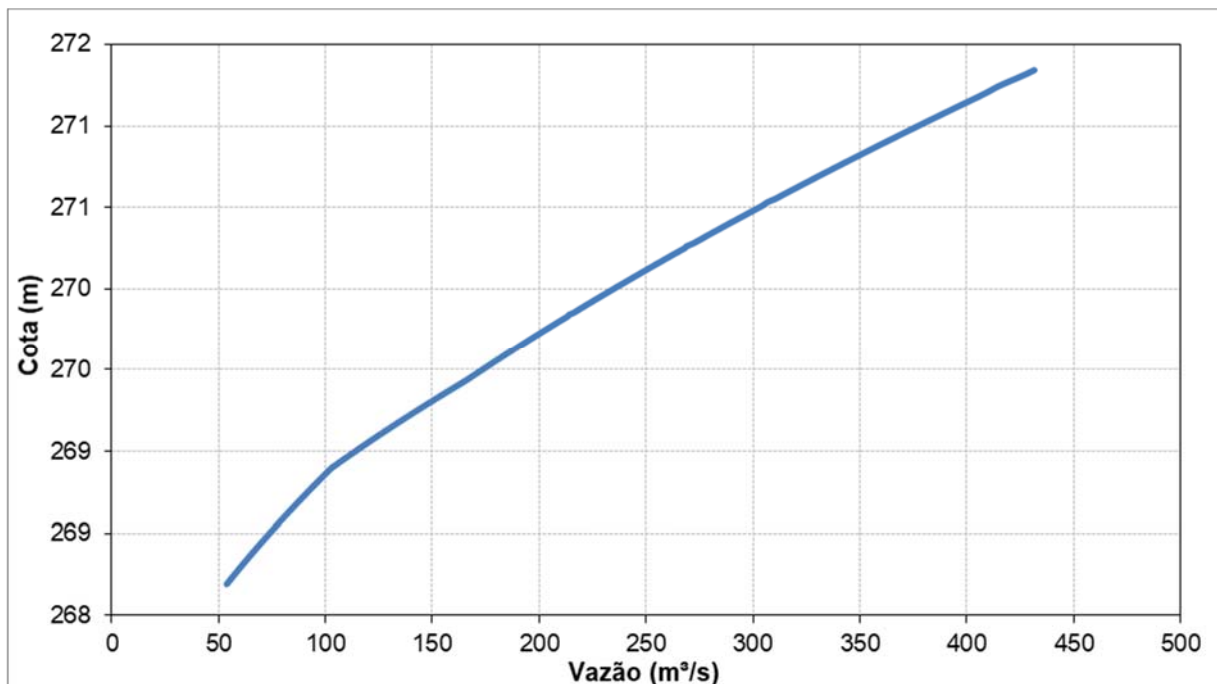


Figura 3.3. Perfil longitudinal do rio Parnaíba no trecho de implantação do reservatório da UHE Canto do Rio.

Complementarmente, foi levantada uma série de pontos altimétricos nas áreas urbanas das cidades de Santa Filomena e Alto Parnaíba e em seu entorno, representando os limites das margens do rio Parnaíba, o fundo na calha, os pontos de nível de água e o terreno, de forma a permitir o refinamento da informação topográfica disponível e possibilitar a construção de um modelo digital de terreno mais adequado para a representação das linhas de água. O modelo digital de terreno construído está apresentado no Desenho 2, em anexo.

Ainda no rol das informações topográficas, foram obtidos o zero da régua da estação fluviométrica do rio Parnaíba em Alto Parnaíba (34020000), igual a El. 265,17 m. Este dado permitiu a altimetria da curva-chave consistida no local da referida estação (Figura 3.4), informação esta que foi usada na calibração do modelo de hidráulica fluvial, conforme apresentado oportunamente neste relatório.

Finalmente, completando a gama de informações topográficas disponíveis para a elaboração deste estudo, tem-se os perfis de linha de água levantados para a elaboração dos estudos de Inventário, em maio de 2001 (Tabela 3.3); durante a complementação de topografia feita no âmbito do estudo de remanso anterior, em julho e agosto de 2016 (Tabela 3.4); e para os estudos de Projeto Básico, em setembro de 2009 (Tabela 3.5).



**Figura 3.4.** Curva-chave do rio Parnaíba em Alto Parnaíba (34020000).

**Tabela 3.3.** Perfil de linha de água levantado durante os estudos de Inventário (set/2001).

Distância até S01 Eixo do Barramento (m)	Cota (m)
88707	269,12
82137	267,57
76462	265,04
64987	261,29
53624	255,50
40752	251,76
26961	247,77
13397	243,77
5474	241,02
2074	239,50

**Tabela 3.4.** Perfil de linha de água levantado para a revisão do estudo de remanso (ago-set/2016).

Distância até S01 Eixo do Barramento (m)	Cota (m)
84591	268,93
84558	268,92
84489	268,89
83931	268,80
83611	268,62
83084	268,53
82774	268,43
82614	268,38
82411	268,37
82389	268,34
82349	268,32
82179	268,29
82001	268,27
81516	268,11
80926	268,06
80541	267,86
80014	267,60
79967	267,55
79788	267,49
79109	267,20
78839	267,23
78822	267,19
78752	267,08

**Tabela 3.5.** Perfil de linha de água levantado durante os estudos de Projeto Básico (mai/2009).

Distância até S01 Eixo do Barramento (m)	Cota (m)	Distância até S01 Eixo do Barramento (m)	Cota (m)
78767	272,56	41267	257,56
76767	271,47	40767	257,32
75995	271,05	39683	256,78
75041	270,65	38767	256,40
74767	270,60	36767	255,57
74259	270,50	36443	255,43
73907	270,25	34767	254,76
72767	269,96	33773	254,37
72127	269,80	32767	253,98
71640	269,71	32649	253,93
70767	269,27	31663	253,64
70531	269,15	30767	253,42
69902	268,92	29971	253,23
68767	268,38	28767	252,88
68670	268,33	28432	252,78
67911	268,08	26767	252,21
66767	267,58	25380	251,73
65743	267,13	24767	251,61
64767	266,80	23472	251,34
64699	266,78	22767	251,16
63755	266,58	22478	251,08
62767	266,18	20767	250,45
62346	266,02	20531	250,37
60767	265,29	19629	249,97
60496	265,16	18767	249,76
59417	264,84	17300	249,40
59043	264,83	16767	249,21
58767	264,72	15010	248,59
56767	263,92	14767	248,51
55789	263,53	12767	247,88
54767	263,24	11441	247,46
54070	263,04	10767	247,28
52767	262,41	9919	247,05
52599	262,33	8767	246,76
50767	261,74	6767	246,26
49780	261,41	6357	246,15
48767	260,93	4767	245,43
46767	259,97	4712	245,41
46230	259,72	2767	244,78
45531	259,46	1061	244,22
44767	259,00	767	244,09
43622	258,32	0	243,76
42767	258,04	-	-



### 3.2 Hidráulica Fluvial

Para a realização dos estudos de hidráulica fluvial foi utilizado o modelo matemático HEC-RAS – *River Analysis System*, desenvolvido pelo *Hydrologic Engineer Center* do *U.S. Army Corps of Engineer*, versão 5.0.5. Esse modelo é aplicado na simulação dos perfis de linha de água em rios e reservatórios, na hipótese de fluxo unidimensional e regime de escoamento permanente ou não permanente, gradualmente variado, subcrítico, supercrítico ou misto (combinação dos regimes subcrítico e supercrítico).

O procedimento adotado para determinação da linha de água pelo modelo foi o *Standard Step Method*, que se baseia na resolução iterativa da equação da energia de escoamento em superfícies livres, para a condição de regime permanente.

Os parâmetros do modelo, constituídos basicamente pelos coeficientes de rugosidade de Manning, foram calibrados levando-se em conta os níveis de água observados nas seções topobatimétricas durante o levantamento das mesmas, os quais foram associados a vazões estimadas para os dias dos levantamentos. Também foram usados os dados de nível de água obtidos dos perfis apresentados no item anterior.

Os principais dados de entrada do modelo de simulação hidráulica adotado são: a geometria do trecho fluvial de interesse, composta pelas seções transversais levantadas perpendicularmente à direção do fluxo; o cadastro das singularidades hidráulicas (pontes/bueiros) eventualmente existentes; a estimativa dos coeficientes de rugosidade de Manning e de perdas de carga localizadas nas contrações e expansões de cada seção; as vazões de projeto e as condições de contorno de montante e jusante do trecho fluvial analisado. Os itens seguintes sumarizam os dados utilizados:

- *Seções transversais*: conforme mencionado anteriormente, foram utilizadas 44 (quarenta e quatro) seções topobatimétricas;
- *Singularidades no trecho*: não foram identificadas singularidades hidráulicas no trecho do rio Parnaíba avaliado nos estudos, as ilhas e praias identificadas foram representadas por meio de seções transversais;
- *Coefficientes de rugosidade de Manning*: foram inicialmente estimados com base na bibliografia pertinente e posteriormente determinados por meio de calibração, tal como descrito no próximo item;

- *Condições de contorno:* para a simulação dos perfis de linha de água em condições naturais foram adotadas as hipóteses de profundidade normal, a montante, e curva-chave conhecida, a jusante. Para representar a profundidade normal, foi considerada a declividade média das linhas de água dos perfis de linha de água levantados, 0,000322 m/m, adequada para representar a declividade da linha de energia. Para a hipótese de existência do reservatório, a condição de contorno de jusante se altera para nível conhecido, igual ao N.A. normal de operação (El. 265 m).
- *Vazões de projeto:* durante a calibração do modelo foram adotadas as vazões estimadas para os dias dos levantamentos disponíveis e, nas simulações que se seguiram, foram utilizadas as vazões notáveis iguais à  $Q_{MLT}$ , vazão média das máximas anuais e vazão média das mínimas anuais, bem como os quantis de vazões máximas, estimados conforme apresentado neste relatório.

### 3.2.1 Calibração do Modelo

A calibração do modelo consistiu no ajuste manual, por tentativa e erro, dos valores do coeficiente de rugosidade de Manning, inicialmente assumidos para as seções de acordo com valores clássicos de literatura em função do material que reveste a superfície de cada seção.

Para a estimativa das vazões nas datas dos levantamentos, foi feita a ponderação por áreas de drenagem entre os dados observados nas estações fluviométricas do rio Parnaíba em Alto Parnaíba (34020000) e em Ribeiro Gonçalves (34040500), de forma análoga à que fora utilizada para a obtenção da série de vazões médias mensais do aproveitamento.

A Tabela 3.6 apresenta os níveis de água observados durante os levantamentos das seções e as respectivas vazões estimadas em cada uma. É importante mencionar que o perfil de linha de água do Inventário (Tabela 3.3) foi composto justamente pelos níveis de água observados nas seções topobatimétricas. Desta maneira, existem treze diferentes condições de vazão a serem simuladas para permitir a calibração dos parâmetros do modelo de hidráulica fluvial.

Além dos níveis de água observados, dado essencial para este trabalho, foi realizado o ajuste dos níveis simulados à curva-chave definida para a seção da estação fluviométrica do rio Parnaíba em Alto Parnaíba (34020000), apresentada anteriormente na Figura 3.4.

**Tabela 3.6.** Níveis de água observados nas seções topobatimétricas e respectivas vazões correspondentes.

Nome Atual	Nome Antigo	Nível de Água Observado (m)	Data do Levantamento	Vazão Estimada (m <sup>3</sup> /s)
S01	Seção 01 PB	244,43	17/05/2009	238
S02	Seção 29-30 INV	242,85	07/09/2001	96,7
S03	Seção 28-27 INV	243,88	07/09/2001	96,7
S04	Seção 02 PB	247,66	16/05/2009	218
S05	Seção 25-26 INV	245,66	06/09/2001	96,7
S06	Seção 03 PB	249,62	16/05/2009	218
S07	Seção 24-23 INV	250,04	06/09/2001	96,7
S08	Seção 04 PB	251,95	15/05/2009	214
S09	Seção 05 PB	253,21	15/05/2009	214
S10	Seção 06 PB	254,85	14/05/2009	221
S11	Seção 21-22 INV	254,05	05/09/2001	96,7
S12	Seção 07 PB	256,97	14/05/2009	221
S13	Seção 08 PB	258,39	13/05/2009	228
S14	Seção 20-19 INV	258,85	05/09/2001	96,7
S15	Seção 09 PB	259,99	13/05/2009	228
S16	Seção 10 PB	263,05	13/05/2009	228
S17	Seção 11 PB	264,17	11/05/2009	290
S18	Seção 17-18 INV	263,29	03/09/2001	96,7
S19	Seção 12 PB	265,45	11/05/2009	290
S20	Seção 13 PB	267,84	10/05/2009	348
S21	Seção 14 PB	268,60	10/05/2009	348
S22	Seção 16-15 INV	267,17	29/08/2001	98,0
S23	Seção 15 PB	269,02	11/05/2009	290
S24	Seção 16 PB	270,00	08/05/2009	363
S25	Seção 17 PB	270,44	08/05/2009	363
S26	Seção 13-14 INV	269,20	01/09/2001	96,7
S27	Seção 18 PB	271,62	07/05/2009	378
S28	Seção 19 PB	271,89	07/05/2009	378
S29	Seção 20 PB	272,70	07/05/2009	378
S30	Seção 12-11 INV	271,05	03/09/2001	96,7
-	-	PERFIL PB	23 e 24/05/2009	120
-	-	PERFIL LEVANTAMENTO COMPLEMENTAR	14 a 17/06/2016	54,3

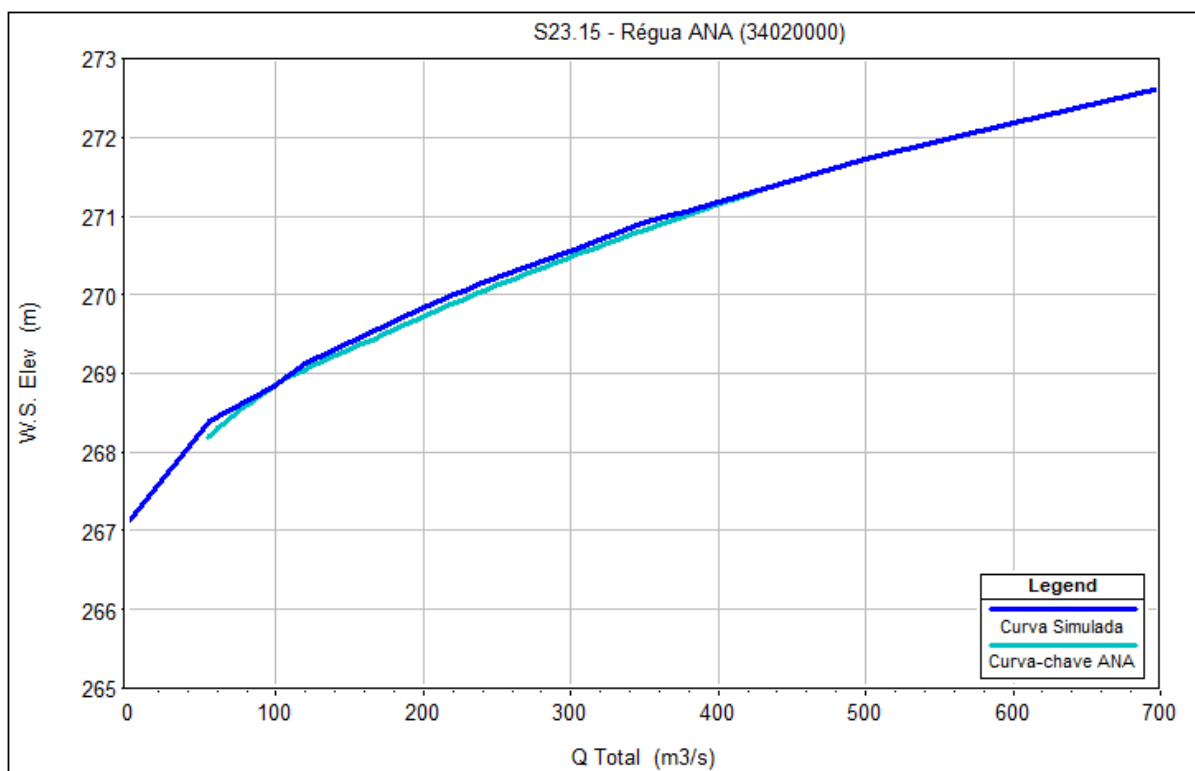
PB – Projeto Básico

INV - Inventário

Empregou-se, conforme mencionado, o procedimento de tentativa e erro na variação dos coeficientes de rugosidade de Manning, até que fossem obtidos os melhores ajustes entre os níveis de água simulados e observados. Para dar mais representatividade ao modelo

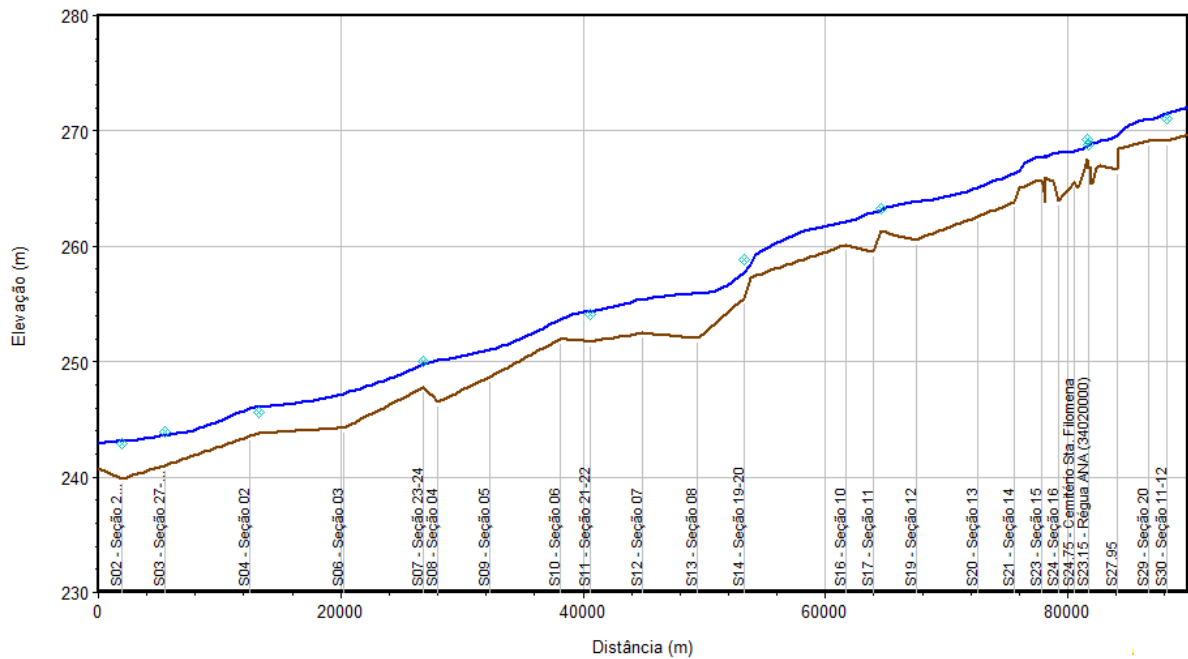
geométrico, foi procedida a interpolação linear orientada das seções. A distância máxima admitida entre duas seções consecutivas foi de 500 m.

A Figura 3.5 mostra a comparação das curvas-chaves simulada e observada na seção correspondentes às réguas da estação fluviométrica do rio Parnaíba em Alto Parnaíba (34020000). A análise desta figura, em conjunto com os perfis de linha de água apresentados anteriormente permite afirmar que a calibração dos parâmetros do modelo produziu resultados suficientemente próximos aos observados.

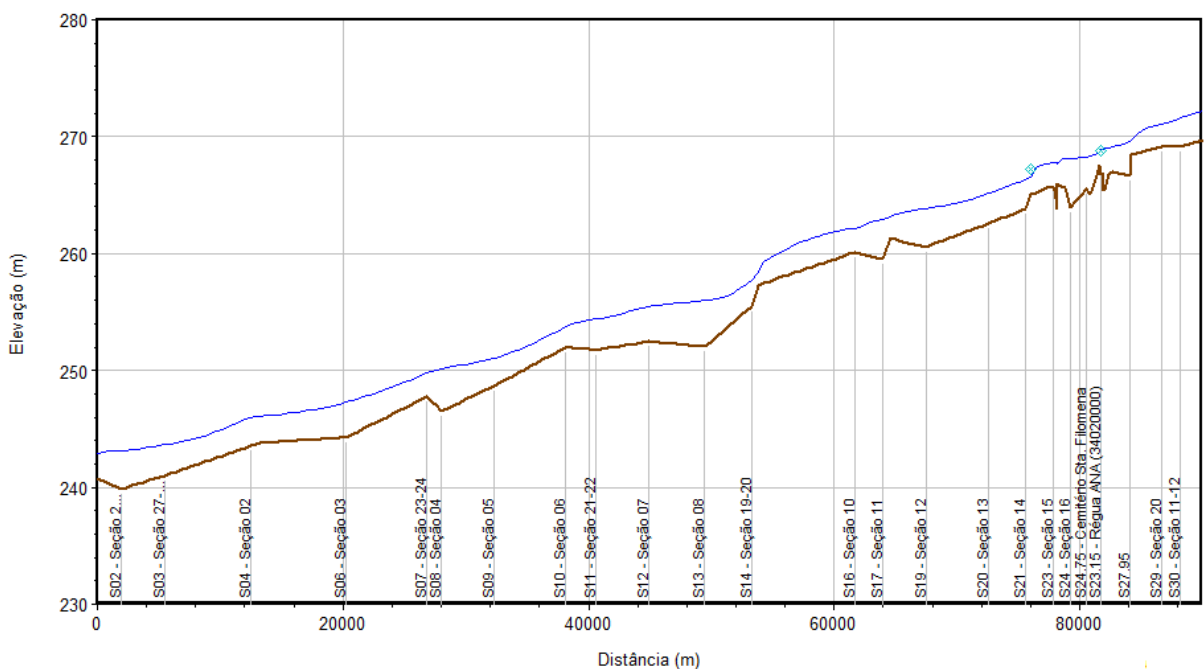


**Figura 3.5.** Curvas-chaves simulada e observada na estação fluviométrica do rio Parnaíba em Alto Parnaíba (34020000).

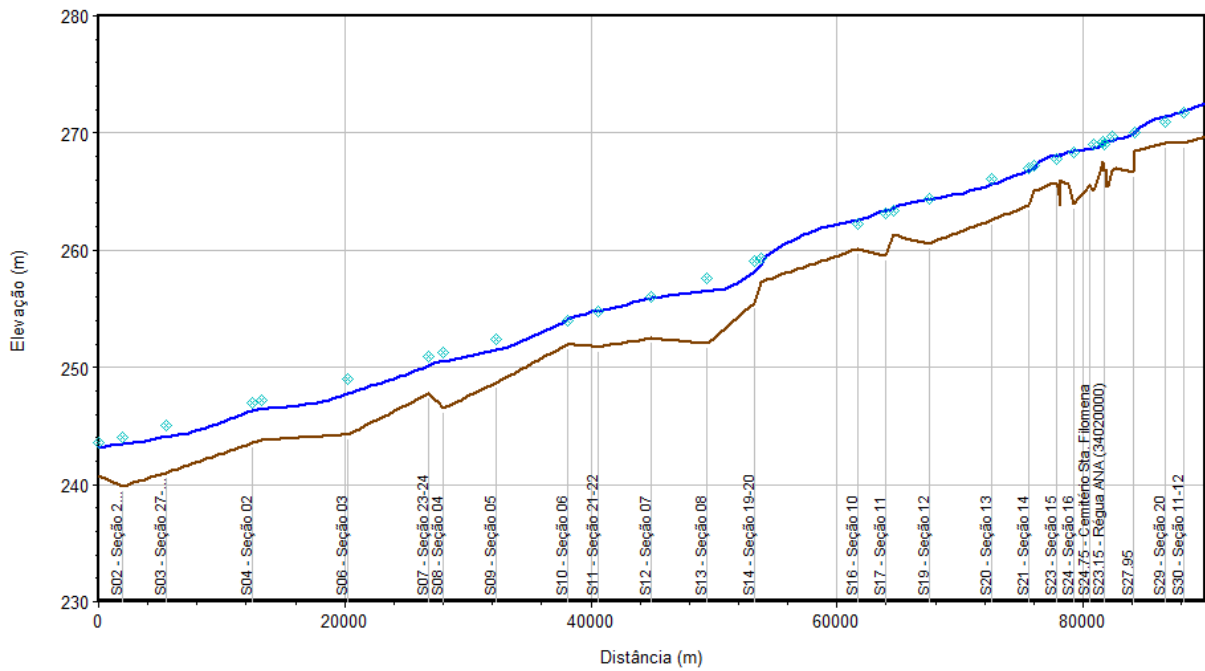
Entre a Figura 3.6 e Figura 3.18 estão ilustrados os perfis de linha de água simulados e os níveis observados para cada uma das vazões com informações disponíveis para calibração. A análise destas figuras permite avaliar que os parâmetros calibrados para o modelo de simulação, apesar de divergentes da literatura técnica disponível, produziram resultados aceitáveis, quando comparados com os valores observados.



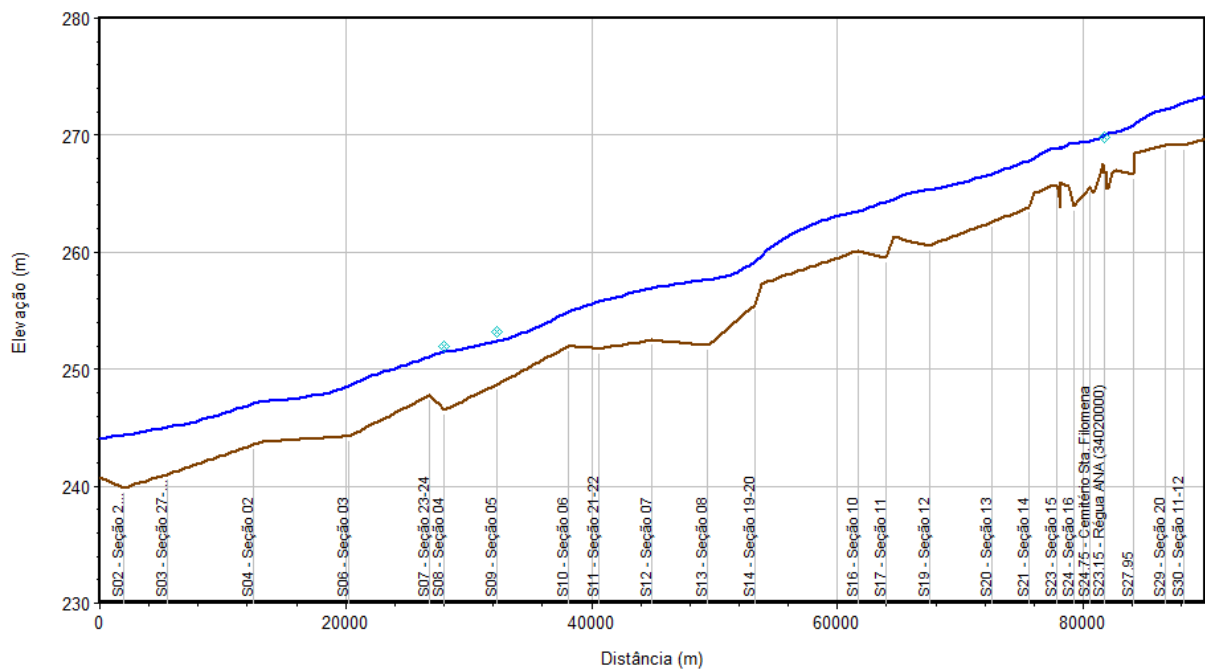
**Figura 3.6.** Perfil de linha de água no rio Parnaíba no trecho de implantação do reservatório da UHE Canto do Rio, para a vazão de 96,7 m<sup>3</sup>/s.



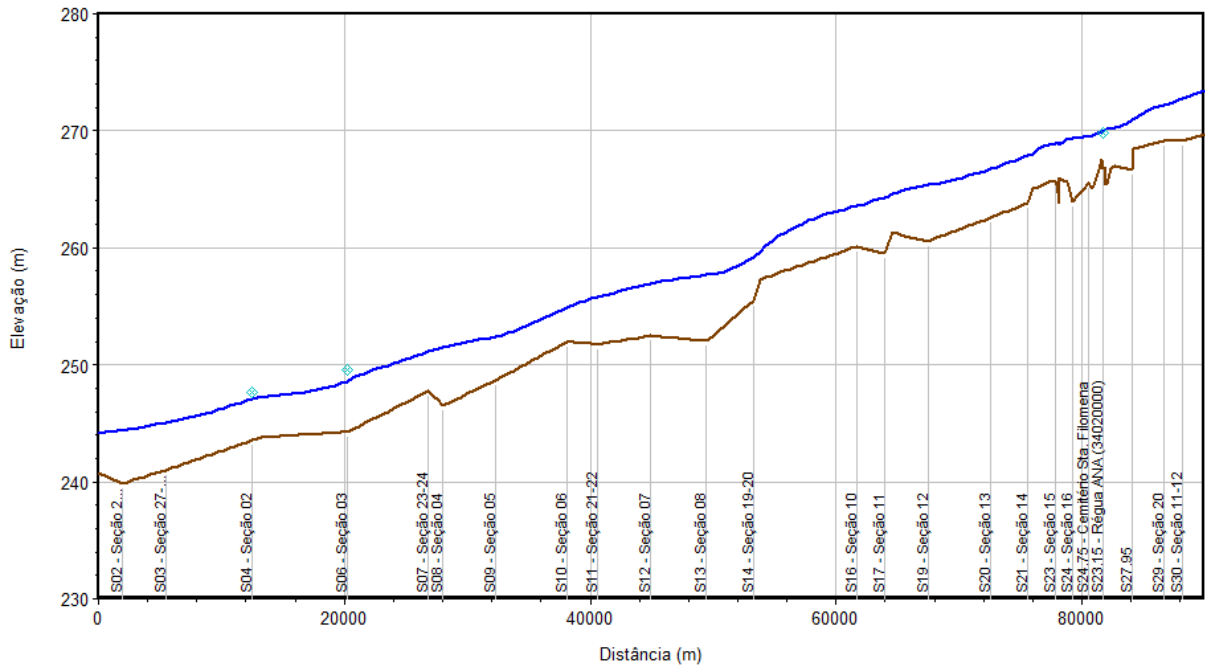
**Figura 3.7.** Perfil de linha de água no rio Parnaíba no trecho de implantação do reservatório da UHE Canto do Rio, para a vazão de 98,0 m<sup>3</sup>/s.



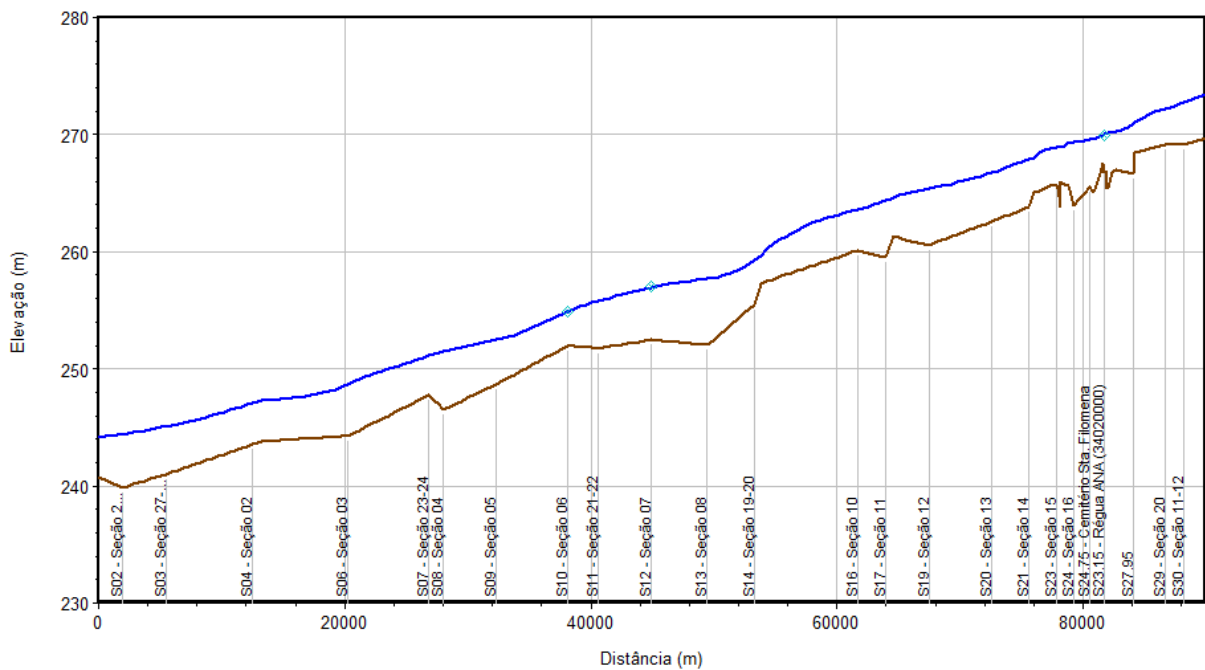
**Figura 3.8.** Perfil de linha de água no rio Parnaíba no trecho de implantação do reservatório da UHE Canto do Rio, para a vazão de 120 m<sup>3</sup>/s.



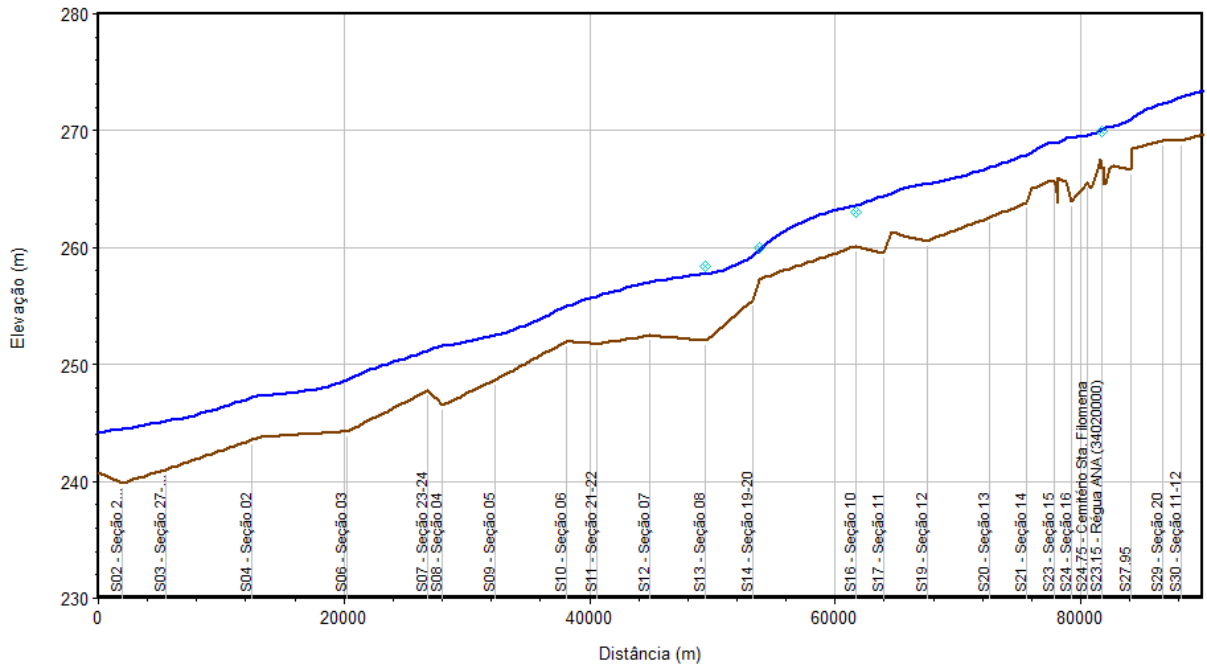
**Figura 3.9.** Perfil de linha de água no rio Parnaíba no trecho de implantação do reservatório da UHE Canto do Rio, para a vazão de 214 m<sup>3</sup>/s.



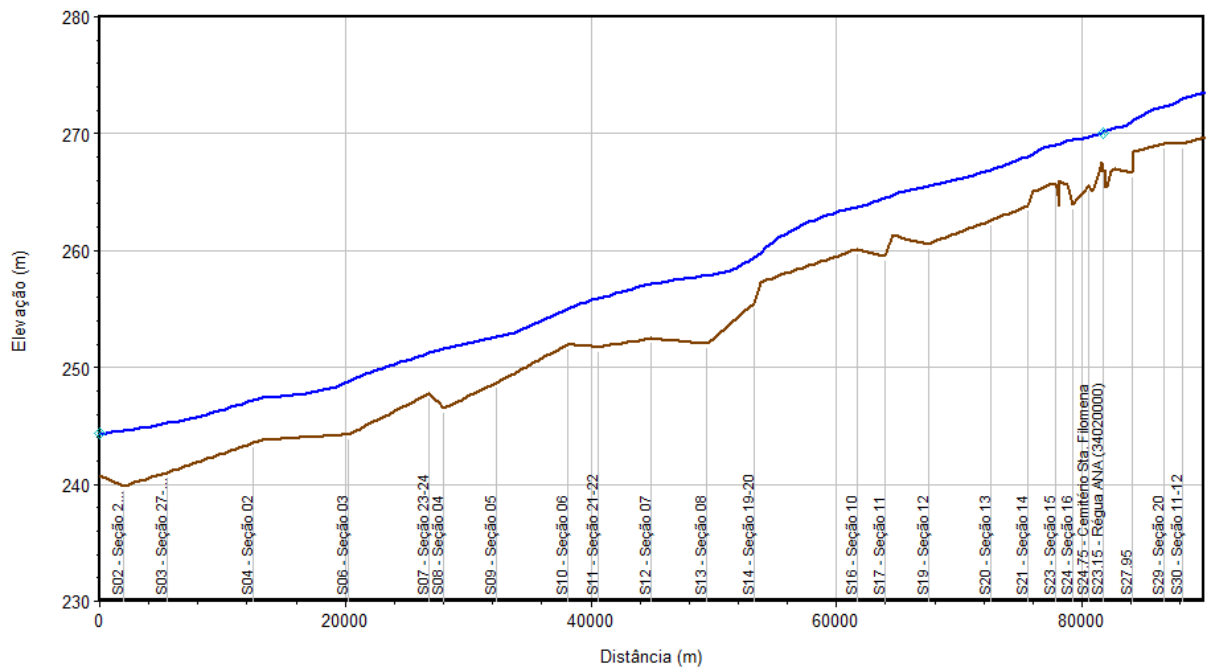
**Figura 3.10.** Perfil de linha de água no rio Parnaíba no trecho de implantação do reservatório da UHE Canto do Rio, para a vazão de 218 m<sup>3</sup>/s.



**Figura 3.11.** Perfil de linha de água no rio Parnaíba no trecho de implantação do reservatório da UHE Canto do Rio, para a vazão de 221 m<sup>3</sup>/s.

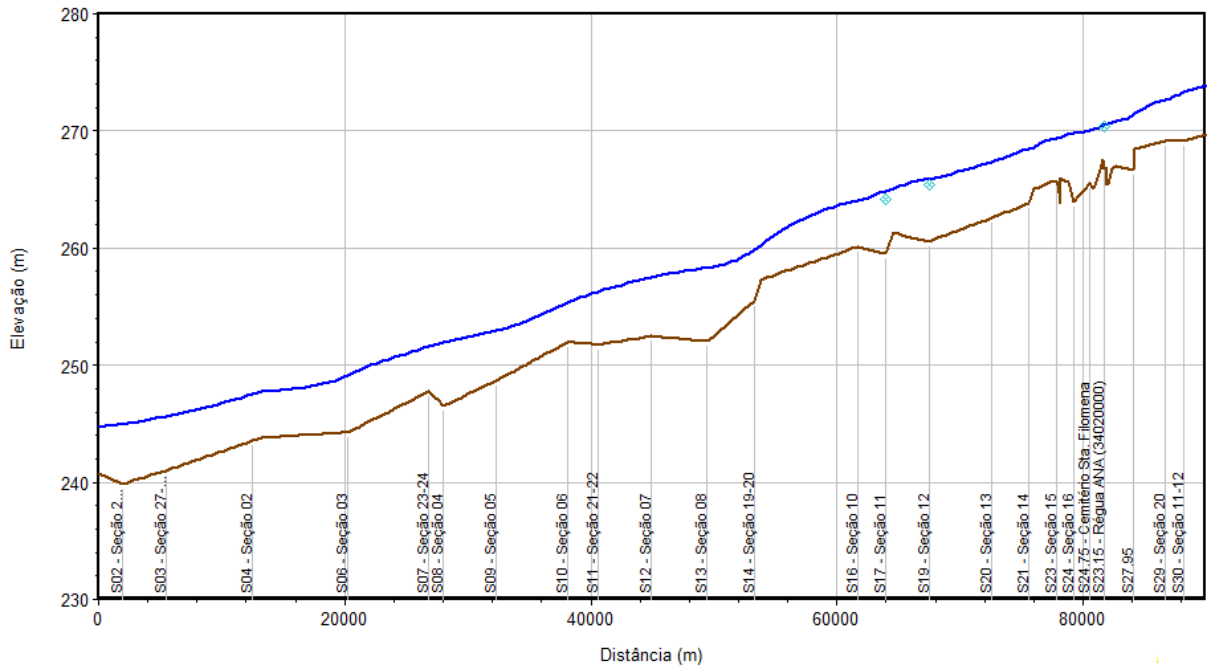


**Figura 3.12.** Perfil de linha de água no rio Parnaíba no trecho de implantação do reservatório da UHE Canto do Rio, para a vazão de 228 m<sup>3</sup>/s.

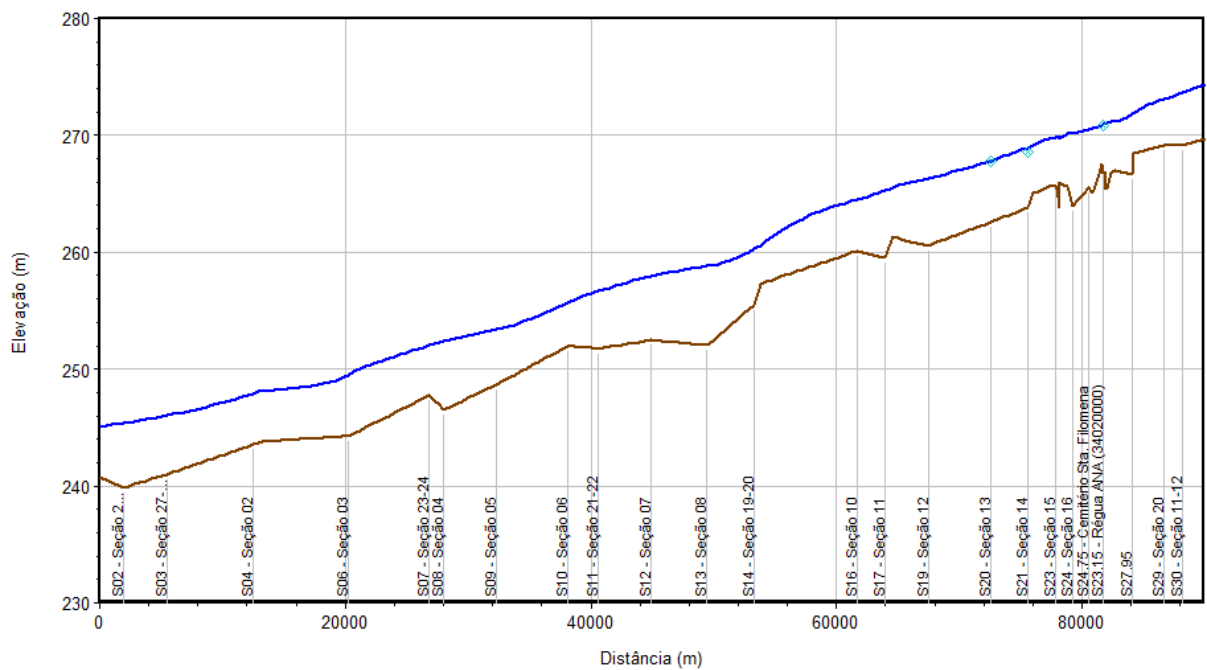


**Figura 3.13.** Perfil de linha de água no rio Parnaíba no trecho de implantação do reservatório da UHE Canto do Rio, para a vazão de 238 m<sup>3</sup>/s.

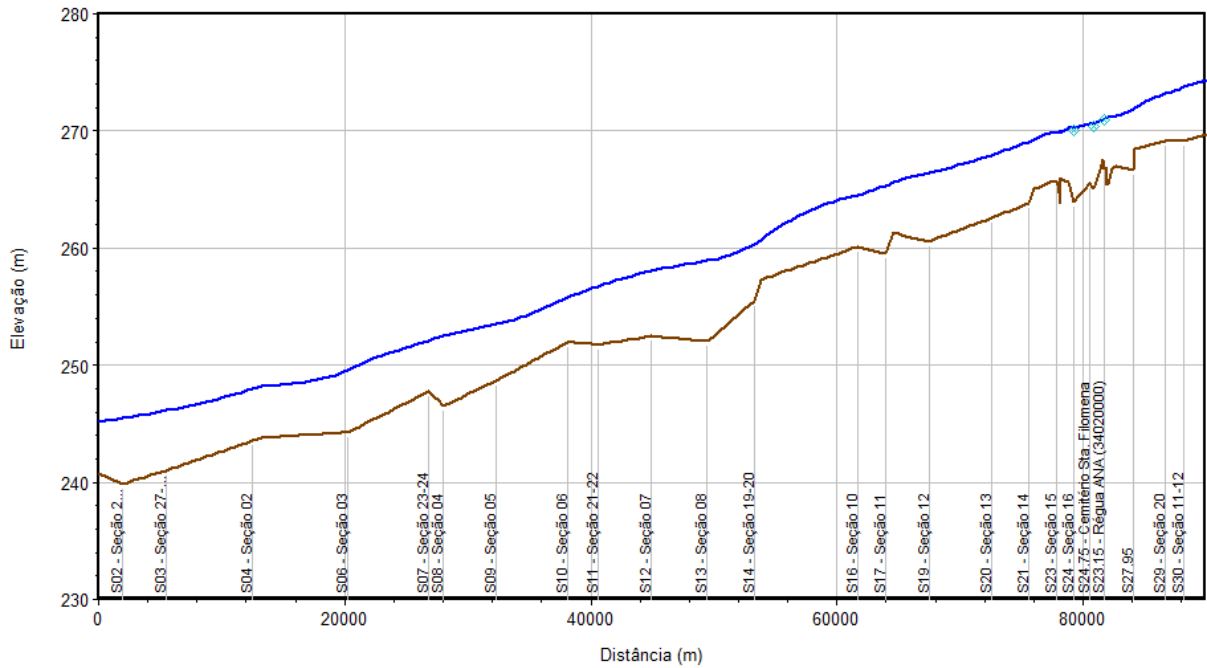




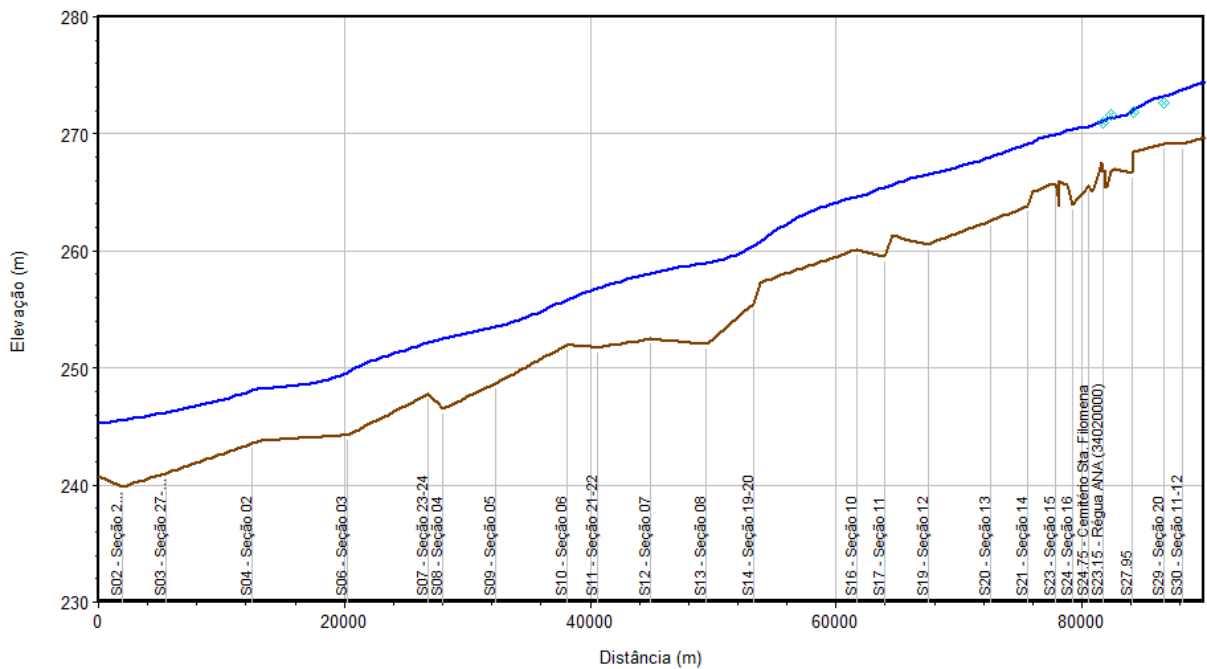
**Figura 3.14.** Perfil de linha de água no rio Parnaíba no trecho de implantação do reservatório da UHE Canto do Rio, para a vazão de 290 m<sup>3</sup>/s



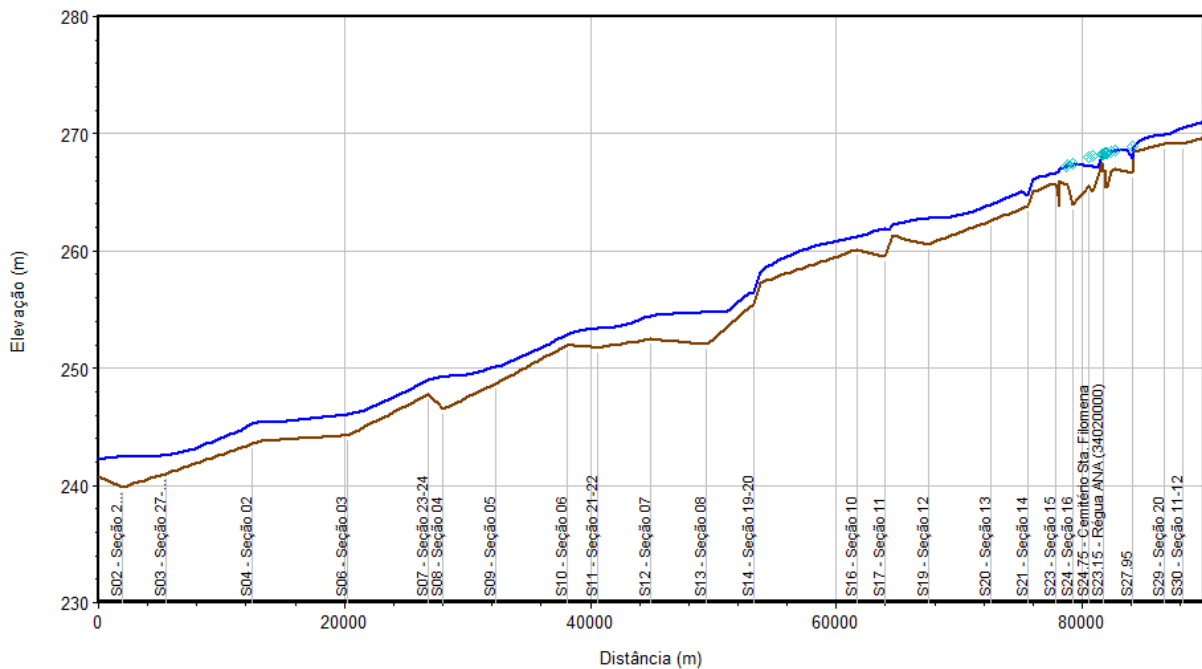
**Figura 3.15.** Perfil de linha de água no rio Parnaíba no trecho de implantação do reservatório da UHE Canto do Rio, para a vazão de 348 m<sup>3</sup>/s.



**Figura 3.16.** Perfil de linha de água no rio Parnaíba no trecho de implantação do reservatório da UHE Canto do Rio, para a vazão de 363 m<sup>3</sup>/s.



**Figura 3.17.** Perfil de linha de água no rio Parnaíba no trecho de implantação do reservatório da UHE Canto do Rio, para a vazão de 378 m<sup>3</sup>/s.



**Figura 3.18.** Perfil de linha de água no rio Parnaíba no trecho de implantação do reservatório da UHE Canto do Rio, para a vazão de 54,3 m<sup>3</sup>/s.

Para alcançar estes resultados foi necessário admitir que existe variação vertical do coeficiente de rugosidade de Manning em função da vazão em trânsito, hipótese bastante razoável para rios com calhas onde o aumento da vazão afasta os núcleos de maior velocidade do fundo e das margens onde os efeitos do atrito são mais sentidos pelo escoamento. A Tabela 3.7 apresenta a variação dos parâmetros em função das vazões.

**Tabela 3.7.** Variação do coeficiente de rugosidade de Manning.

Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Coeficiente de Manning		Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Coeficiente de Manning	
	A jusante da Seção S21	A montante da Seção S21		A jusante da Seção S21	A montante da Seção S21
50	0,0100	0.0040	400	0,0285	0.0265
75	0,0120	0.0070	500	0,0280	0.0260
100	0,0230	0.0230	600	0,0275	0.0255
125	0,0270	0.0250	700	0,0270	0.0250
150	0,0280	0.0260	800	0,0265	0.0245
200	0,0283	0.0263	900	0,0260	0.0240
300	0,0285	0.0265	1000	0,0255	0.0235
350	0,0290	0.0270	-	-	-

Para validar a calibração realizada foram verificados os níveis de água simulados para as vazões de enchente consideradas ordinárias, ou seja, aquelas que possuem entre 2 e 5 anos de período de retorno e são responsáveis pela modelagem da calha menor da grande maioria dos cursos de água. As simulações destas vazões para o trecho fluvial de interesse indicaram que, de fato, estas vazões apresentam níveis simulados no limiar superior do extravasamento da água para as planícies de inundação.

### 3.2.2 Simulações

Utilizando os parâmetros calibrados para o modelo, foram realizadas as simulações para definição das curvas de remanso provocadas pelo reservatório da UHE Canto do Rio. Foram consideradas as vazões de projeto mencionadas no início deste item.

Com a finalidade de determinar a influência do reservatório da usina foi admitido que os coeficientes de Manning calibrados para a situação de não existência do reservatório são válidos para a simulação da situação induzida pelo barramento.

Os resultados obtidos para os níveis de água ao longo do trecho fluvial simulado estão apresentados na Tabela 3.8. Da Figura 3.19 a Figura 3.26 estão ilustrados os perfis de linha de água para cada uma das vazões simuladas no trecho do rio Parnaíba que abrange deste o eixo do barramento da UHE Canto do Rio até a montante das localidades situadas às margens do trecho de montante do reservatório: Santa Filomena e Alta Parnaíba.

Conforme apresentado nas citadas figuras, à medida que se afasta do barramento, os perfis de linha de água tendem a se tornar coincidentes, marcando o final da influência induzida pelo reservatório.

A análise das figuras apresentadas, bem como das saídas numéricas do modelo de simulação empregado, permite afirmar que o reservatório da futura UHE Canto do Rio obedece a um padrão típico de funcionamento de reservatórios: quanto maior a vazão simulada em um mesmo ponto de referência, menor é a diferença entre os perfis de escoamento com a existência do reservatório e em condição natural, conseqüentemente, menor a extensão do remanso a partir do eixo.

**Tabela 3.8.** Níveis de águas (m) simulados no rio Parnaíba para as condições natural e remansado pelo reservatório da UHE Canto do Rio.

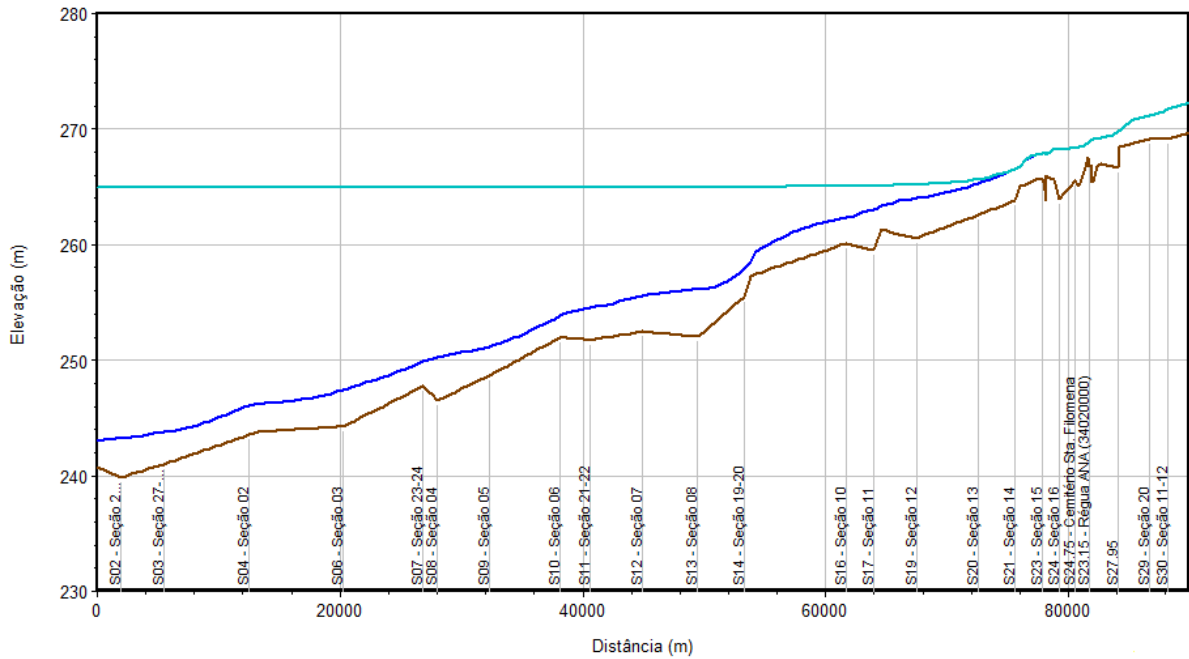
Nome Atual	Descrição (Nome Antigo)	Q Média Mínimas		Q MLT		Q Média Máximas	
		Natural	Reservatório	Natural	Reservatório	Natural	Reservatório
S30	Seção 11-12 INV	271,70	271,70	272,33	272,33	273,14	273,14
S29	Seção 20 PB	271,17	271,17	271,78	271,78	272,58	272,58
S28	Seção 19 PB	269,96	269,96	270,71	270,71	271,58	271,58
S27.95	-	269,89	269,89	270,64	270,64	271,50	271,50
S27.20	-	269,34	269,34	270,02	270,02	270,87	270,87
S27	Seção 18 PB	269,21	269,21	269,91	269,91	270,77	270,77
S26.55	-	269,18	269,18	269,86	269,86	270,72	270,72
S26.50	-	269,15	269,15	269,83	269,83	270,68	270,68
S26.45	-	269,09	269,09	269,76	269,76	270,60	270,60
S26.30	-	269,07	269,07	269,75	269,75	270,60	270,60
S26.20	-	269,06	269,06	269,74	269,74	270,59	270,59
S26.15	Régua ANA 34020000	269,03	269,03	269,71	269,71	270,55	270,55
S26	Seção 13-14 INV	268,92	268,92	269,64	269,64	270,51	270,51
S25	Seção 17 PB	268,60	268,60	269,34	269,34	270,21	270,21
S24.75	Cemitério Sta Filom.	268,51	268,51	269,23	269,23	270,10	270,10
S24	Seção 16 PB	268,36	268,36	269,03	269,03	269,84	269,84
S23.75	-	268,31	268,31	268,96	268,96	269,75	269,75
S23.65	-	268,29	268,29	268,93	268,93	269,71	269,72
S23.30	-	267,94	267,94	268,58	268,58	269,34	269,35
S23.25	-	267,99	267,99	268,63	268,63	269,41	269,43
S23.15	-	267,97	267,97	268,60	268,61	269,37	269,39
S23	Seção 15 PB	267,95	267,95	268,58	268,58	269,35	269,37
S22	Seção 15-16 INV	266,82	266,84	267,58	267,62	268,50	268,54
S21	Seção 14 PB	266,50	266,56	267,31	267,37	268,27	268,32
S20	Seção 13 PB	265,30	265,66	266,14	266,37	267,13	267,28
S19	Seção 12 PB	264,02	265,20	264,83	265,56	265,71	266,17
S18	Seção 17-18 INV	263,33	265,10	264,08	265,31	264,90	265,72
S17	Seção 11 PB	263,07	265,08	263,82	265,26	264,64	265,62
S16	Seção 10 PB	262,31	265,05	263,05	265,15	263,86	265,38
S15	Seção 09 PB	258,52	265,01	259,13	265,02	259,96	265,05
S14	Seção 19-20 INV	257,89	265,01	258,65	265,02	259,59	265,06
S13	Seção 08 PB	256,13	265,00	257,04	265,01	258,07	265,03
S12	Seção 07 PB	255,57	265,00	256,38	265,01	257,29	265,02
S11	Seção 21-22 INV	254,54	265,00	255,28	265,00	256,09	265,01
S10	Seção 06 PB	253,82	265,00	254,44	265,00	255,17	265,00
S09	Seção 05 PB	251,20	265,00	251,93	265,00	252,78	265,00
S08	Seção 04 PB	250,26	265,00	250,98	265,00	251,79	265,00
S07	Seção 23-24 INV	249,90	265,00	250,61	265,00	251,44	265,00
S06	Seção 03 PB	247,41	265,00	248,15	265,00	248,91	265,00
S05	Seção 25-26 INV	246,20	265,00	246,80	265,00	247,54	265,00
S04	Seção 02 PB	246,07	265,00	246,66	265,00	247,38	265,00
S03	Seção 27-28 INV	243,78	265,00	244,53	265,00	245,42	265,00
S02	Seção 29-30 INV	243,23	265,00	243,88	265,00	244,74	265,00
S01	Seção 01 PB	242,98	265,00	243,59	265,00	244,46	265,00

**Tabela 3.8 (Continuação).** Níveis de águas (m) simulados no rio Parnaíba para as condições natural e remansado pelo reservatório da UHE Canto do Rio.

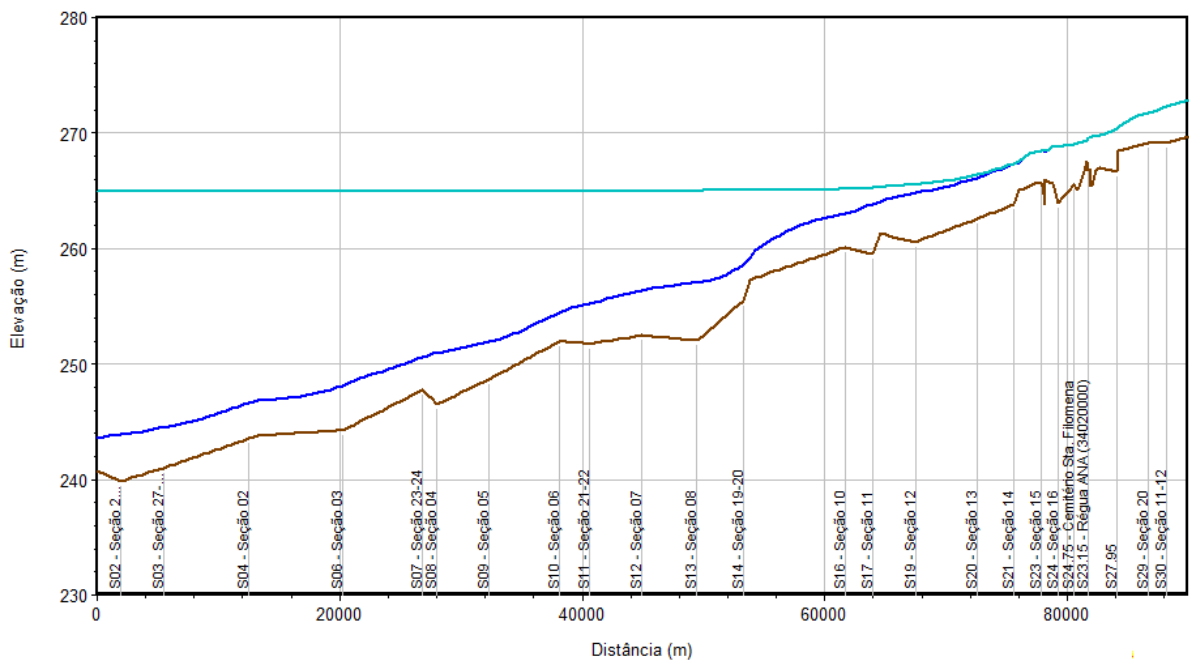
Nome Atual	Descrição (Nome Antigo)	Q 2 ANOS		Q 5 ANOS		Q 10 ANOS	
		Natural	Reservatório	Natural	Reservatório	Natural	Reservatório
S30	Seção 11-12 INV	274,75	274,75	275,41	275,41	275,77	275,77
S29	Seção 20 PB	274,22	274,22	274,89	274,89	275,24	275,24
S28	Seção 19 PB	273,25	273,25	273,94	273,94	274,31	274,31
S27.95	-	273,19	273,19	273,88	273,88	274,25	274,25
S27.20	-	272,64	272,64	273,36	273,36	273,74	273,74
S27	Seção 18 PB	272,56	272,56	273,29	273,29	273,67	273,67
S26.55	-	272,51	272,51	273,24	273,24	273,63	273,63
S26.50	-	272,48	272,48	273,21	273,21	273,60	273,60
S26.45	-	272,38	272,38	273,13	273,13	273,52	273,52
S26.30	-	272,38	272,38	273,13	273,13	273,52	273,52
S26.20	-	272,37	272,37	273,12	273,12	273,52	273,52
S26.15	Régua ANA 34020000	272,33	272,33	273,06	273,06	273,45	273,45
S26	Seção 13-14 INV	272,31	272,31	273,07	273,07	273,46	273,46
S25	Seção 17 PB	271,98	271,98	272,70	272,70	273,08	273,08
S24.75	Cemitério Sta Filom.	271,88	271,88	272,60	272,60	273,00	273,00
S24	Seção 16 PB	271,56	271,56	272,27	272,27	272,65	272,65
S23.75	-	271,46	271,46	272,19	272,19	272,57	272,57
S23.65	-	271,41	271,43	272,14	272,15	272,53	272,54
S23.30	-	271,02	271,04	271,76	271,78	272,16	272,18
S23.25	-	271,14	271,16	271,89	271,91	272,30	272,31
S23.15	-	271,07	271,09	271,81	271,82	272,21	272,22
S23	Seção 15 PB	271,06	271,08	271,81	271,82	272,21	272,22
S22	Seção 15-16 INV	270,40	270,44	271,19	271,22	271,60	271,62
S21	Seção 14 PB	270,19	270,23	270,96	270,99	271,38	271,40
S20	Seção 13 PB	269,07	269,16	269,84	269,90	270,24	270,28
S19	Seção 12 PB	267,41	267,63	268,08	268,25	268,44	268,58
S18	Seção 17-18 INV	266,52	266,92	267,16	267,46	267,52	267,76
S17	Seção 11 PB	266,27	266,73	266,91	267,25	267,25	267,54
S16	Seção 10 PB	265,48	266,22	266,09	266,64	266,43	266,89
S15	Seção 09 PB	261,64	265,20	262,29	265,30	262,65	265,38
S14	Seção 19-20 INV	261,42	265,22	262,14	265,33	262,55	265,42
S13	Seção 08 PB	259,90	265,12	260,61	265,17	261,05	265,22
S12	Seção 07 PB	258,90	265,06	259,54	265,09	259,95	265,11
S11	Seção 21-22 INV	257,51	265,02	258,08	265,03	258,44	265,04
S10	Seção 06 PB	256,51	265,02	257,08	265,02	257,45	265,03
S09	Seção 05 PB	254,34	265,00	254,98	265,01	255,38	265,01
S08	Seção 04 PB	253,27	265,00	253,88	265,00	254,28	265,00
S07	Seção 23-24 INV	252,94	265,00	253,57	265,00	253,98	265,00
S06	Seção 03 PB	250,31	265,00	250,91	265,00	251,29	265,00
S05	Seção 25-26 INV	248,99	265,00	249,63	265,00	250,04	265,00
S04	Seção 02 PB	248,78	265,00	249,40	265,00	249,79	265,00
S03	Seção 27-28 INV	247,10	265,00	247,84	265,00	248,26	265,00
S02	Seção 29-30 INV	246,52	265,00	247,30	265,00	247,76	265,00
S01	Seção 01 PB	246,26	265,00	247,05	265,00	247,52	265,00

**Tabela 3.8 (Continuação).** Níveis de águas (m) simulados no rio Parnaíba para as condições natural e remansado pelo reservatório da UHE Canto do Rio.

Nome Atual	Descrição (Nome Antigo)	Q <sub>50 ANOS</sub>		Q <sub>100 ANOS</sub>	
		Natural	Reservatório	Natural	Reservatório
S30	Seção 11-12 INV	276,36	276,36	276,59	276,59
S29	Seção 20 PB	275,81	275,81	276,03	276,03
S28	Seção 19 PB	274,91	274,91	275,17	275,17
S27.95	-	274,85	274,85	275,11	275,11
S27.20	-	274,34	274,34	274,56	274,56
S27	Seção 18 PB	274,26	274,26	274,48	274,48
S26.55	-	274,23	274,23	274,45	274,45
S26.50	-	274,21	274,21	274,43	274,43
S26.45	-	274,14	274,14	274,37	274,37
S26.30	-	274,14	274,14	274,37	274,37
S26.20	-	274,14	274,14	274,37	274,37
S26.15	Régua ANA 34020000	274,07	274,07	274,31	274,31
S26	Seção 13-14 INV	274,09	274,09	274,33	274,33
S25	Seção 17 PB	273,71	273,71	273,96	273,96
S24.75	Cemitério Sta Filom.	273,63	273,63	273,88	273,88
S24	Seção 16 PB	273,26	273,26	273,50	273,50
S23.75	-	273,18	273,18	273,42	273,42
S23.65	-	273,15	273,16	273,39	273,40
S23.30	-	272,78	272,79	273,03	273,04
S23.25	-	272,94	272,94	273,18	273,19
S23.15	-	272,84	272,84	273,08	273,09
S23	Seção 15 PB	272,84	272,85	273,09	273,10
S22	Seção 15-16 INV	272,27	272,28	272,55	272,56
S21	Seção 14 PB	272,07	272,09	272,36	272,37
S20	Seção 13 PB	270,92	270,95	271,21	271,24
S19	Seção 12 PB	269,09	269,19	269,37	269,45
S18	Seção 17-18 INV	268,16	268,34	268,44	268,59
S17	Seção 11 PB	267,87	268,08	268,14	268,32
S16	Seção 10 PB	267,03	267,38	267,29	267,60
S15	Seção 09 PB	263,30	265,55	263,57	265,64
S14	Seção 19-20 INV	263,27	265,62	263,58	265,71
S13	Seção 08 PB	261,85	265,34	262,15	265,40
S12	Seção 07 PB	260,71	265,17	261,00	265,20
S11	Seção 21-22 INV	259,11	265,07	259,38	265,08
S10	Seção 06 PB	258,15	265,05	258,44	265,05
S09	Seção 05 PB	256,18	265,01	256,50	265,02
S08	Seção 04 PB	255,06	265,01	255,37	265,01
S07	Seção 23-24 INV	254,80	265,01	255,13	265,01
S06	Seção 03 PB	252,04	265,00	252,35	265,00
S05	Seção 25-26 INV	250,79	265,00	251,07	265,00
S04	Seção 02 PB	250,52	265,00	250,79	265,00
S03	Seção 27-28 INV	249,04	265,00	249,35	265,00
S02	Seção 29-30 INV	248,60	265,00	248,94	265,00
S01	Seção 01 PB	248,39	265,00	248,74	265,00

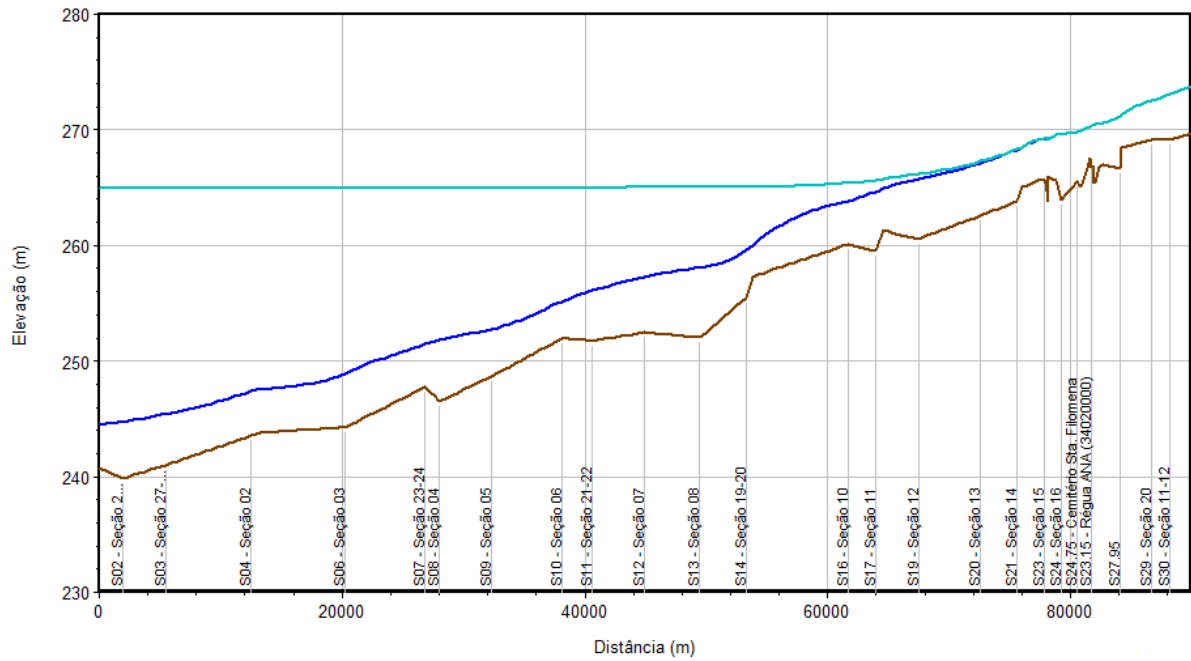


**Figura 3.19.** Perfis de linha de água no rio Parnaíba, para a vazão  $Q_{MédiaMínimas}$ , para as condições natural e remansado pelo reservatório.

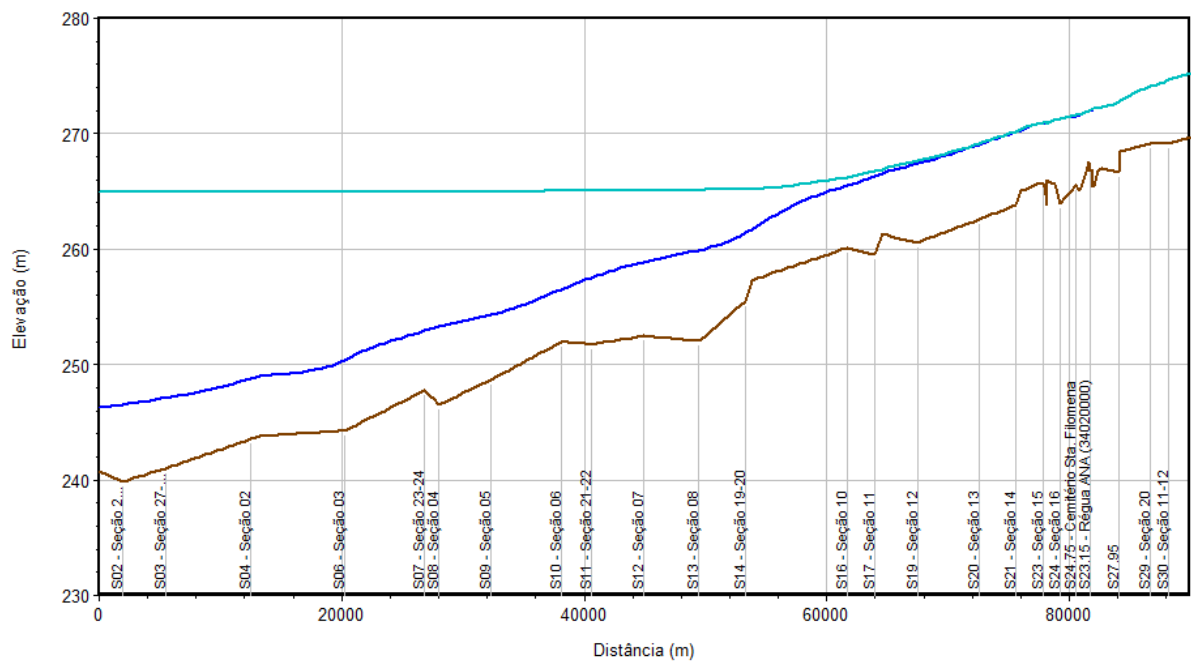


**Figura 3.20.** Perfis de linha de água no rio Parnaíba, para a vazão  $Q_{MLT}$ , para as condições natural e remansado pelo reservatório.

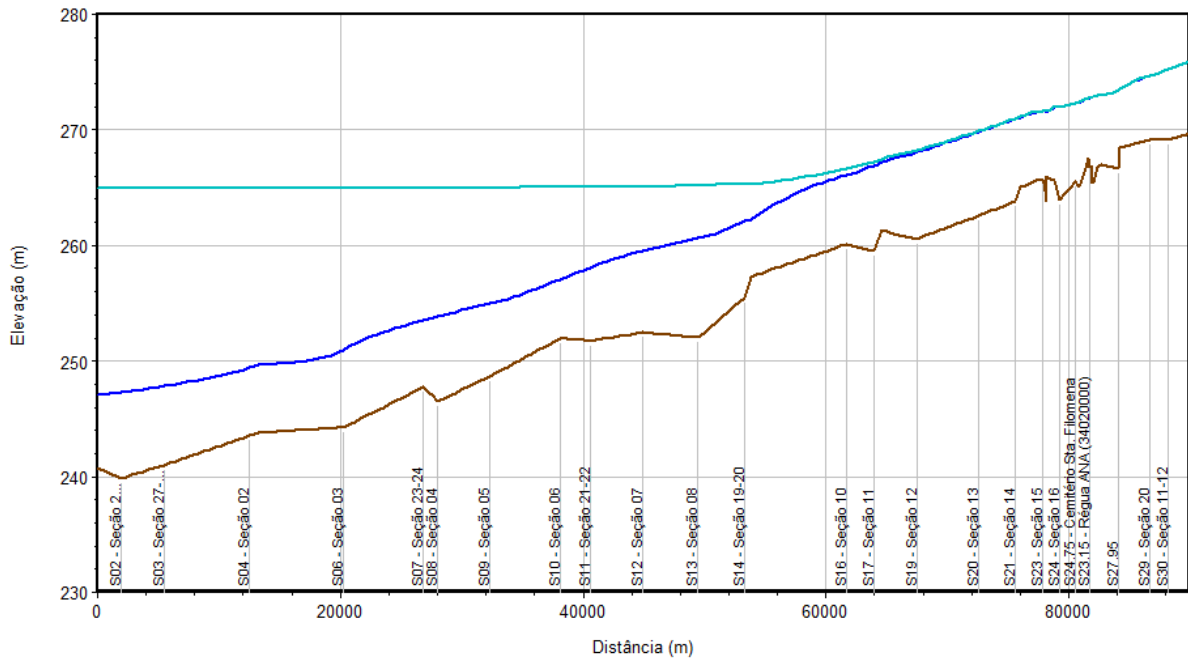




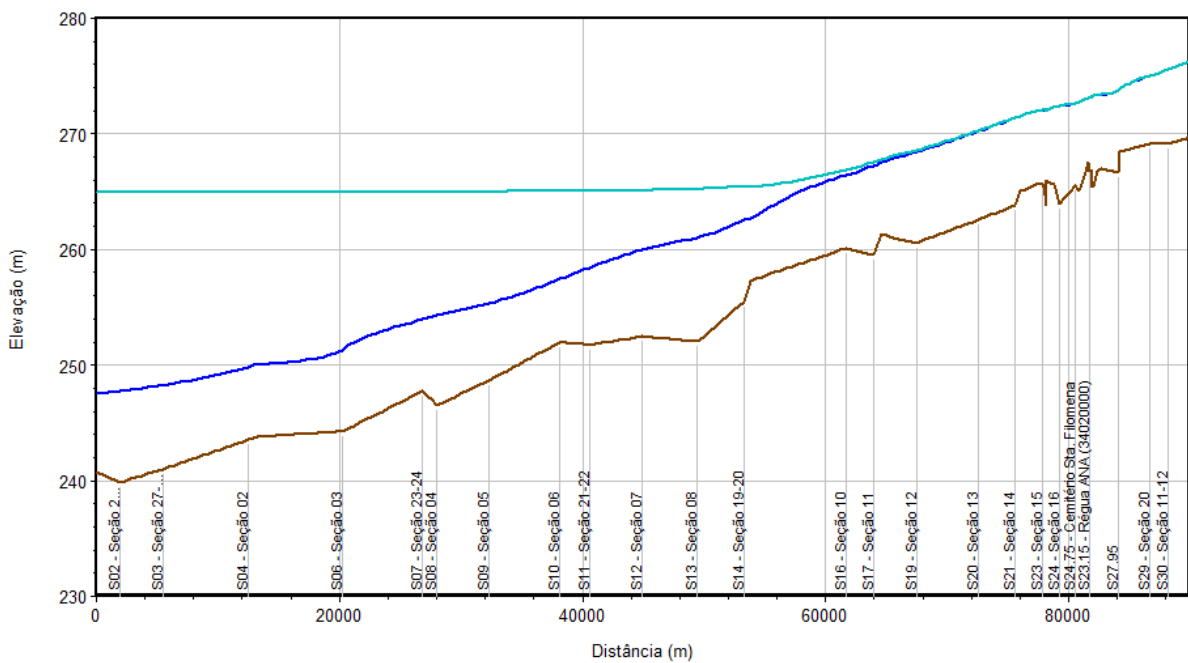
**Figura 3.21.** Perfis de linha de água no rio Parnaíba, para a vazão  $Q_{MédiaMáximas}$ , para as condições natural e remansado pelo reservatório.



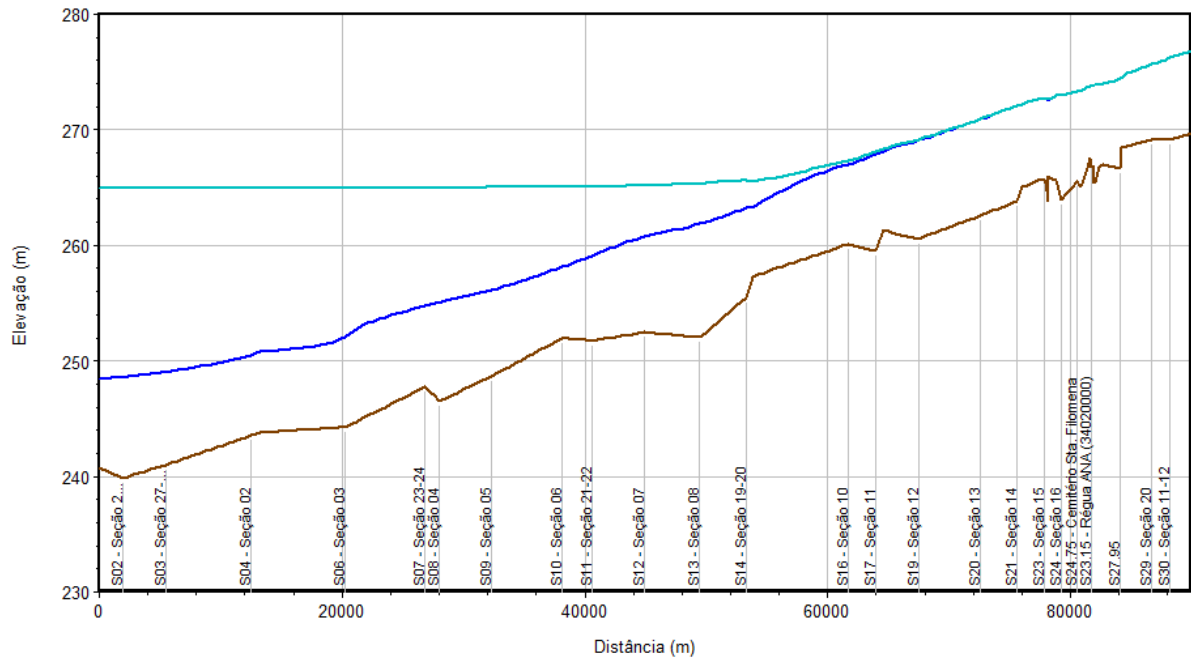
**Figura 3.22.** Perfis de linha de água no rio Parnaíba, para a vazão  $Q_{2ANOS}$ , para as condições natural e remansado pelo reservatório.



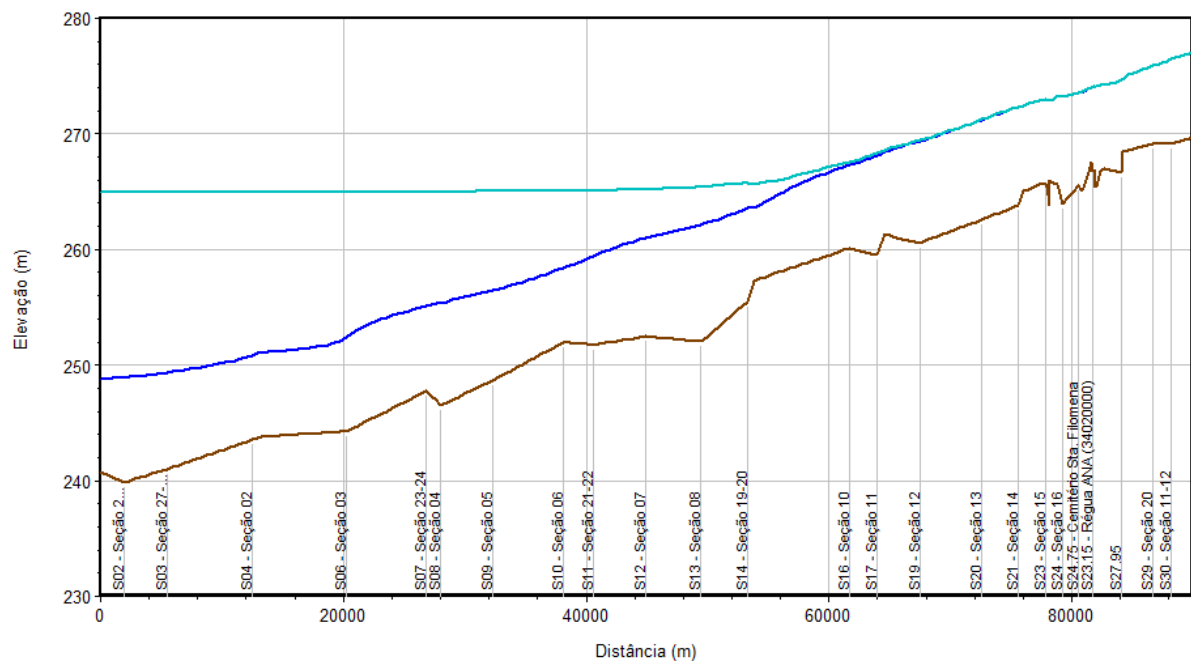
**Figura 3.23.** Perfis de linha de água no rio Parnaíba, para a vazão  $Q_{5ANOS}$ , para as condições natural e remansado pelo reservatório.



**Figura 3.24.** Perfis de linha de água no rio Parnaíba, para a vazão  $Q_{10ANOS}$ , para as condições natural e remansado pelo reservatório.



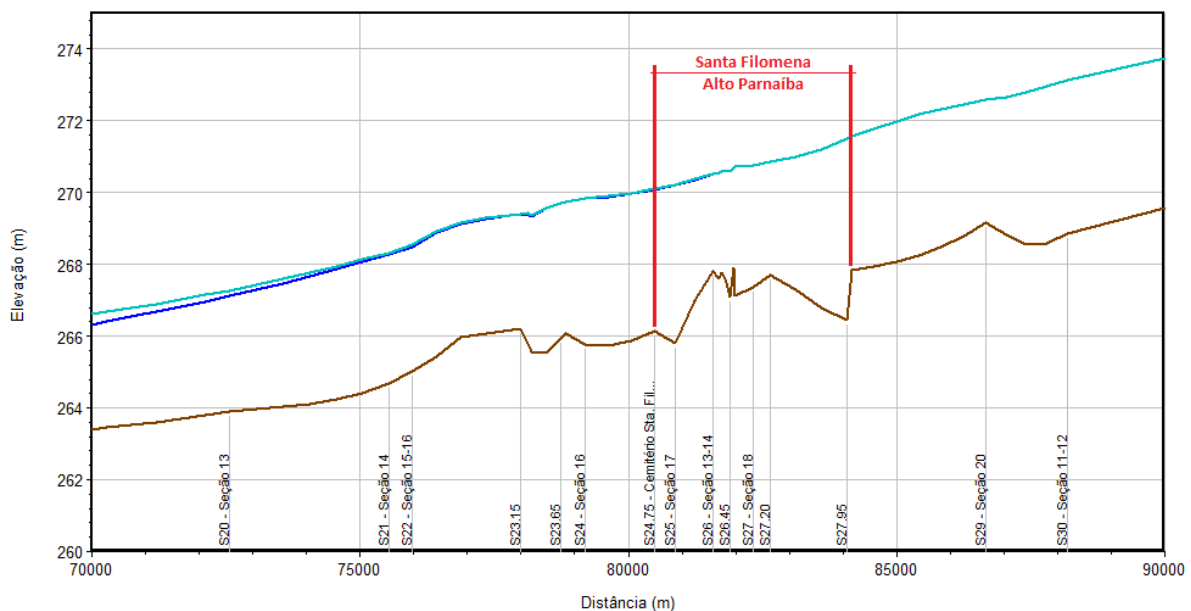
**Figura 3.25.** Perfis de linha de água no rio Parnaíba, para a vazão  $Q_{50ANOS}$ , para as condições natural e remansado pelo reservatório.



**Figura 3.26.** Perfis de linha de água no rio Parnaíba, para a vazão  $Q_{100ANOS}$ , para as condições natural e remansado pelo reservatório.

O trecho fluvial de maior interesse para esta análise, é onde as margens estão ocupadas por benfeitorias nas localidades de Alto Parnaíba (MA) e Santa Filomena (PI), ou seja, onde foram locadas as seções entre a S24.75 e a S28, sendo de especial importância, a seção S26, próxima às balsas que realizam o transporte de pessoas e veículos entre as localidades. Nestes locais, considerando todas as vazões simuladas, as diferenças entre as linhas de água natural e remansada são nulas.

A Figura 3.27 apresenta, em detalhe, o trecho fluvial em questão e os perfis (natural e com remanso) de linha de água para a vazão média das máximas que, de acordo com as solicitações do IBAMA, define a envoltória do reservatório associado à UHE Canto do Rio.



**Figura 3.27.** Perfis de linha de água no trecho fluvial de interesse principal, para as condições natural e remansado pelo reservatório.

Considerando o critério estabelecido, a envoltória do reservatório pode ser definida a partir de onde não existem diferenças numéricas entre os perfis de linha de água natural e remansado. Desta forma a envoltória foi definida entre a seção S23.15 e a seção S23.25, a cerca de 2,25 km a jusante do início da área urbana das cidades de Santa Filomena e Alto Parnaíba, conforme mostrado na folha 02 do Desenho 05, anexo.

## 4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Em linha com o trabalho anterior, a avaliação do regime hidrossedimentológico foi efetuada em função dos efeitos esperados nas condições hidráulicas de escoamento induzidas pelo reservatório (velocidades).

Cabe ressaltar que, a modelagem matemática, mesmo que embasada nos referidos dados primários, os quais dependem de sazonalidade e histórico para serem representativos, não disporá de informações para calibração do modelo até que o reservatório seja, de fato, formado e forneça os primeiros dados obtidos a partir do monitoramento sistêmico da batimetria do lago, para permitir esta etapa tão importante.

Tendo em conta o exposto, a análise foi efetuada por meio de equacionamento empírico, com aplicação do método de Hjulström (apud ASCE-Vanoni, 1977) com a utilização do diagrama da Figura 4.1.

O método consiste na estimativa das condições de transporte do sedimento em função do seu diâmetro característico e da velocidade média do fluxo em uma seção fluvial, a partir da curva representativa. Como critério na utilização desta metodologia, para um determinado diâmetro característico do sedimento, ocorrerá sua deposição para velocidades médias na seção fluvial inferiores à respectiva da curva de velocidade de decantação, ou seja, a velocidade média do escoamento na seção será capaz de iniciar a sedimentação deste material de igual ou maior granulometria.

A título de exemplo, conforme o diagrama da Figura 4.1, a velocidade média necessária para a deposição de sedimento em suspensão com diâmetro característico de 1 mm (areia média) deverá ser inferior a 6 cm/s.

Em função das velocidades médias nas seções transversais consideradas na modelagem hidráulica, para as hipóteses de escoamento em condições naturais e após a implantação do reservatório, obtém-se da curva de Hjulström o menor valor de diâmetro característico de sedimento a ser depositado.

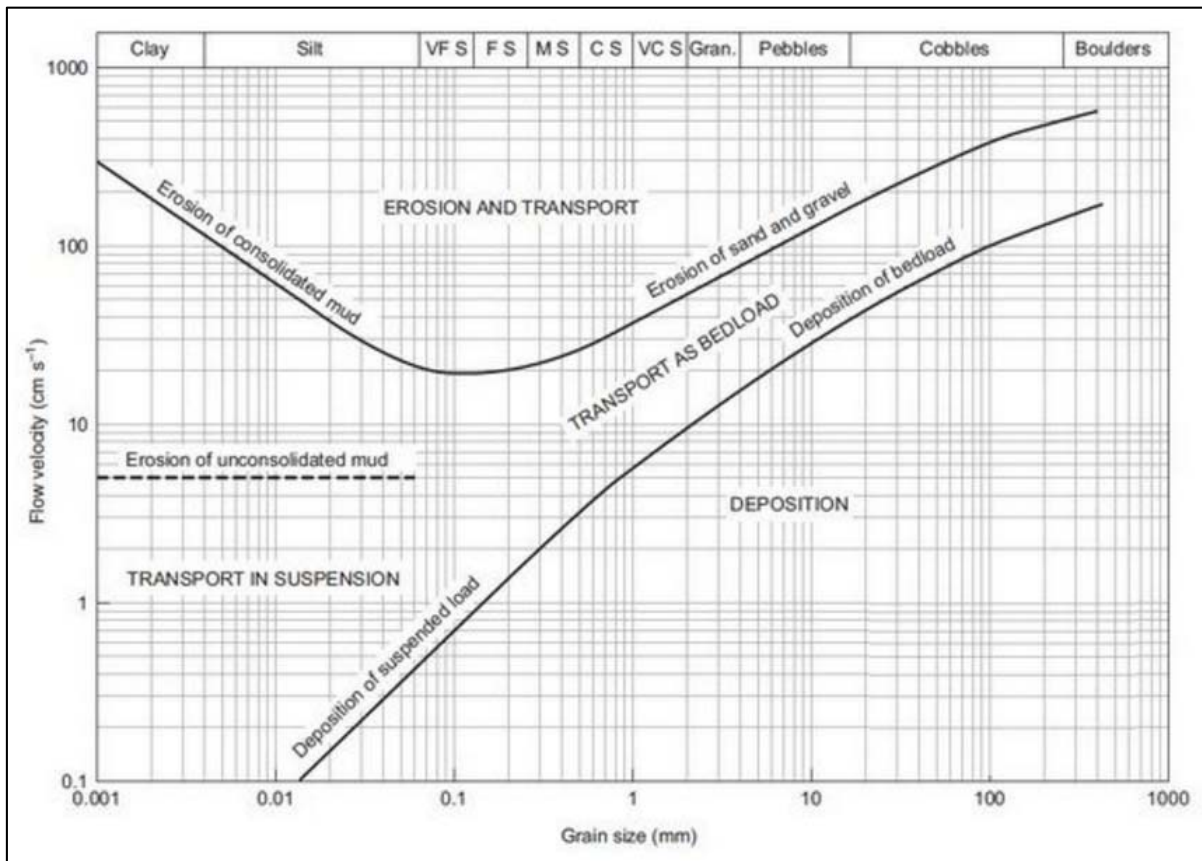


Figura 4.1. Diagrama de Hjulström.

As vazões consideradas nesta análise correspondem à média de longo termo,  $Q_{MLT}$ , representativa das condições médias de velocidade e, portanto, das condições médias do transporte de material sólido, à vazão média das máximas, usada para a definição da envoltório que define o reservatório e à vazão de cheia com tempo de retorno de 5 anos, denominada de vazão modeladora e considerada como aquela mais representativa do hidrograma anual médio, a qual mantém o padrão geomorfológico do rio Parnaíba.

A Tabela 4.1 e a Tabela 4.2 apresentam, respectivamente, os diâmetros mínimos de sedimentos a partir dos quais ocorre a deposição para as condições médias de velocidades ( $Q_{MLT}$ ) e velocidades máximas médias anuais ( $Q_{5ANOS}$ ), considerando as hipóteses de escoamento naturais e com reservatório.

Nos estudos anteriores foram realizadas campanhas para a determinação das curvas granulométricas do material em suspensão e de fundo na seção fluvial do rio Parnaíba no local do canal de fuga da UHE Canto do Rio. As principais informações obtidas a partir das referidas campanhas a respeito da granulometria do material sólido coletado, realizadas pela empresa Construserv Serviços Gerais Ltda., estão apresentadas na Figura 4.2.

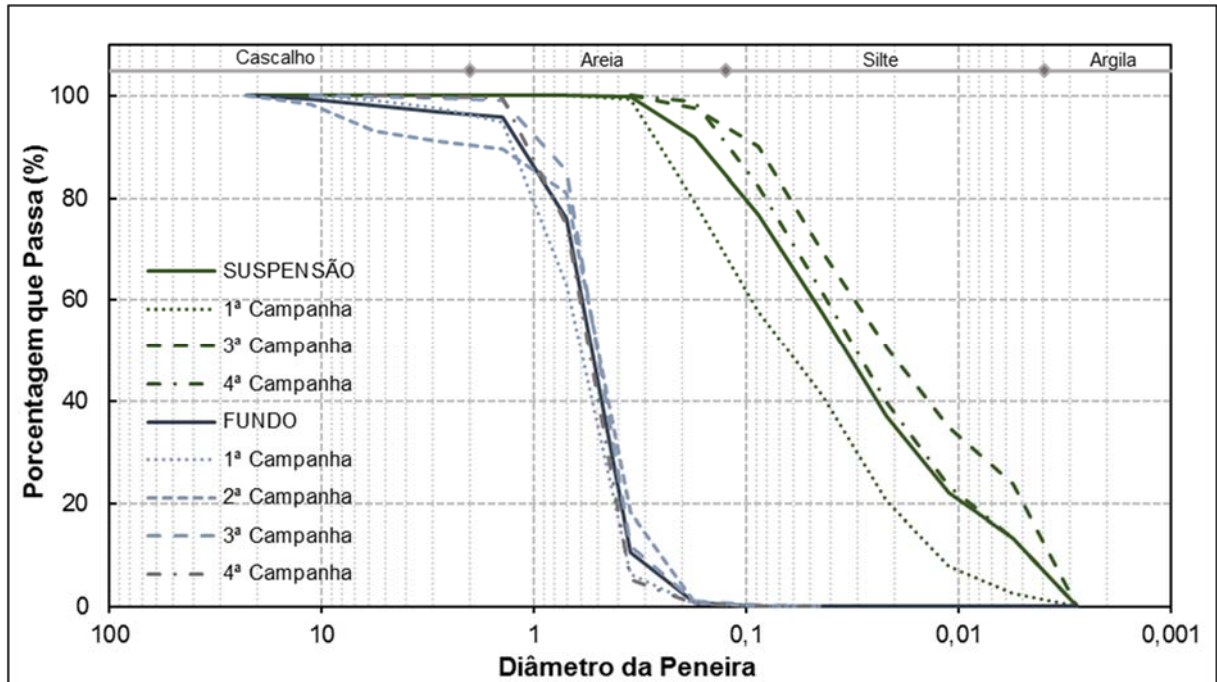
**Tabela 4.1.** Velocidade do escoamento (cm/s).

Nome Atual	Q MLT		Q 5 ANOS		Q Média Máximas	
	Natural	Reservatório	Natural	Reservatório	Natural	Reservatório
S30	105	116	124	136	164	178
S29	93	115	113	132	168	183
S28	139	113	157	138	220	207
S27.95	148	113	165	137	224	205
S27.20	86	111	107	133	162	186
S27	106	110	116	122	153	160
S26.55	70	112	89	127	134	162
S26.50	100	114	116	120	150	146
S26.45	130	112	150	131	187	177
S26.30	93	110	110	124	150	161
S26.20	85	109	101	115	135	140
S26.15	102	108	121	124	166	170
S26	116	108	119	111	129	127
S25	112	104	137	127	208	198
S24.75	98	102	119	122	172	174
S24	69	103	93	124	157	185
S23.75	89	103	109	118	159	164
S23.65	92	103	114	120	160	163
S23.30	145	103	169	126	214	177
S23.25	46	101	57	120	85	167
S23.15	70	99	90	113	140	156
S23	61	100	74	113	104	156
S22	167	100	170	112	190	155
S21	122	100	142	118	201	175
S20	120	100	141	122	207	192
S19	96	91	122	117	199	191
S18	115	86	135	105	183	159
S17	93	88	116	113	184	187
S16	90	81	110	107	169	177
S15	186	30	188	49	233	129
S14	153	14	169	22	180	55
S13	90	23	114	38	192	103
S12	93	17	113	27	182	74
S11	101	14	127	22	207	61
S10	111	10	129	16	194	44
S09	92	7	110	11	172	31
S08	90	4	111	6	179	17
S07	108	2	122	4	167	10
S06	135	2	165	3	266	9
S05	48	1	57	2	85	5
S04	99	2	118	3	178	7
S03	78	2	91	3	124	8
S02	69	2	84	3	109	8
S01	83	2	91	4	121	10

**Tabela 4.2.** Diâmetro mínimo para deposição de sedimentos (mm).

Nome Atual	Q MLT		Q 5 ANOS		Q Média Máximas	
	Natural	Reservatório	Natural	Reservatório	Natural	Reservatório
S30	122,0	170,4	205,6	258,4	381,6	> 430
S29	89,5	166,0	157,2	240,8	399,2	> 430
S28	271,6	157,2	350,8	267,2	> 430	> 430
S27.95	311,2	157,2	386,0	262,8	> 430	> 430
S27.20	79,0	148,4	130,8	245,2	372,8	> 430
S27	126,4	144,0	170,4	196,8	333,2	364,0
S26.55	55,0	152,8	83,5	218,8	249,6	372,8
S26.50	100,0	161,6	170,4	188,0	320,0	302,4
S26.45	232,0	152,8	320,0	236,4	> 430	> 430
S26.30	89,5	144,0	144,0	205,6	320,0	368,4
S26.20	77,5	139,6	104,4	166,0	254,0	276,0
S26.15	108,8	135,2	192,4	205,6	390,4	408,0
S26	170,4	135,2	183,6	148,4	227,6	218,8
S25	152,8	117,6	262,8	218,8	> 430	> 430
S24.75	97,0	108,8	183,6	196,8	416,8	425,6
S24	53,5	113,2	89,5	205,6	350,8	> 430
S23.75	83,5	113,2	139,6	179,2	359,6	381,6
S23.65	88,0	113,2	161,6	188,0	364,0	377,2
S23.30	298,0	113,2	403,6	214,4	> 430	> 430
S23.25	22,1	104,4	35,5	188,0	77,5	394,8
S23.15	55,0	98,5	85,0	157,2	276,0	346,4
S23	41,5	100,0	61,0	157,2	117,6	346,4
S22	394,8	100,0	408,0	152,8	> 430	342,0
S21	196,8	100,0	284,8	179,2	> 430	430,0
S20	188,0	100,0	280,4	196,8	> 430	> 430
S19	94,0	86,5	196,8	174,8	> 430	> 430
S18	166,0	79,0	254,0	122,0	> 430	359,6
S17	89,5	82,0	170,4	157,2	> 430	> 430
S16	85,0	71,5	144,0	130,8	403,6	> 430
S15	> 430	<b>10,5</b>	> 430	<b>24,3</b>	> 430	227,6
S14	333,2	<b>3,8</b>	403,6	<b>7,1</b>	> 430	<b>32,5</b>
S13	85,0	<b>7,6</b>	161,6	<b>16,3</b>	> 430	113,2
S12	89,5	<b>5,0</b>	157,2	<b>9,2</b>	> 430	61,0
S11	104,4	<b>3,8</b>	218,8	<b>7,1</b>	> 430	41,5
S10	148,4	<b>2,1</b>	227,6	<b>4,6</b>	> 430	<b>20,6</b>
S09	88,0	<b>1,3</b>	144,0	<b>2,5</b>	416,8	<b>11,2</b>
S08	85,0	<b>0,7</b>	148,4	<b>1,1</b>	> 430	<b>5,0</b>
S07	135,2	<b>0,3</b>	196,8	<b>0,7</b>	394,8	<b>2,1</b>
S06	254,0	<b>0,3</b>	386,0	<b>0,5</b>	> 430	<b>1,8</b>
S05	23,5	<b>0,1</b>	35,5	<b>0,3</b>	77,5	<b>0,8</b>
S04	98,5	<b>0,3</b>	179,2	<b>0,5</b>	> 430	<b>1,3</b>
S03	67,0	<b>0,3</b>	86,5	<b>0,5</b>	205,6	<b>1,6</b>
S02	53,5	<b>0,3</b>	76,0	<b>0,5</b>	139,6	<b>1,6</b>
S01	74,5	<b>0,3</b>	86,5	<b>0,7</b>	192,4	<b>2,1</b>





**Figura 4.2.** Curvas de granulometria de sólidos em suspensão e sedimentos de fundo no rio Parnaíba em UHE Canto do Rio.

A análise da Figura 4.2 permite constatar que há um comportamento variável em função da época do ano e das vazões em trânsito, especialmente tratando da descarga sólida em suspensão. De uma maneira média, 100% do material sólido transportado pelo rio Parnaíba no trecho fluvial de interesse possui diâmetro inferior a 32 mm, dos quais pelo menos 94% é inferior a 1 mm.

Comparando estes dados aos dados apresentados na Tabela 4.1 e na Tabela 4.2 é possível inferir que o assoreamento do leito fluvial se dará, de maneira mais acentuada, essencialmente na metade de jusante do reservatório, onde alterações no fundo das seções transversais não induzem sobrelevações de nível de água a montante, no trecho compreendido pelas curvas de remanso do reservatório.

## 5 ESCLARECIMENTOS AOS QUESTIONAMENTOS DO PARECER TÉCNICO Nº 10/2018-COHID/CGTEF/DILIC

Este capítulo se dedica a esclarecer os apontamentos realizados pelo IBAMA , no Parecer Técnico nº 10/2018/COHID/CGTEF/DILIC, sobre a análise do remanso do reservatório da UHE Canto do Rio, apresentado no Estudo de Impacto Ambiental – EIA (“EIA Revisado”), protocolado em 27 de janeiro de 2017, por meio da correspondência MPCH-CRI-MAM-CTE-005-2017.

É importante destacar que os esclarecimentos aqui apresentados dizem respeito à nova configuração do empreendimento UHE Canto do Rio, com nível normal de operação na El. 265,0 m, conforme embasamento técnico dispostos nos capítulos anteriores. Todavia, os mesmos apontamentos foram apresentados no Parecer Técnico 02012.000009/2016-82 NLA/MA/IBAMA referentes à El. 271,0 m, os quais foram devidamente respondidos no "EIA Revisado".

O Parecer Técnico em voga solicita a reapresentação do estudo de remanso e da envoltória do reservatório de acordo com os apontamentos abaixo transcritos:

“...

*o Termo de Referência apresentou, entre outras, as seguintes diretrizes e solicitações (grifos próprios):*

*Item 3.5 - Definição da Área do Reservatório: ‘35. A abrangência do reservatório para fins de desapropriação e de definição do início da área de preservação permanente fica estabelecida como sendo a mancha de inundação causada pelo barramento, incluindo o estudo de remanso para um fenômeno de vazão equivalente à vazão média das máximas anuais observando os critérios da Resolução CONAMA nº 302/2002’;*

*Item 3.5 - Definição da Área do Reservatório: ‘36. Realizar estudo de remanso para fins de identificação dos impactos ambientais associados a implantação do barramento. Tal estudo deverá ser*

*conclusivo acerca da interferência do barramento, em termos de sobrelevação no nível da água em diferentes seções do rio, notadamente àquelas onde há ocorrência de edificações, obras e infraestrutura e aglomerações populacionais. Os estudos devem considerar os seguintes componentes: a) Modelagem hidráulica; b) Nível Máximo Normal na casa de força; c) Vazões: média das mínimas anuais, média de longo termo, média das máximas anuais, TR = 50 e 100 anos; d) Efeitos de remanso'.*

*..."*

O estudo de remanso, acompanhado da definição da área de abrangência do reservatório da UHE Canto do Rio, apresentados nos capítulos anteriores, cumprem os requisitos técnicos dispostos no Termo de Referência e transcritos no Parecer Técnico em questão. O estudo de remanso foi elaborado por meio de modelagem matemática, valendo-se do *software* HEC-RAS, amplamente usado para análises afins, considerando a gama de vazões notáveis solicitada no Parecer Técnico, que é mais ampla que as definidas no Termo de Referência. As manchas de inundação apresentadas em anexo, sobre imagens de satélite de boa resolução permitem identificar as interferências do reservatório, incluindo aquelas provocadas pelo efeito hidráulico de remanso, permitindo a indicação das medidas mitigadoras adequadas a cada caso.

*"...*

*Item 3.8.2 Área de Influência Direta - AID: '50. As áreas passíveis de sofrerem impactos diretos - a montante, no reservatório e a jusante da barragem - deverão ter sua extensão definida pelo estudo, considerando altimetria, efeitos de remanso, parâmetros de qualidade da água, regime hidrológico, regime hidrossedimentológico, ambientes aquáticos, sítios de reprodução da ictiofauna, elevação do nível do lençol freático, entre outros': e*

*Item 3.8.3 Área Diretamente Afetada - ADA: '51. Engloba: as áreas destinadas à instalação da infraestrutura necessária à implantação e operação do empreendimento; área do reservatório considerando o efeito de remanso, e a respectiva área de preservação permanente*

*(APP); eventuais trechos de vazão reduzida (TVR); barramentos, diques e canais; e pontos de localização de obras civis decorrentes ou associadas ao empreendimento, como vilas residenciais, alojamentos, canteiros de obras, vias de acesso existentes ou novas, áreas de empréstimo, bota-foras e áreas de segurança impostas pela tipologia do empreendimento".*

*..."*

Importante ressaltar que, seguindo o conceito de área de abrangência de reservatório empregado, não há viabilidade econômica e social para a UHE Canto do Rio considerando nível de água normal de operação na El. 271,0 m. Isto posto, após a validação e a anuência por parte do IBAMA com a alteração do nível de água máximo normal de operação da El. 271,0 m para a El. 265,0 m, o Estudo de Impacto Ambiental deverá ser revisado, de forma incorporar todas as modificações necessárias para esta nova concepção, quais sejam nos textos e nos desenhos temáticos.

*"...*

*Contudo, a primeira versão do EIA não considerou tais solicitações do Ibama para a delimitação do reservatório, conforme avaliado no Parecer Técnico 02012.000009/2016-82 NLA/MA/IBAMA. O referido parecer ainda discorre sobre pontos importantes relacionados ao remanso, sendo os principais elencados abaixo:*

*Item 5.1.13 Hidrogeologia e Qualidade das Águas Subterrâneas. 'O estudo ainda informa que, com o enchimento do reservatório, havendo variações dos níveis freáticos nas proximidades do reservatório e no seu remanso, podendo coincidir com áreas mais urbanizadas. O estudo é confuso quanto a identificação da influência da formação do reservatório em edificações próximas: em alguns momentos afirma que a água subterrânea atingirá edificações próximas e/ou suas fundações após o enchimento do reservatório, porém em outros momentos afirma que não haverá esse impacto';*

*..."*

Partindo do nível de água normal de operação proposto para o empreendimento (El. 265,0 m), a área de abrangência do reservatório definida pela passagem da vazão média das máximas anuais, dista cerca de 2,25 km do início da área urbana das cidades de Santa Filomena e Alto Parnaíba. Ou seja, não existirá nenhuma influência direta no nível das águas subterrâneas ou mesmo do efeito de remanso provocado pelo reservatório sobre as edificações localizadas nas áreas urbanizadas, incluindo os cemitérios existentes nas referidas cidades.

“ ...

*Item 7.4 Meio Socioeconômico: Impacto - Perda de Terras e Benfeitorias; Deslocamento Compulsório de População: ‘Observando que o efeito remanso atinge as áreas urbanas de Alto Parnaíba e Santa Filomena, não fica claro qual a cota de inundação adotada para fins de desapropriação. Pontua-se que o Termo de Referência indicou, para efeito de proteção da estrutura urbana que se adotasse a cota do tempo de recorrência de 50 anos. Para este tempo de recorrência, as áreas a serem desapropriadas seriam muito maiores que as indicadas no estudo’;*

...”

Diante da nova concepção do empreendimento, com reservatório na El. 265,0 m, não existirá nenhuma influência direta dos efeitos de remanso provocado pelo reservatório, considerando qualquer uma das vazões notáveis simuladas, o que inclui as cheias associadas ao período de retorno de 50 anos, nas áreas urbanas das cidades de Alto Parnaíba e Santa Filomena.

A afirmação é comprovada pelos resultados numéricos apresentados na Tabela 3.8 do presente documento, onde se constata que não há diferença entre as elevações previstas no trecho fluvial mencionado, apresentado em destaque, para qualquer uma das vazões simuladas, entre as condições natural e remansada.

Na revisão dos Estudos de Impacto Ambiental, a cota de inundação a ser adotada para fins de desapropriação é coincidente com a mancha de inundação correspondente ao

reservatório, ou seja, à área definida pela passagem da vazão média das máximas anuais, incluindo seus efeitos de remanso, a qual apresenta 54,7 km<sup>2</sup> de área. As áreas de preservação permanente serão definidas a partir da referida envoltória. Esta envoltória está apresentada no Desenho 5, em anexo.

“...

*Item 7.4 Meio Socioeconômico: Impacto - Perda de Terras e Benefitorias; Deslocamento Compulsório de População: ‘Outro ponto que merece atenção é a existência do cemitério de Santa Filomena próximo ao remanso do reservatório, vindo a ter parte localizada na futura APP. No estudo não foi diagnosticada sua presença, tampouco avaliado os impactos sobre o mesmo. Pontua-se que com a implantação do reservatório, haverá elevação do lençol freático, podendo comprometer o funcionamento do cemitério e ocasionar contaminação das águas subterrâneas. O empreendedor deverá se manifestar sobre a possível afetação do cemitério e quais as medidas a serem adotadas.’*

...”

No âmbito dos estudos revisados apresentados junto ao “EIA Revisado” a possível interferência do reservatório na cota 271,00 m (cota original do projeto) sobre o cemitério municipal de Santa Filomena foi abordada na avaliação de impactos, sendo incluído o Impacto "Interferência em Cemitérios" (Capítulo 8, item 8.2.2.36). Ainda para a cota 271,00 m, os Estudos de Remanso apresentados no Anexo 38 do EIA Revisado verificaram que não haverá impactos provocados por efeitos de remanso do reservatório para nenhum dos tempos de retorno analisados, sendo também analisada e apresentado de forma detalhada uma avaliação sobre a possível interferência da elevação do nível do lençol freático sobre o funcionamento do cemitério após o enchimento do reservatório.

De toda forma, conforme mencionado anteriormente, pela nova concepção do empreendimento, com reservatório na El. 265,0 m, não existirá nenhuma influência dos efeitos de remanso provocado pelo reservatório, considerando qualquer uma das vazões notáveis simuladas, nas áreas urbanas das cidades de Alto Parnaíba e Santa Filomena. Assim, cabe destacar novamente que não há nenhuma influência do reservatório sobre os

cemitérios identificados em ambas as cidades mencionadas. Ademais, com este nível de água normal de operação, não existe, igualmente, a possibilidade de alteração e contaminação do nível do lençol freático na altura das benfeitorias mencionadas.

## 6 ANÁLISE CONCLUSIVA

Como resultado principal deste trabalho, foi possível definir a elevação correspondente ao nível de água normal de operação (El. 265,0 m) que não interfere na frequência dos níveis de água no trecho fluvial margeado pelas cidades de Santa Filomena e Alto Parnaíba, seja qual for o valor de vazão adotado nas simulações matemáticas realizadas neste estudo.

Para as condições simuladas os perfis de escoamento são idênticos às condições anteriores à implantação da barragem.

O nível de água estabelecido garante a viabilização econômica e social do empreendimento, já que a envoltória que define o reservatório se encerra a jusante do trecho fluvial que margeia as áreas urbanas das cidades de Santa Filomena e Alto Parnaíba.



## ANEXO 1 – ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA

## ANEXO 2 – MAPAS