


Processo: E-07/506.346/2012

Contrato: Nº 11/2013



Projeto Executivo para as Obras de Controle de Inundação e Recuperação Ambiental do córrego d'Antas e rio Bengalas Município de Nova Friburgo - RJ

R03- Relatório do Projeto Executivo Hidráulico e Estruturas Complementares
Rio Bengalas – Trecho E0 a E99

	R-03 – RELATÓRIO DO PROJETO EXECUTIVO HIDRÁULICO E ESTRUTURAS COMPLEMENTARES								
	CLIENTE: INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE - INEA							FOLHA 1 de 65	
	LOCAL: RIO BENGALAS – NOVA FRIBURGO-RJ								
PROJETO EXECUTIVO PARA AS OBRAS DE CONTROLE DE INUNDAÇÃO E RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DA BACIA DO CÓRREGO D'ANTAS E RIO BENGALAS MUNICÍPIO DE NOVA FRIBURGO - RJ									
ÍNDICE DE REVISÕES									
REV	DESCRIÇÃO E / OU FOLHAS ATINGIDAS								
0	Emissão inicial								
	REV. 00	REV. 01	REV. 02	REV. 03	REV. 04	REV. 05	REV. 06	REV. 07	REV. 08
DATA	15/09/2014								
EXECUÇÃO	ECOLOGUS								
VERIFICAÇÃO	ROSANGELA								
APROVAÇÃO	VICTOR								

SUMÁRIO

1	Apresentação	5
2	Considerações Gerais	6
3	Mapa de Localização	8
4	Considerações Iniciais	10
5	Estudos Hidrológicos	11
6	Projeto Hidráulico	18
7	Resultados da Modelagem Hidrodinâmica	25
8	Conclusões e Recomendações	33
9	Anexos	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1: Mapa de Localização	9
Figura 5-1: Bacias de Contribuição do rio Bengalas.....	12
Figura 6-1: Foz do Córrego d'Antas durante a Chuva do Dia 13/11/2012	18
Figura 6-2: Foz do Córrego d'Antas durante o Período de Seca	19
Figura 6-3: Seção Típica entre as Estacas E0 e E99.....	21
Figura 6-4: Geometria do trecho entre a E0-E09 – Corte em Rocha com Talude 5V:1H.....	22
Figura 6-5: Geometria do trecho entre a E11-E56.....	23
Figura 6-6: Geometria do trecho entre a E59-E78.....	23
Figura 6-7: Geometria do trecho entre a E79-E97.....	23
Figura 6-8: Geometria diferenciada para adequação da Ponte dos Maias – E10+10,0 ...	24
Figura 7-1: Ponte dos Maias – E10+10,0 – Calha de Escoamento com a Substituição da Ponte	26
Figura 7-2: Perfil Longitudinal do Rio Bengalas para o Tempo de Retorno de 10 anos - Comparação ente os Cenários com e sem a Ponte dos Maias (E10+10,0).....	27
Figura 7-3: Perfil Longitudinal do Rio Bengalas para o Tempo de Retorno de 25 anos - Comparação ente os Cenários com e sem a Ponte dos Maias (E10+10,0).....	28
Figura 7-4: Perfil de Velocidades do Rio Bengalas para o Tempo de Retorno de 10 anos- Comparação ente os Cenários com e sem a Ponte dos Maias (E10+10,0).....	29
Figura 7-5: Perfil de Velocidades do Rio Bengalas para o Tempo de Retorno de 25 anos- Comparação ente os Cenários com e sem a Ponte dos Maias (E10+10,0).....	30
Figura 9-1: Seções do HEC-RAS - Rio Bengalas – E0-E5	43
Figura 9-2: Seções do HEC-RAS - Rio Bengalas – E6-E10+10,00A.....	44
Figura 9-3: Seções do HEC-RAS - Rio Bengalas – E10+10,00B – E15	45
Figura 9-4: Seções do HEC-RAS - Rio Bengalas –E16-E21	46
Figura 9-5: Seções do HEC-RAS - Rio Bengalas –E22-E27	47
Figura 9-6: Seções do HEC-RAS - Rio Bengalas –E28-E33	48
Figura 9-7: Seções do HEC-RAS - Rio Bengalas –E34-E39	49
Figura 9-8: Seções do HEC-RAS - Rio Bengalas –E40-E45	50
Figura 9-9: Seções do HEC-RAS - Rio Bengalas –E46-E51	51
Figura 9-10: Seções do HEC-RAS - Rio Bengalas –E52-E57	52
Figura 9-11: Seções do HEC-RAS - Rio Bengalas –E58-E63	53
Figura 9-12: Seções do HEC-RAS - Rio Bengalas –E64-E69	54
Figura 9-13: Seções do HEC-RAS - Rio Bengalas –E70-E73	55
Figura 9-14: Seções do HEC-RAS - Rio Bengalas –E74-E79	56
Figura 9-15: Seções do HEC-RAS - Rio Bengalas –E80-E85	57
Figura 9-16: Seções do HEC-RAS - Rio Bengalas –E86-E91	58
Figura 9-17: Seções do HEC-RAS - Rio Bengalas –E92-E96+18,00A	59
Figura 9-18: Seções do HEC-RAS - Rio Bengalas –E96+18,00B – E100	60
Figura 9-19: Seções do HEC-RAS - Rio Bengalas –E101+1,00– E102.....	61
Figura 9-21: Perfil de Velocidade do Rio Bengalas - E0-E99	63
Figura 9-22: Perfil Longitudinal do Rio Bengalas – E0-E99 – TR 10 anos.....	64
Figura 9-23: Perfil Longitudinal do Rio Bengalas – E0-E99 – TR 25 anos.....	65

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 5-1: Características Físicas e Vazões do Córrego d'Antas – TR 10 anos.....	13
Quadro 5-2: Características Físicas e Vazões do Córrego d'Antas – TR 20 anos.....	14
Quadro 5-3: Características Físicas e Vazões do Córrego d'Antas – TR 50 anos.....	15
Quadro 5-4: Características Físicas e Vazões do Córrego d'Antas – TR 100 anos.....	16
Quadro 5-5: Vazões nos Principais Exutórios do Rio Bengalas (m ³ /s)	17
Quadro 6-1: Coeficientes de Manning Estabelecidos na Calibração	21
Quadro 6-2: Coeficientes de Contração e Expansão Estabelecidos na Calibração	21
Quadro 6-3: Cenário de Simulação - Rio Bengalas	22
Quadro 7-1: Quadro Comparativo dos Níveis d'água e das Velocidades para os Cenários de Simulação com e sem a Ponte dos Maias – Para TR 10 anos.....	31
Quadro 7-2: Quadro Comparativo dos Níveis d'água e das Velocidades para os Cenários de Simulação com e sem a Ponte dos Maias – Para TR 25 anos	31
Quadro 7-3: Redução Média da Inundação no Trecho entre as Estacas E70-E125 – Bairro do Prado	32
Quadro 7-4: Redução Média da Inundação no Trecho entre as Estacas E60-E97+15 – Bairros Conselheiro Paulino e Jardim Califórnia	32
Quadro 9-1: Resultados da Simulação Hidrodinâmica do Rio Bengalas – E0-E99 - TR 10 Anos.....	36
Quadro 9-2: Resultados da Simulação Hidrodinâmica do Rio Bengalas – E0-E99 - TR 25 Anos.....	39

1 APRESENTAÇÃO

A Empresa **Ecologus Engenharia Consultiva Ltda.** foi contratada pelo INEA - Instituto Estadual do Ambiente, para elaboração do Projeto Executivo para as Obras de Controle de Inundação e Recuperação Ambiental do Córrego d'Antas e Rio Bengalas, no município de Nova Friburgo-RJ - através do Contrato nº 11/2013 (Processo Administrativo E07/506.346/2012).

Este relatório tem como objetivo apresentar as intervenções previstas para o Rio Bengalas no trecho da estaca E0 a E99 de aproximadamente 2 km.

De acordo com o Termo de Referência, os documentos referentes ao Contrato devem ser apresentados em 5 (cinco) relatórios assim estruturados:

- ❖ **R02** – Relatório de Complementação do Levantamento Topográfico e Topobatimétrico e Investigações Geotécnicas
- ❖ **R03** – Relatório do Projeto Executivo Hidráulico e Estruturas Complementares
- ❖ **R04** – Relatório dos Projetos Executivo Geométrico e Executivo de Terraplenagem
- ❖ **R05** – Relatório dos Estudos Geotécnicos e Projeto Executivo de Proteção e Contenção das Margens
- ❖ **R08** – Relatório de Quantitativos/ Orçamento e Especificações Técnicas

Este relatório é referente ao **R03 – Relatório do Projeto Executivo Hidráulico e Estruturas Complementares**

2 CONSIDERAÇÕES GERAIS

No primeiro semestre de 2011, o Instituto Estadual do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro - INEA realizou um sobrevoo de reconhecimento pelos municípios atingidos, para mapear as áreas atingidas pela tragédia. Uma das primeiras medidas foi contratar empresas de engenharia para a realização de estudos específicos com o objetivo de identificar os problemas relacionados à engenharia, caracterizá-los e propor as ações necessárias para em primeiro momento mitigá-los e propor intervenções que conduzissem a uma solução definitiva.

Em março de 2011, a **Ecologus Engenharia Consultiva** foi contratada pelo INEA para a realização de Serviços Emergenciais na Macrodrenagem do Município de Nova Friburgo e Projetos do Parque Fluvial no córrego d'Antas, cujo um dos objetivos era propor intervenções nas bacias atingidas pelo evento no Município de Nova Friburgo. Neste trabalho foram realizados levantamentos de campo e estudos que identificaram diversas necessidades, abrangendo, o desenvolvimento de estudos hidrológicos para as bacias de interesse, definição das áreas de inundação, a concepção e definição dos elementos civis e hidráulicos das possíveis intervenções.

Com a conclusão deste trabalho, o INEA priorizou em desenvolver o Projeto Básico nas bacias do córrego d'Antas e rio Bengalas, por entender que estas foram as mais degradadas com o evento.

Então, o Projeto Básico referente à bacia do córrego d'Antas definiu um conjunto de serviços de engenharia necessários ao reestabelecimento das condições de escoamento da calha fluvial, concluindo com definição do:

- Dimensionamento de seção hidráulica para os TR's de referência do projeto;
- Zoneamento de áreas de risco de inundação;
- Serviços de Dragagem, contenção e/ou recomposição de taludes, substituição de travessias, pontes e barragens de controle de cheias, parques fluviais, proteção de taludes e revegetação.

O INEA, com o objetivo de viabilizar a continuidade dos serviços que vem sendo desenvolvidos no Município de Nova Friburgo, torna público em 23/08/2012 o Edital de Concorrência – CN Nº 21/2012 - Elaboração do Projeto Executivo para as Obras de Controle de Inundação e Recuperação Ambiental do Córrego d'Antas e Rio Bengalas – Município de Nova Friburgo, RJ.

A Empresa **Ecologus Engenharia Consultiva** vence a licitação e inicia a elaboração do Projeto Executivo da canalização do Rio Bengalas no trecho da estaca E99 a E272, parte do escopo do Contrato.

Foi apresentado pelo INEA o “**1º Termo de Aditivo Contratual**” que consistiu, além de outros temas, a inclusão de um novo trecho de intervenção no rio Bengalas, identificado como E0 a E99. Este aditivo foi publicado no Diário Oficial da União no dia 14/02/2014.

O acréscimo deste trecho é decorrente de acordo firmado em reunião realizada no dia 05 de fevereiro de 2013, nas dependências do Ministério das Cidades, em Brasília, na presença de representantes do Ministério das Cidades, INEA, Prefeitura Municipal de Nova Friburgo, CEF.

3 MAPA DE LOCALIZAÇÃO

A seguir, apresenta-se o mapa (**Figura 3-1**) de localização ilustrando o trecho de intervenção do projeto.



FIGURA 3-1: MAPA DE LOCALIZAÇÃO

4 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O rio Bengalas foi objeto de estudo realizado pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH) no Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo (PAPNF), em setembro de 2007. O trecho estudado pela FCTH foi a partir da confluência dos seus formadores Rio Santo Antônio e Rio Cônego até a Barragem do Catete, demolida em 2013.

Em 2010 a Empresa Tecnosolo - Engenharia e Tecnologia de Solos e Materiais S.A, elaborou o “**Projeto de Adequação da Canalização do Rio Bengalas**”, projeto de canalização do rio Bengalas apenas para a execução das obras do trecho entre a barragem do Catete e a foz do Córrego d’Antas.

E, por último pela **Ecologus Engenharia Consultiva Ltda.** que elaborou o Projeto Básico para o trecho compreendido entre a foz do córrego d’Antas (E99) até o trevo da Rodovia Nova Friburgo-Teresópolis (E272).

Na busca pelo equacionamento das inundações recorrentes, ocasionadas pelo rio Bengalas, a Prefeitura de Nova Friburgo, contratou a TECNOSOLO para a realização de obras de dragagem e contenção de margens, no trecho objeto deste Relatório. Porém, esta obra foi interrompida devido as fortes chuvas de 2011, dificultando a conclusão da obra em sua totalidade, o que impediu a realização de dragagem de desassoreamento, que permitiria alcançar a cota de fundo prevista no projeto da TECNOSOLO. Há também o agravamento do risco associado à instabilidade das cortinas atirantadas, que, parcialmente implantadas, podem, com a subida do nível d’água do rio e as fortes correntezas, vir a desabar obstruindo ainda mais a calha do rio Bengalas.

Outro fato que eleva a necessidade de intervenção neste trecho do rio Bengalas, é que o trecho licitado que compreende o rio Bengalas da E99 a E272 e o córrego d’Antas somente terão plena funcionalidade hidráulica com o equacionamento deste trecho de 2km a jusante da foz do Córrego d’Antas.

Diante deste cenário, como já citado anteriormente o INEA assinou o aditivo que contempla a elaboração do projeto para este trecho.

A seguir será abordada a solução adotada para a geometria do canal no trecho da estaca E0 a E99.

5 ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Os dados hidrológicos utilizados na modelagem hidrodinâmica do Rio Bengalas foram retirados do **Plano de Águas Pluviais de Nova Friburgo (PAPNF)**, apresentados no **Tomo I – Volume II: Formulação de Cenários, Diagnóstico e Prognóstico das Inundações**, elaborado no ano de 2007 pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH), vinculada a USP, encomendado pela Prefeitura municipal e financiado pelo Ministério das Cidades.

O estudo hidrológico contido no PAPNF foi realizado para o Município de Nova Friburgo, considerando as bacias do Rio Bengalas e do Córrego d'Antas.

Para a estimativa das vazões foi utilizado o Modelo Hidrológico CABC, desenvolvido pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica e pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Foram definidas as vazões nos pontos chave dos sistemas, de acordo com as sub-bacias e com o caminhamento natural do sistema de drenagem.

A **Figura 5-1** retrata a divisão da bacia do Rio Bengalas em sub-bacias, associadas a nós que compõem a rede de macrodrenagem. A estes nós são associadas às características físicas das bacias, área impermeável e a precipitação de projeto.

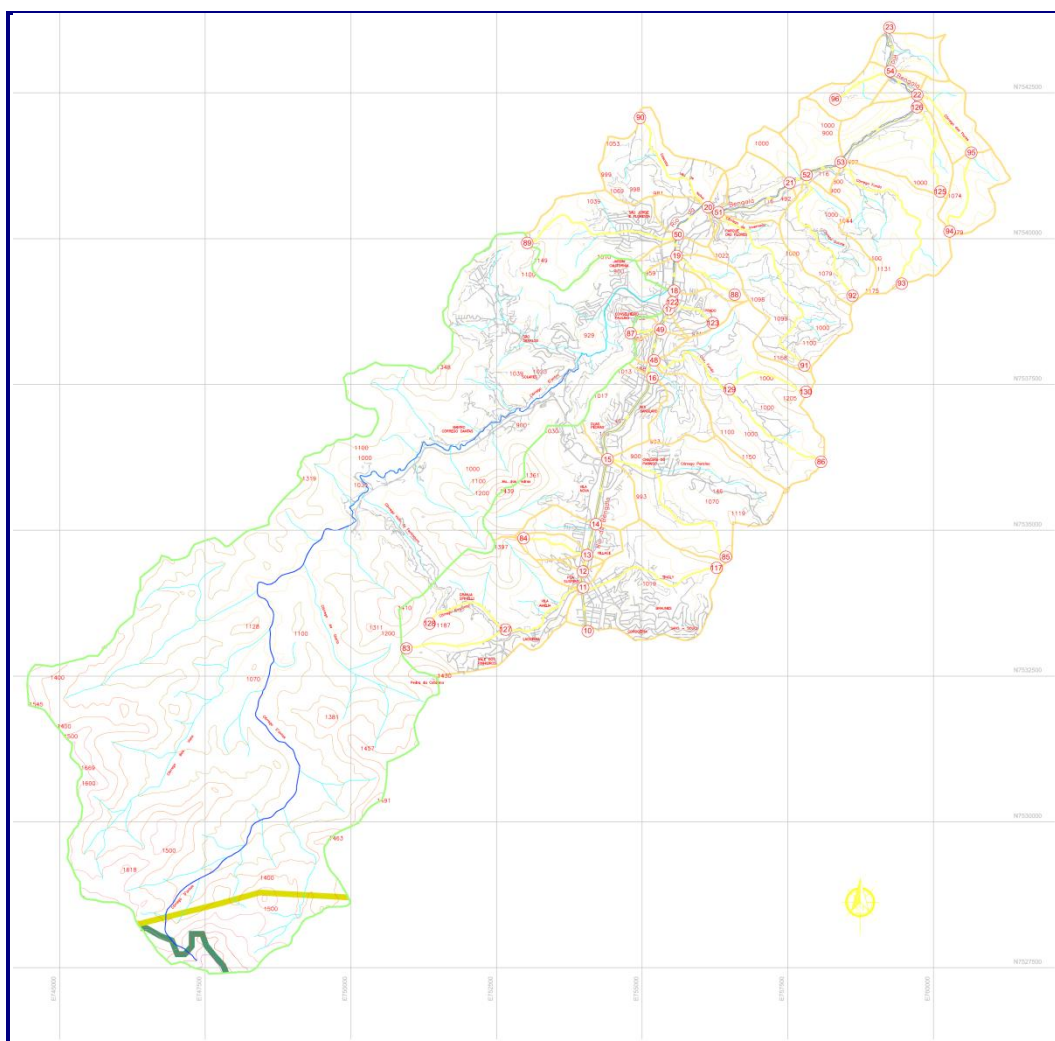


FIGURA 5-1: BACIAS DE CONTRIBUIÇÃO DO RIO BENGALAS

FONTE: MAPA-CHAVE DE VAZÕES – CÔRREGO D'ANTAS - REF: 972-112/06-RF, PAPNF, 2007

Com base nas sub-bacias definidas na **Figura 5-1** foram estimadas as vazões específicas, para os tempos de retorno de 10, 20, 50 e 100 anos e estão apresentadas nos **Quadros** a seguir.

QUADRO 5-1: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E VAZÕES DO RIO BENGALAS – TR 10 ANOS

Trecho	Nó Inicial	Nó Final	Qmax Inicial (m³/s)	Qmax Final (m³/s)	Área da Bacia (km²)	Área Acumulada (km²)	Qesp (m³/s/km²)	Área Impermeável (%)	Área Diretamente Conectada (%)	CN	Duração da Chuva (h)	Tempo de concentração (h)	Comprimento (km)
BEN-10	N10	N11	229,572	230,208	0,306	89,188	2,581	31	10	73	24	0,167	0,663
BEN-127	N83	N127	0,000	5,954	1,383	1,383	4,306	13	4	73	24	0,651	1,711
BEN-128	N128	N127	0,000	6,932	1,736	1,736	3,994	2	1	73	24	0,617	1,633
BEN-83	N127	N11	12,886	18,745	1,527	4,646	4,035	11	4	73	24	0,989	1,673
BEN-117	N117	N11	0,000	14,895	3,119	3,119	4,775	21	7	73	24	0,493	2,473
BEN-11	N11	N12	250,756	251,393	0,298	97,252	2,585	11	4	73	24	0,322	0,275
BEN-12	N12	N13	251,393	251,679	0,119	97,371	2,585	41	14	73	24	0,294	0,274
BEN-84	N84	N13	0,000	1,798	0,400	0,400	4,491	7	2	73	24	0,252	1,101
BEN-13	N13	N14	252,485	254,553	0,763	98,534	2,583	14	5	73	24	0,845	0,533
BEN-14	N14	N15	254,553	262,705	2,950	101,484	2,589	8	3	73	24	1,276	1,131
BEN-85	N85	N15	0,000	16,399	3,858	3,858	4,251	8	3	73	24	0,591	3,045
BEN-15	N15	N16	271,719	273,760	1,457	106,799	2,563	22	7	73	24	0,530	1,780
BEN-48	N16	N48	273,760	276,188	1,027	107,826	2,561	16	5	73	24	0,865	0,328
BEN-129	N86	N129	0,000	8,506	2,224	2,224	3,824	0	0	73	24	0,762	1,942
BEN-130	N130	N129	0,000	3,337	0,819	0,819	4,075	0	0	73	24	0,475	1,410
BEN-86	N129	N48	11,707	17,163	1,461	4,504	3,811	4	1	73	24	0,943	1,809
BEN-49	N48	N49	285,652	286,267	0,313	112,642	2,541	34	12	73	24	0,216	0,537
BEN-87	N87	N49	0,000	0,614	0,132	0,132	4,648	10	3	73	24	0,218	0,448
BEN-16	N49	N17	286,502	286,759	0,128	112,902	2,540	32	11	73	24	0,328	0,383
BEN-122	N17	N122	286,759	286,785	0,013	112,915	2,540	41	14	73	24	0,167	0,142
BEN-123	N123	N122	0,000	2,848	0,567	0,567	5,022	29	0	73	24	0,501	0,733
BEN-17	N122	N18	288,009	288,146	0,071	113,553	2,538	25	9	73	24	0,167	0,201
BEN-18	N18	N19	387,534	388,131	0,372	167,017	2,324	0	0	73	24	0,285	0,599
BEN-88	N88	N19	0,000	2,101	0,511	0,511	4,112	0	0	73	24	0,401	1,147
BEN-50	N19	N50	388,986	389,559	0,342	167,870	2,321	0	0	73	24	0,384	0,371
BEN-89	N89	N50	0,000	10,105	2,558	2,558	3,951	0	0	73	24	0,677	2,913
BEN-19	N50	N20	394,376	395,511	0,622	171,049	2,312	0	0	73	24	0,446	0,765
BEN-90	N90	N20	0,000	7,584	1,910	1,910	3,971	0	0	73	24	0,639	2,011
BEN-51	N20	N51	399,295	399,615	0,176	173,135	2,308	0	0	73	24	0,431	0,230
BEN-91	N91	N51	0,000	12,577	3,303	3,303	3,807	0	0	73	24	0,812	3,682
BEN-20	N51	N21	406,670	408,729	1,077	177,516	2,302	0	0	73	24	0,567	1,372
BEN-52	N21	N52	408,729	409,753	0,518	178,034	2,302	0	0	73	24	0,653	0,331
BEN-92	N92	N52	0,000	7,572	1,933	1,933	3,917	0	0	73	24	0,628	2,650
BEN-53	N52	N53	413,526	415,769	1,015	180,982	2,297	0	0	73	24	0,808	0,641
BEN-93	N93	N53	0,000	11,634	2,944	2,944	3,952	0	0	73	24	0,597	3,122
BEN-126	N53	N126	421,924	423,924	1,315	185,241	2,289	0	0	73	24	0,721	1,650
BEN-125	N125	N126	0,000	3,182	0,774	0,774	4,110	0	0	73	24	0,416	1,544
BEN-21	N126	N22	425,227	425,336	0,071	186,086	2,286	0	0	73	24	0,227	0,200
BEN-94	N94	N95	0,000	4,532	1,089	1,089	4,161	0	0	73	24	0,345	1,560
BEN-95	N95	N22	4,532	8,283	0,894	1,983	4,177	0	0	73	24	0,317	1,432
BEN-54	N22	N54	428,729	429,276	0,319	188,388	2,279	0	0	73	24	0,267	0,634
BEN-96	N96	N54	0,000	2,784	0,687	0,687	4,053	0	0	73	24	0,502	1,040
BEN-22	N54	N23	430,547	431,948	0,755	189,830	2,275	0	0	73	24	0,511	0,733

Fonte: Tomo I – Volume II, PANPF, 2007

QUADRO 5-2: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E VAZÕES DO RIO BENGALAS – TR 20 ANOS

Trecho	Nó Inicial	Nó Final	Qmax Inicial	Qmax Final	Área da Bacia	Área Acumulada	Qesp	Área Impermeável	Área Diretamente Conectada	CN	Duração da Chuva	Tempo de concentração	Comprimento
			(m³/s)	(m³/s)	(km²)	(km²)	(m³/s/km²)	(%)	(%)		(h)	(h)	(km)
BEN-10	N10	N11	263,024	263,732	0,306	89,188	2,957	31	10	73	24	0,167	0,663
BEN-127	N83	N127	0,000	6,772	1,383	1,383	4,898	13	4	73	24	0,651	1,711
BEN-128	N128	N127	0,000	7,944	1,736	1,736	4,577	2	1	73	24	0,617	1,633
BEN-83	N127	N11	14,717	21,376	1,527	4,646	4,601	11	4	73	24	0,989	1,673
BEN-117	N117	N11	0,000	16,798	3,119	3,119	5,385	21	7	73	24	0,493	2,473
BEN-11	N11	N12	286,811	287,580	0,298	97,252	2,957	11	4	73	24	0,322	0,275
BEN-12	N12	N13	287,580	287,925	0,119	97,371	2,957	41	14	73	24	0,294	0,274
BEN-84	N84	N13	0,000	2,046	0,400	0,400	5,111	7	2	73	24	0,252	1,101
BEN-13	N13	N14	288,922	291,434	0,763	98,534	2,958	14	5	73	24	0,845	0,533
BEN-14	N14	N15	291,434	300,571	2,950	101,484	2,962	8	3	73	24	1,276	1,131
BEN-85	N85	N15	0,000	18,687	3,858	3,858	4,844	8	3	73	24	0,591	3,045
BEN-15	N15	N16	310,824	313,056	1,457	106,799	2,931	22	7	73	24	0,530	1,780
BEN-48	N16	N48	313,056	315,766	1,027	107,826	2,928	16	5	73	24	0,865	0,328
BEN-129	N86	N129	0,000	9,754	2,224	2,224	4,385	0	0	73	24	0,762	1,942
BEN-130	N130	N129	0,000	3,819	0,819	0,819	4,664	0	0	73	24	0,475	1,410
BEN-86	N129	N48	13,405	19,664	1,461	4,504	4,366	4	1	73	24	0,943	1,809
BEN-49	N48	N49	326,718	327,420	0,313	112,642	2,907	34	12	73	24	0,216	0,537
BEN-87	N87	N49	0,000	0,696	0,132	0,132	5,270	10	3	73	24	0,218	0,448
BEN-16	N49	N17	327,691	327,990	0,128	112,902	2,905	32	11	73	24	0,328	0,383
BEN-122	N17	N122	327,990	328,019	0,013	112,915	2,905	41	14	73	24	0,167	0,142
BEN-123	N123	N122	0,000	3,201	0,567	0,567	5,646	29	0	73	24	0,501	0,733
BEN-17	N122	N18	329,461	329,613	0,071	113,553	2,903	25	9	73	24	0,167	0,201
BEN-18	N18	N19	443,378	444,052	0,372	167,017	2,659	0	0	73	24	0,285	0,599
BEN-88	N88	N19	0,000	2,401	0,511	0,511	4,699	0	0	73	24	0,401	1,147
BEN-50	N19	N50	445,072	445,757	0,342	167,870	2,655	0	0	73	24	0,384	0,371
BEN-89	N89	N50	0,000	11,550	2,558	2,558	4,516	0	0	73	24	0,677	2,913
BEN-19	N50	N20	451,547	452,819	0,622	171,049	2,647	0	0	73	24	0,446	0,765
BEN-90	N90	N20	0,000	8,679	1,910	1,910	4,545	0	0	73	24	0,639	2,011
BEN-51	N20	N51	457,064	457,423	0,176	173,135	2,642	0	0	73	24	0,431	0,230
BEN-91	N91	N51	0,000	14,422	3,303	3,303	4,366	0	0	73	24	0,812	3,682
BEN-20	N51	N21	465,352	467,662	1,077	177,516	2,634	0	0	73	24	0,567	1,372
BEN-52	N21	N52	467,662	468,836	0,518	178,034	2,633	0	0	73	24	0,653	0,331
BEN-92	N92	N52	0,000	8,692	1,933	1,933	4,496	0	0	73	24	0,628	2,650
BEN-53	N52	N53	473,444	476,067	1,015	180,982	2,630	0	0	73	24	0,808	0,641
BEN-93	N93	N53	0,000	13,350	2,944	2,944	4,535	0	0	73	24	0,597	3,122
BEN-126	N53	N126	483,117	485,440	1,315	185,241	2,621	0	0	73	24	0,721	1,650
BEN-125	N125	N126	0,000	3,638	0,774	0,774	4,699	0	0	73	24	0,416	1,544
BEN-21	N126	N22	486,995	487,130	0,071	186,086	2,618	0	0	73	24	0,227	0,200
BEN-94	N94	N95	0,000	5,194	1,089	1,089	4,769	0	0	73	24	0,345	1,560
BEN-95	N95	N22	5,194	9,491	0,894	1,983	4,786	0	0	73	24	0,317	1,432
BEN-54	N22	N54	491,007	491,621	0,319	188,388	2,610	0	0	73	24	0,267	0,634
BEN-96	N96	N54	0,000	3,189	0,687	0,687	4,642	0	0	73	24	0,502	1,040
BEN-22	N54	N23	493,046	494,619	0,755	189,830	2,606	0	0	73	24	0,511	0,733

Fonte: Tomo I – Volume II, PANPF, 2007

QUADRO 5-3: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E VAZÕES DO RIO BENGALAS – TR 50 ANOS

Trecho	Nó Inicial	Nó Final	Qmax Inicial (m³/s)	Qmax Final (m³/s)	Área da Bacia (km²)	Área Acumulada (km²)	Qesp (m³/s/km²)	Área Impermeável (%)	Área Diretamente Conectada (%)	CN	Duração da Chuva (h)	Tempo de concentração (h)	Comprimento (km)
BEN-10	N10	N11	304,853	305,645	0,306	89,188	3,427	31	10	73	24	0,167	0,663
BEN-127	N83	N127	0,000	7,790	1,383	1,383	5,634	13	4	73	24	0,651	1,711
BEN-128	N128	N127	0,000	9,207	1,736	1,736	5,305	2	1	73	24	0,617	1,633
BEN-83	N127	N11	16,997	24,652	1,527	4,646	5,306	11	4	73	24	0,989	1,673
BEN-117	N117	N11	0,000	19,153	3,119	3,119	6,140	21	7	73	24	0,493	2,473
BEN-11	N11	N12	332,309	333,179	0,298	97,252	3,426	11	4	73	24	0,322	0,275
BEN-12	N12	N13	333,179	333,563	0,119	97,371	3,426	41	14	73	24	0,294	0,274
BEN-84	N84	N13	0,000	2,355	0,400	0,400	5,881	7	2	73	24	0,252	1,101
BEN-13	N13	N14	334,691	337,536	0,763	98,534	3,426	14	5	73	24	0,845	0,533
BEN-14	N14	N15	337,536	348,081	2,950	101,484	3,430	8	3	73	24	1,276	1,131
BEN-85	N85	N15	0,000	21,534	3,858	3,858	5,582	8	3	73	24	0,591	3,045
BEN-15	N15	N16	359,686	362,150	1,457	106,799	3,391	22	7	73	24	0,530	1,780
BEN-48	N16	N48	362,150	365,205	1,027	107,826	3,387	16	5	73	24	0,865	0,328
BEN-129	N86	N129	0,000	11,312	2,224	2,224	5,086	0	0	73	24	0,762	1,942
BEN-130	N130	N129	0,000	4,421	0,819	0,819	5,398	0	0	73	24	0,475	1,410
BEN-86	N129	N48	15,522	22,784	1,461	4,504	5,059	4	1	73	24	0,943	1,809
BEN-49	N48	N49	378,196	378,980	0,313	112,642	3,364	34	12	73	24	0,216	0,537
BEN-87	N87	N49	0,000	0,798	0,132	0,132	6,043	10	3	73	24	0,218	0,448
BEN-16	N49	N17	379,286	379,620	0,128	112,902	3,362	32	11	73	24	0,328	0,383
BEN-122	N17	N122	379,620	379,653	0,013	112,915	3,362	41	14	73	24	0,167	0,142
BEN-123	N123	N122	0,000	3,637	0,567	0,567	6,415	29	0	73	24	0,501	0,733
BEN-17	N122	N18	381,268	381,438	0,071	113,553	3,359	25	9	73	24	0,167	0,201
BEN-18	N18	N19	513,758	514,577	0,372	167,017	3,081	0	0	73	24	0,285	0,599
BEN-88	N88	N19	0,000	2,777	0,511	0,511	5,434	0	0	73	24	0,401	1,147
BEN-50	N19	N50	515,734	516,510	0,342	167,870	3,077	0	0	73	24	0,384	0,371
BEN-89	N89	N50	0,000	13,352	2,558	2,558	5,220	0	0	73	24	0,677	2,913
BEN-19	N50	N20	523,076	524,517	0,622	171,049	3,066	0	0	73	24	0,446	0,765
BEN-90	N90	N20	0,000	10,063	1,910	1,910	5,269	0	0	73	24	0,639	2,011
BEN-51	N20	N51	529,330	529,736	0,176	173,135	3,060	0	0	73	24	0,431	0,230
BEN-91	N91	N51	0,000	16,730	3,303	3,303	5,064	0	0	73	24	0,812	3,682
BEN-20	N51	N21	539,043	541,886	1,077	177,516	3,053	0	0	73	24	0,567	1,372
BEN-52	N21	N52	541,886	543,307	0,518	178,034	3,052	0	0	73	24	0,653	0,331
BEN-92	N92	N52	0,000	10,093	1,933	1,933	5,221	0	0	73	24	0,628	2,650
BEN-53	N52	N53	548,541	551,563	1,015	180,982	3,048	0	0	73	24	0,808	0,641
BEN-93	N93	N53	0,000	15,492	2,944	2,944	5,263	0	0	73	24	0,597	3,122
BEN-126	N53	N126	560,130	562,660	1,315	185,241	3,037	0	0	73	24	0,721	1,650
BEN-125	N125	N126	0,000	4,206	0,774	0,774	5,432	0	0	73	24	0,416	1,544
BEN-21	N126	N22	564,423	564,576	0,071	186,086	3,034	0	0	73	24	0,227	0,200
BEN-94	N94	N95	0,000	6,020	1,089	1,089	5,527	0	0	73	24	0,345	1,560
BEN-95	N95	N22	6,020	10,996	0,894	1,983	5,545	0	0	73	24	0,317	1,432
BEN-54	N22	N54	568,969	569,664	0,319	188,388	3,024	0	0	73	24	0,267	0,634
BEN-96	N96	N54	0,000	3,693	0,687	0,687	5,376	0	0	73	24	0,502	1,040
BEN-22	N54	N23	571,281	573,065	0,755	189,830	3,019	0	0	73	24	0,511	0,733

Fonte: Tomo I – Volume II, PANPF, 2007

QUADRO 5-4: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E VAZÕES DO RIO BENGALAS – TR 100 ANOS

Trecho	Nó Inicial	Nó Final	Q _{max} Inicial (m³/s)	Q _{max} Final (m³/s)	Área da Bacia (km²)	Área Acumulada (km²)	Q _{esp} (m³/s/km²)	Área Impermeável (%)	Área Diretamente Conectada (%)	CN	Duração da Chuva (h)	Tempo de concentração (h)	Comprimento (km)
BEN-10	N10	N11	335,384	336,236	0,306	89,188	3,770	31	10	73	24	0,167	0,663
BEN-127	N83	N127	0,000	8,529	1,383	1,383	6,168	13	4	73	24	0,651	1,711
BEN-128	N128	N127	0,000	10,127	1,736	1,736	5,835	2	1	73	24	0,617	1,633
BEN-83	N127	N11	18,656	27,034	1,527	4,646	5,819	11	4	73	24	0,989	1,673
BEN-117	N117	N11	0,000	20,858	3,119	3,119	6,686	21	7	73	24	0,493	2,473
BEN-11	N11	N12	365,521	366,462	0,298	97,252	3,768	11	4	73	24	0,322	0,275
BEN-12	N12	N13	366,462	366,875	0,119	97,371	3,768	41	14	73	24	0,294	0,274
BEN-84	N84	N13	0,000	2,578	0,400	0,400	6,440	7	2	73	24	0,252	1,101
BEN-13	N13	N14	368,098	371,184	0,763	98,534	3,767	14	5	73	24	0,845	0,533
BEN-14	N14	N15	371,184	382,754	2,950	101,484	3,772	8	3	73	24	1,276	1,131
BEN-85	N85	N15	0,000	23,603	3,858	3,858	6,118	8	3	73	24	0,591	3,045
BEN-15	N15	N16	395,334	397,962	1,457	106,799	3,726	22	7	73	24	0,530	1,780
BEN-48	N16	N48	397,962	401,543	1,027	107,826	3,724	16	5	73	24	0,865	0,328
BEN-129	N86	N129	0,000	12,447	2,224	2,224	5,596	0	0	73	24	0,762	1,942
BEN-130	N130	N129	0,000	4,858	0,819	0,819	5,932	0	0	73	24	0,475	1,410
BEN-86	N129	N48	17,064	25,056	1,461	4,504	5,563	4	1	73	24	0,943	1,809
BEN-49	N48	N49	415,765	416,608	0,313	112,642	3,698	34	12	73	24	0,216	0,537
BEN-87	N87	N49	0,000	0,872	0,132	0,132	6,603	10	3	73	24	0,218	0,448
BEN-16	N49	N17	416,938	417,299	0,128	112,902	3,696	32	11	73	24	0,328	0,383
BEN-122	N17	N122	417,299	417,333	0,013	112,915	3,696	41	14	73	24	0,167	0,142
BEN-123	N123	N122	0,000	3,952	0,567	0,567	6,970	29	0	73	24	0,501	0,733
BEN-17	N122	N18	419,072	419,256	0,071	113,553	3,692	25	9	73	24	0,167	0,201
BEN-18	N18	N19	565,202	566,090	0,372	167,017	3,389	0	0	73	24	0,285	0,599
BEN-88	N88	N19	0,000	3,057	0,511	0,511	5,982	0	0	73	24	0,401	1,147
BEN-50	N19	N50	567,345	568,186	0,342	167,870	3,385	0	0	73	24	0,384	0,371
BEN-89	N89	N50	0,000	14,662	2,558	2,558	5,732	0	0	73	24	0,677	2,913
BEN-19	N50	N20	575,312	576,875	0,622	171,049	3,373	0	0	73	24	0,446	0,765
BEN-90	N90	N20	0,000	11,071	1,910	1,910	5,797	0	0	73	24	0,639	2,011
BEN-51	N20	N51	582,098	582,538	0,176	173,135	3,365	0	0	73	24	0,431	0,230
BEN-91	N91	N51	0,000	18,411	3,303	3,303	5,573	0	0	73	24	0,812	3,682
BEN-20	N51	N21	593,080	596,167	1,077	177,516	3,358	0	0	73	24	0,567	1,372
BEN-52	N21	N52	596,167	597,710	0,518	178,034	3,357	0	0	73	24	0,653	0,331
BEN-92	N92	N52	0,000	11,114	1,933	1,933	5,749	0	0	73	24	0,628	2,650
BEN-53	N52	N53	603,585	607,102	1,015	180,982	3,354	0	0	73	24	0,808	0,641
BEN-93	N93	N53	0,000	17,053	2,944	2,944	5,793	0	0	73	24	0,597	3,122
BEN-126	N53	N126	616,412	619,085	1,315	185,241	3,342	0	0	73	24	0,721	1,650
BEN-125	N125	N126	0,000	4,619	0,774	0,774	5,965	0	0	73	24	0,416	1,544
BEN-21	N126	N22	620,997	621,163	0,071	186,086	3,338	0	0	73	24	0,227	0,200
BEN-94	N94	N95	0,000	6,621	1,089	1,089	6,079	0	0	73	24	0,345	1,560
BEN-95	N95	N22	6,621	12,092	0,894	1,983	6,097	0	0	73	24	0,317	1,432
BEN-54	N22	N54	625,929	626,683	0,319	188,388	3,327	0	0	73	24	0,267	0,634
BEN-96	N96	N54	0,000	4,060	0,687	0,687	5,910	0	0	73	24	0,502	1,040
BEN-22	N54	N23	628,437	630,483	0,755	189,830	3,321	0	0	73	24	0,511	0,733

Fonte: Tomo I – Volume II, PANPF, 2007

As vazões correspondentes ao tempo de retorno de 25 anos não foram calculadas pelo PAPNF. Por isso, conforme apresentado no **Projeto Básico - Volume I: Relatório Final** elaborado pela **Ecologus** e publicado no ano de 2011, as vazões para TR 25 anos foram obtidas através da construção das curvas Vazão x Tempo de Recorrência nos nós correspondentes aos principais exutórios da área de estudo.

O **Quadro 5-5** apresenta os dados de vazão nos referidos exutórios, reunindo as vazões apresentadas no PAPNF para TR 10, 20, 50 e 100 anos, e no Projeto Básico para TR 25 anos.

QUADRO 5-5: VAZÕES NOS PRINCIPAIS EXUTÓRIOS DO RIO BENGALAS (m³/s)

RIO BENGALAS	TR 10	TR 20	TR 25	TR 50	TR 100
N20-Barragem	399,62	457,42	473,68	529,74	582,54
N18-Montante Foz do d'Antas	288,15	329,61	341,25	381,44	419,26
N15-Córrego Paraíso	262,71	300,57	311,28	348,08	382,75

A seguir serão apresentados o Projeto Hidráulico e os resultados da Modelagem Hidrodinâmica.

6 PROJETO HIDRÁULICO

Foram realizadas diversas simulações para determinar a melhor solução para o rio Bengalas, definindo uma seção capaz de efetuar o escoamento das vazões de projeto e minimizar as inundações das áreas do entorno.

Para a realização dessas simulações foram consideradas as dificuldades técnicas a serem enfrentadas no momento da execução, como o tipo de solo - constituído de material silto-arenoso, a cortina existente, o período hidrológico, o volume de sedimento carregado quando da execução da obra, e a presença de afloramento rochoso no trecho entre a E0 e a ponte da Rua Antônio Luiz de Souza Maia – Ponte dos Maias.

Além das dificuldades apresentadas, a modelagem deste trecho do Rio Bengalas foi realizada atentando-se para o trecho a montante da E99 e para o Córrego d'Antas, que estão localizados a montante. A **Figura 6-1** e a **Figura 6-2** mostram a foz do Córrego d'Antas e o rio Bengalas em duas situações distintas de escoamento: em período de cheia e de estiagem, respectivamente.



FIGURA 6-1: Foz do Córrego d'ANTAS DURANTE A CHUVA DO DIA 13/11/2012



FIGURA 6-2: Foz do Córrego d'Antas durante o período de seca

Os bairros Prado (margem direita), Jardim Califórnia (margem esquerda) e Conselheiro Paulino (margem esquerda) são localidades atualmente impactadas pelas inundações recorrentes. A modelagem do rio Bengalas para as condições atuais do rio mostrou que o nível d'água para o TR de 25 anos ultrapassa 839,00 m, e essas localidades se encontram em cotas inferiores a este nível sendo severamente prejudicadas.

Considerando o exposto, após o conhecimento da problemática existente, diversas alternativas foram modeladas a fim de minimizar os impactos sobre os afluentes e os bairros que margeiam o Rio Bengalas.

Para a avaliação das soluções, foi utilizado o modelo hidrodinâmico computacional *HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System)* do *U.S. Army Corps of Engineers*, versão 4.1.0, janeiro de 2010, escolhido pelas seguintes razões:

- ❖ Facilidade de operação. É um modelo amigável, com uma interface simples e que permite a exposição dos resultados de forma clara e direta, seja em forma de tabelas ou de gráficos (inclusive tridimensionais) possibilitando uma interação rápida mesmo para observadores não familiarizados ao programa;
- ❖ Código e documentação de domínio público. O programa, bem como todos os seus manuais, são disponibilizados gratuitamente pelo governo norte-americano e podem ser baixados pela internet;
- ❖ Robustez hidráulica. Embora de simples operação, o modelo permite uma série de ajustes paramétricos e inserções de particularidades hidráulicas, possibilitando um refinamento computacional que responde a todas as exigências da modelagem hidráulica para este trabalho.
- ❖ Difusão e consolidação internacional. Por contar com todas as características acima descritas e um constante trabalho de aprimoramento por parte do *Hydrologic Engineering Center* (a primeira versão do HEC-RAS, que era um aprimoramento do antigo HEC-2, foi lançada em 1995, a atual versão 4.1.0 é a décima lançada desde então), o programa se consolidou como um dos mais difundidos e utilizados internacionalmente, sendo possível encontrar inúmeros artigos científicos que o utilizaram em seus estudos.

Para a realização da modelagem foi necessário conhecer a hidrologia do local, a rugosidade do canal (*manning*), as condições de contorno e as estruturas hidráulicas existentes ao longo do curso do Rio Bengalas. Com base nesses elementos, foram definidos os parâmetros para o Projeto Hidráulico, que estão apresentados a seguir:

❖ Vazões de Projeto

As vazões de projeto utilizadas na modelagem foram estimadas no PAPNF para diversos pontos na bacia, e estão apresentadas no **Quadro 5-5 do Capítulo 4**.

❖ Condições de Contorno

As condições de contorno são necessárias para estabelecer a superfície inicial da água nas extremidades de um sistema fluvial (jusante e montante). Há quatro tipos de condições de contorno disponíveis no *software HEC-RAS*:

- **Nível d'água (NA) conhecido:** deve ser inserido no modelo o nível d'água conhecido para cada tempo de retorno (TR) analisado;
- **Profundidade Crítica:** quando o nível d'água é desconhecido, essa opção é selecionada e o programa calcula a profundidade crítica para cada TR;
- **Profundidade Normal:** é necessário inserir no modelo a declividade que será usada no cálculo da profundidade normal, usando a equação de Manning, para cada TR;
- **Curva-Chave:** devem ser informados os valores de elevação (cota) x fluxo (vazão) do rio em estudo. Para cada TR o programa interpola a elevação na curva-chave, usando interpolação linear entre os pontos, e fornece os valores de vazão.

Neste projeto, o estirão fluvial em estudo representa apenas um trecho do rio Bengalas, sendo as condições de contorno dependentes do comportamento hidráulico dos trechos de montante e de jusante.

Portanto, por não ter conhecimento do nível d'água a jusante e a montante, a condição de contorno adotada, que se apresenta como a mais apropriada para a simulação hidráulica do trecho E0 - E99 é a **profundidade crítica**.

❖ Coeficientes de Manning

A escolha do coeficiente de *manning* é essencial para a avaliação do escoamento em um canal, pois o ajuste da rugosidade a um modelo hidrodinâmico fornece informações relativas ao nível de água, vazão e a velocidade do escoamento em qualquer trecho.

A determinação do coeficiente de rugosidade de *manning* é importante, pois, quando superestimado, resulta em canais com dimensões maiores que o necessário e, ao contrário, resulta em dimensões inferiores e inadequadas.

Os coeficientes de *manning* adotados foram estimados com base na obra *Open-Channel Hydraulics* (Chow, 1959), de acordo com as características dos trechos do estirão fluvial, conforme solução apresentada no **R04: Relatório Geométrico e Terraplenagem**.

QUADRO 6-1: COEFICIENTES DE MANNING ESTABELECIDOS NA CALIBRAÇÃO

TERRENO NATURAL	FUNDO NATURAL	CORTINA EXISTENTE	PEDRA ARRUMADA	ESTACA-PRANCHA	MANNING PONDERADO
0,026	0,023	0,017	0,030	0,018	0,018

❖ **Coeficientes de Contração e Expansão**

São usados para avaliar a quantidade de energia perdida devido à contração ou expansão do fluxo. Neste caso, foram calibrados considerando as variações dos trechos nas pontes, e estão apresentados no **Quadro 6-2**.

QUADRO 6-2: COEFICIENTES DE CONTRAÇÃO E EXPANSÃO ESTABELECIDOS NA CALIBRAÇÃO

CASO	CONTRAÇÃO	EXPANSÃO
Sem Ponte	0,1	0,3
Com Ponte	0,3	0,5

❖ **Geometria do Canal**

A geometria do canal central adotada está apresentada na **Figura 6-3**, variando a largura da base inferior ao longo do trecho E0 - E99.

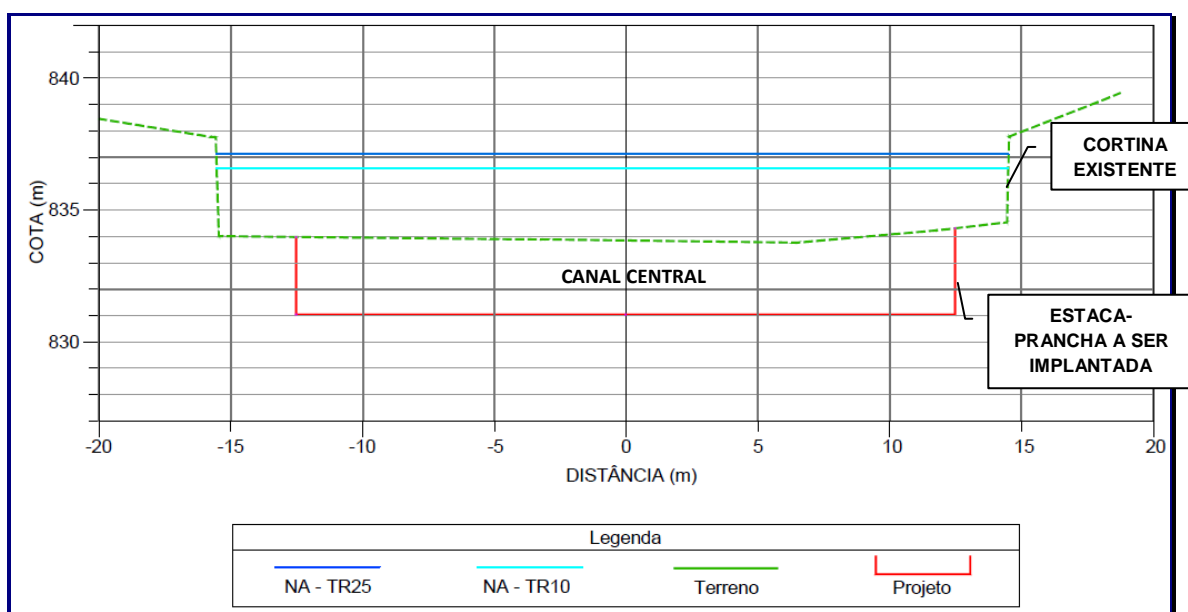


FIGURA 6-3: SEÇÃO TÍPICA ENTRE AS ESTACAS E0 E E99

Como já mencionado, uma dificuldade técnica para a execução da obra nesse trecho é a existência de uma cortina atirantada. Como a implantação dessa cortina não atende a todos os parâmetros previstos pelo INEA, foi necessário projetar um aprofundamento da calha conforme proposto e apresentado na **Figura 6-3**.

Diversos cenários foram simulados na busca da geometria ideal, que pudesse se adequar à cortina existente sem afetar a estrutura da mesma. Dessa forma, diferentes geometrias foram testadas, buscando sempre manter um afastamento 2,0 metros da

cortina, e minimizando a escavação. A largura do canal nesse trecho é variada, o que dificultou a adoção de uma geometria única ao longo da extensão da E0 - E99.

O **Quadro 6-3** e as **Figuras** a seguir apresentam as geometrias do canal adotadas para cada trecho.

QUADRO 6-3: CARACTERÍSTICAS DO CANAL NO TRECHO E0 - E99 - RIO BENGALAS

TRECHO	DEGRAU	DECLIVIDADE (m/m)	ESCAVAÇÃO	AFASTAMENTO DA CORTINA	GEOMETRIA DA CALHA NO CANAL CENTRAL
E0 - E10 (Trecho em Rocha)	-	0,0012 m/m	Máxima: 3,30 m Média: 2,30 m Mínima: 0,45 m	2,0 m	E0 – E09: Variável (> 25m) E10: Geometria diferenciada – Adequação na Ponte dos Maías
E11 - E102 (Trecho em Estaca-Prancha)	E100: 0,6 m	E0 – E100: 0,0012 m/m E100 - E102: 0,0008 m/m	Máxima: 2,70 m Média: 2,40 m Mínima: 1,70 m	Máximo: 3,50 m; Médio: 2,70 m e Mínimo: 1,80 m	E11 – E56: 25 m E57 – E58: Transição E59 – E78: 19 m E79 – E97: 18 m E98 – E102: Transição

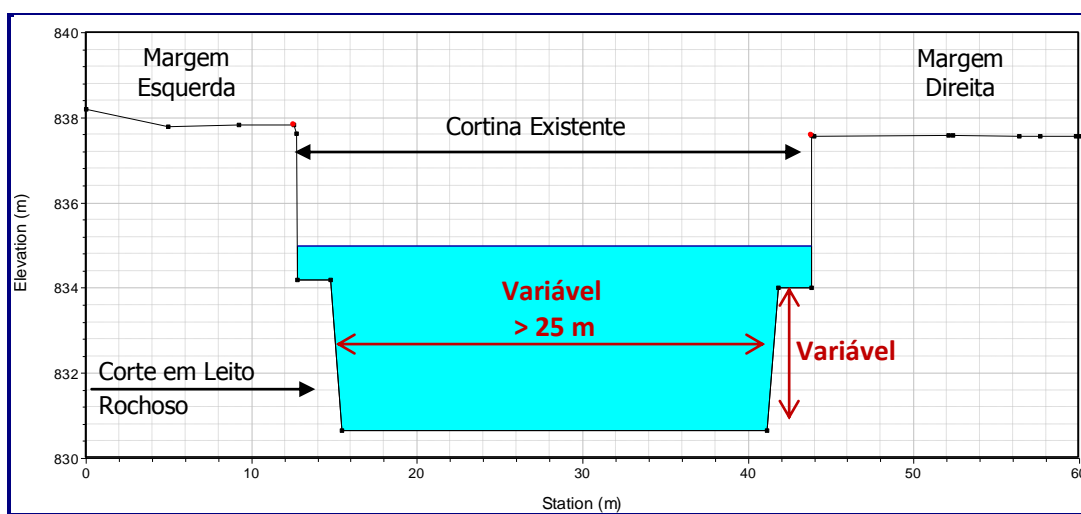


FIGURA 6-4: GEOMETRIA DO TRECHO ENTRE A E0-E09 – CORTE EM ROCHA COM TALUDE 5V:1H

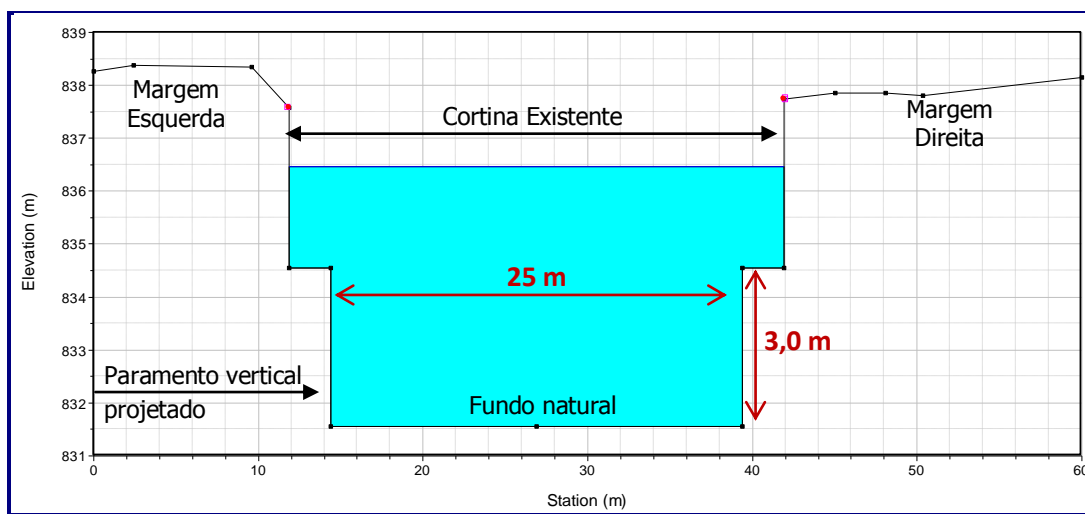


FIGURA 6-5: GEOMETRIA DO TRECHO ENTRE A E11-E56

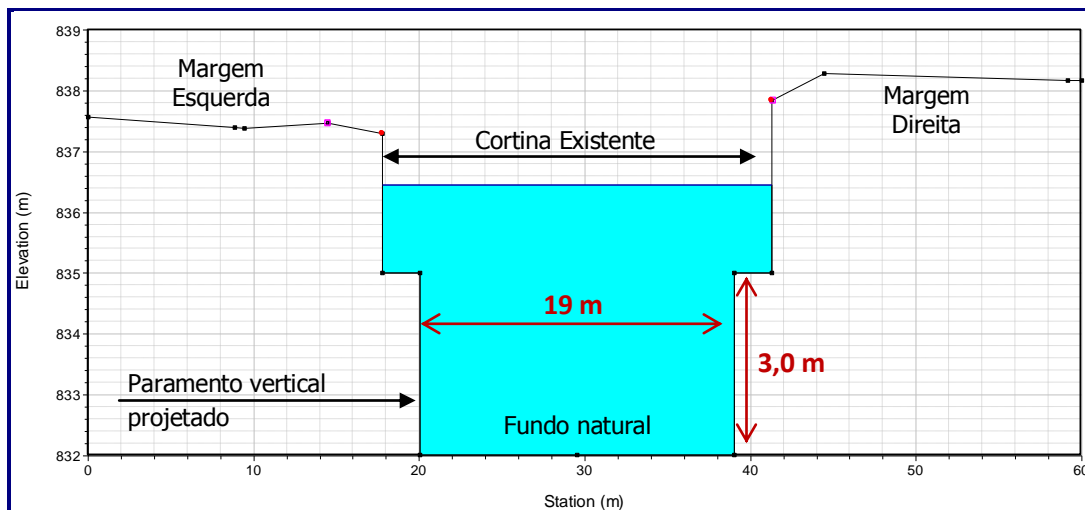


FIGURA 6-6: GEOMETRIA DO TRECHO ENTRE A E59-E78

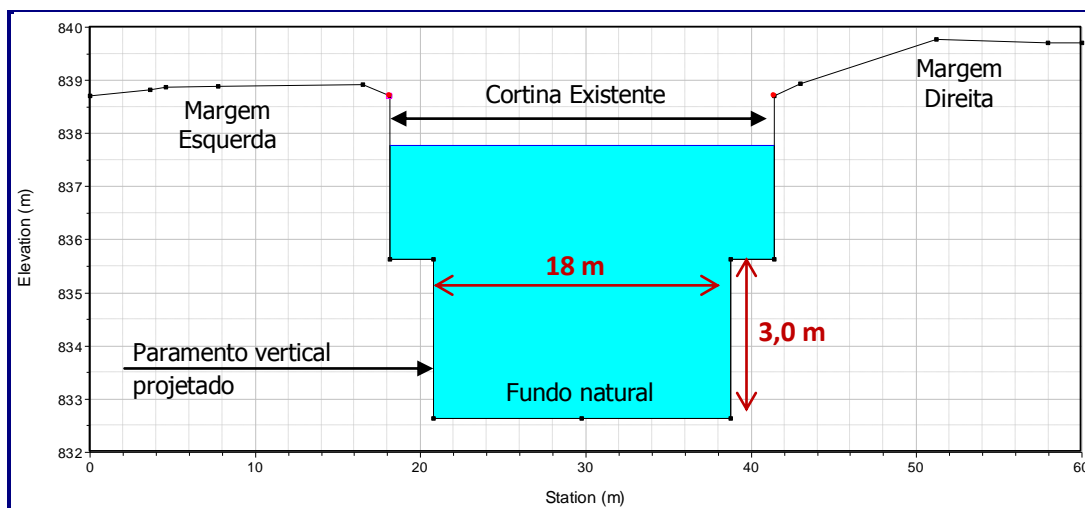


FIGURA 6-7: GEOMETRIA DO TRECHO ENTRE A E79-E97

Vale destacar a existência da Ponte dos Maias, localizada na E10+10,0, cujos pilares estão apoiados em fundo rochoso, dificultando a escavação e a adequação da calha de projeto. Para implantar a calha de projeto adotada para esse trecho, seria necessária a retirada desse material de fundo, o que poderia afetar a estrutura da ponte. Por isso, a seção de projeto adotada para a ponte foi diferenciada e está apresentada na **Figura 6-8**.

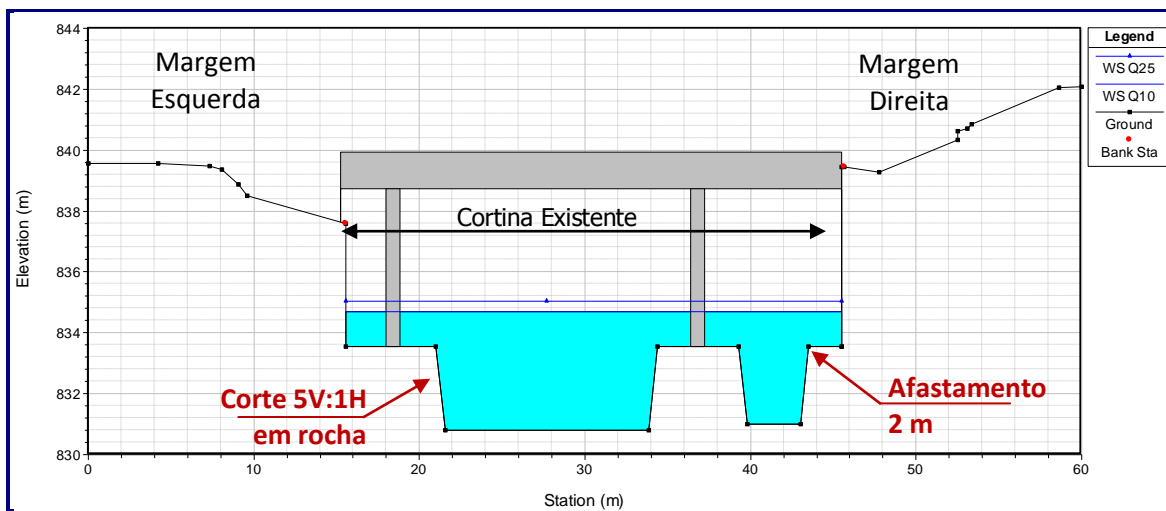


FIGURA 6-8: GEOMETRIA DIFERENCIADA PARA ADEQUAÇÃO DA PONTE DOS MAIAS – E10+10,0

7 RESULTADOS DA MODELAGEM HIDRODINÂMICA

A modelagem do estirão fluvial em estudo mostrou que, com a implantação das geometrias adotadas no Projeto Hidráulico, as reduções da lâmina d'água foram significativas, a ponto de eliminar o alagamento para os tempos de retorno de referência, em diversos pontos.

❖ Pontos Críticos da Modelagem

No decorrer do estudo, foram observadas localidades que se mostraram importantes no controle do nível d'água no Rio Bengalas e que merecem destaque. São elas:

Trecho E98 a E100

No trecho entre a E98 e E100 ocorre a Confluência do Córrego d'Antas (E97+15), considerado um ponto crítico, pois afeta diretamente a altura da lâmina d'água no trecho entre as estacas E99 - E272. Além do deságue do Córrego d'Antas, nesse trecho ocorre a transição entre a geometria de calha apresentada para o trecho E0 - E99 e para o trecho a montante, bem como a presença de um degrau de transição de declividade, projetado para ser construído na estaca E100. Portanto, a singularidade deste trecho contribui para a elevação do nível d'água no trecho a montante, o que pode ser observado no perfil apresentado na **Figura 7-3**.

Ponte dos Maias

Como já mencionado, a seção de escoamento reduzida significa um estrangulamento, causando remanso e elevando o nível d'água a montante. Para analisar o efeito da ponte ao longo do rio, foi simulado um cenário considerando a substituição da mesma, com implantação da seção de projeto, como mostra a **Figura 7-1**. Esta condição de substituição estava prevista no Projeto Básico do INEA, e a decisão de não se executar neste momento esta substituição é decorrente de que, no ano de 2013, foram executadas obras pela Prefeitura de Nova Friburgo com o objetivo de promover o alargamento da seção sem a remoção dos pilares.

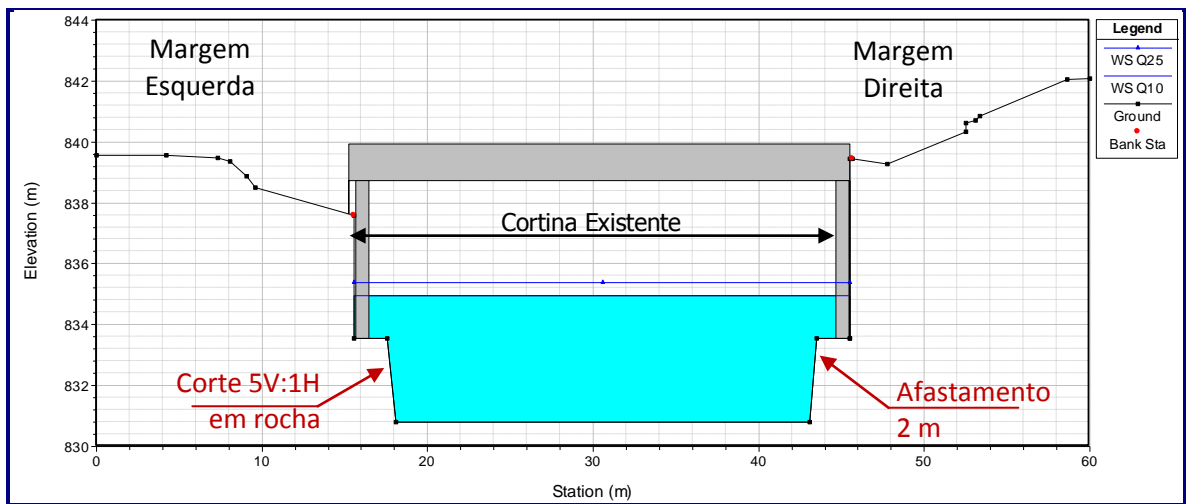


FIGURA 7-1: PONTE DOS MAIAS – E10+10,0 – CALHA DE ESCOAMENTO COM A SUBSTITUIÇÃO DA PONTE

A retirada da ponte reduziu o remanso provocado pelo estrangulamento da seção apresentada na **Figura 6-8**, resultando em redução da lâmina de escoamento no trecho a montante. A interferência foi observada ao longo de uma extensão de 1 km a montante, para todos os tempos de retorno, expressando alteração no nível d'água até a E60.

Os perfis longitudinais, bem como o gráfico de velocidades comparando os cenários com e sem ponte estão apresentados a seguir.

PERFIL LONGITUDINAL DA LINHA D'ÁGUA - TR 10 anos

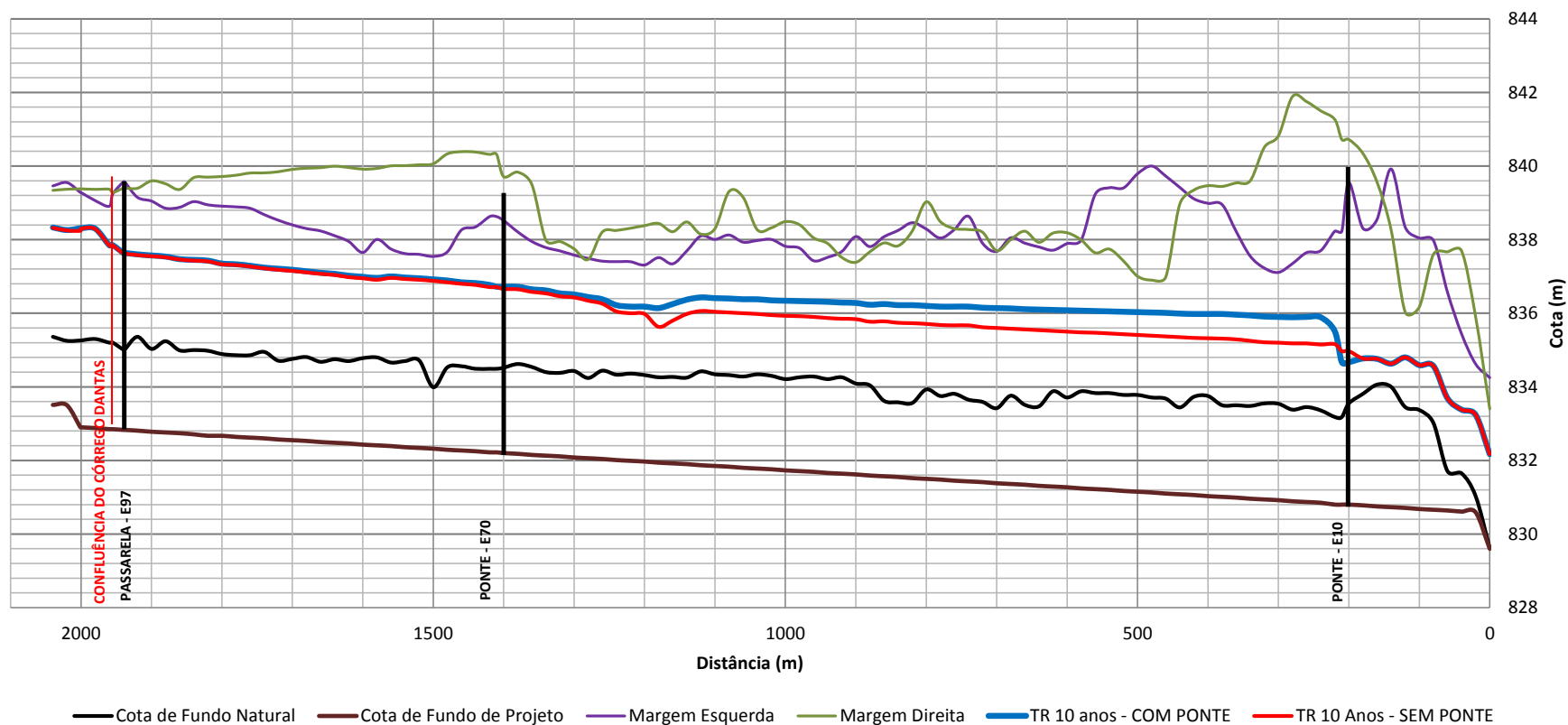


FIGURA 7-2: PERFIL LONGITUDINAL DO RIO BENGALAS PARA O TEMPO DE RETORNO DE 10 ANOS - COMPARAÇÃO ENTRE OS CENÁRIOS COM E SEM A PONTE DOS MAIAS (E10+10,0)

PERFIL LONGITUDINAL DA LINHA D'ÁGUA - TR 25 anos

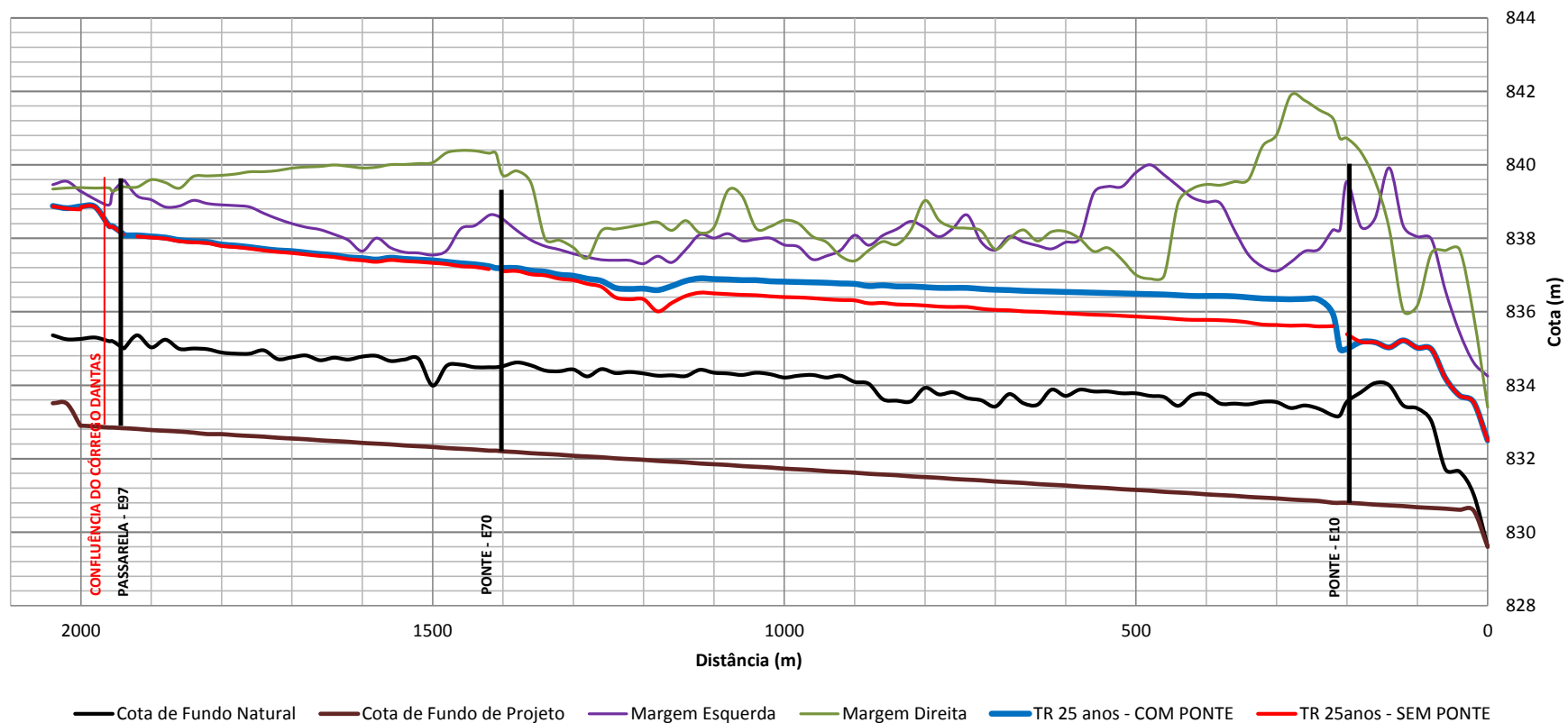


FIGURA 7-3: PERFIL LONGITUDINAL DO RIO BENGALAS PARA O TEMPO DE RETORNO DE 25 ANOS - COMPARAÇÃO ENTRE OS CENÁRIOS COM E SEM A PONTE DOS MAIAS (E10+10,0)

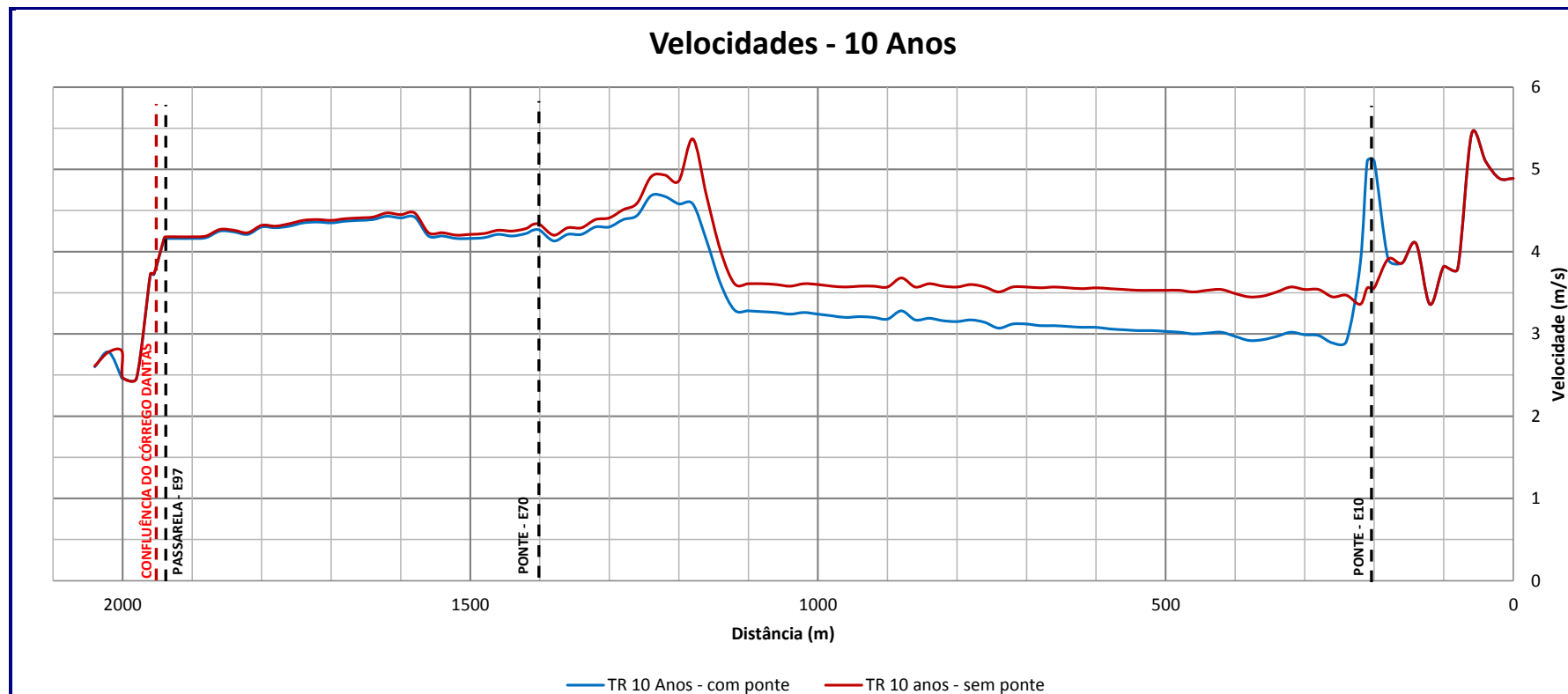


FIGURA 7-4: PERFIL DE VELOCIDADES DO RIO BENGALAS PARA O TEMPO DE RETORNO DE 10 ANOS - COMPARAÇÃO ENTE OS CENÁRIOS COM E SEM A PONTE DOS MAIAS (E10+10,0)

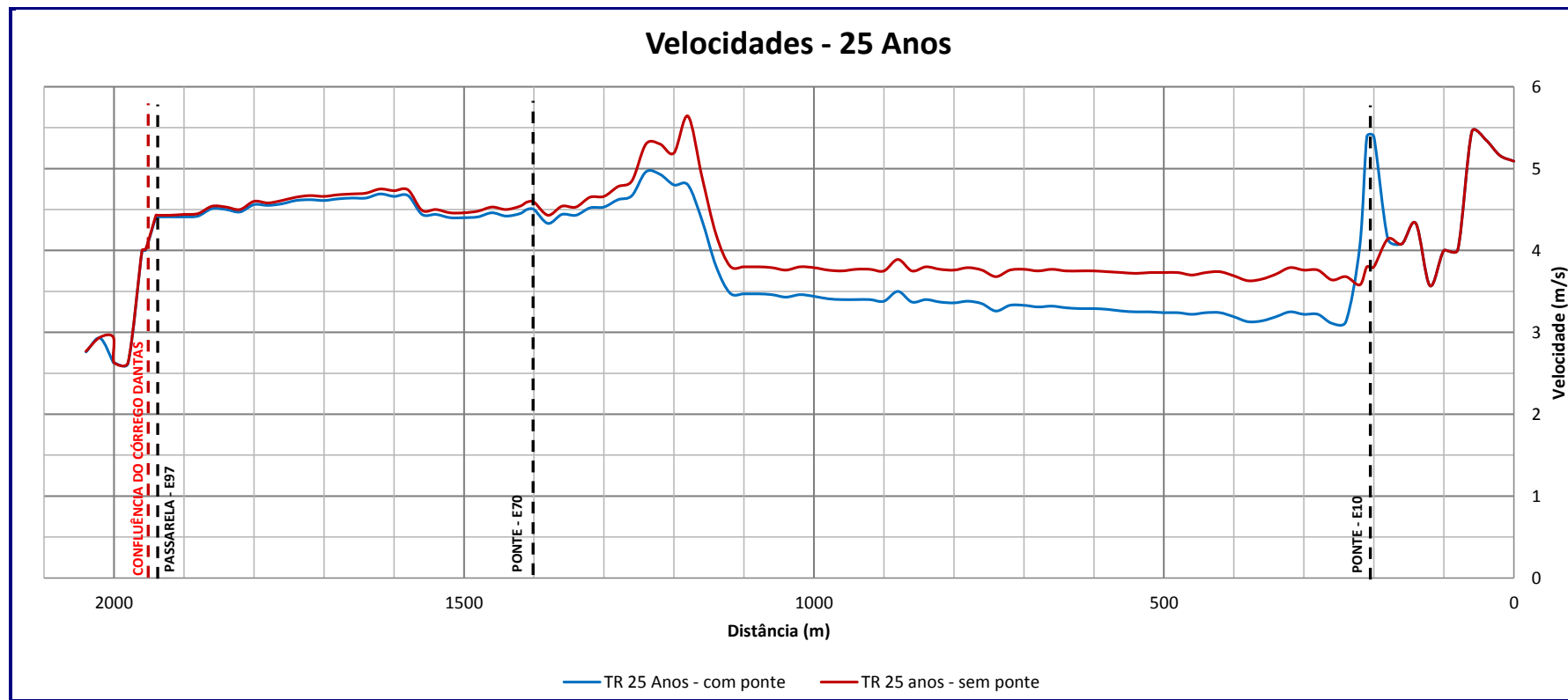


FIGURA 7-5: PERFIL DE VELOCIDADES DO RIO BENGALAS PARA O TEMPO DE RETORNO DE 25 ANOS - COMPARAÇÃO ENTE OS CENÁRIOS COM E SEM A PONTE DOS MAIAS (E10+10,0)

Os **Quadros** a seguir mostram um resumo dos resultados da modelagem para os cenários com e sem ponte, apresentando as reduções e/ou incrementos de lâmina d'água e de velocidade em algumas seções selecionadas a montante da Ponte dos Maías.

QUADRO 7-1: QUADRO COMPARATIVO DOS NÍVEIS D'ÁGUA E DAS VELOCIDADES PARA OS CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO COM E SEM A PONTE DOS MAIAS – PARA TR 10 ANOS

TR 10 ANOS						
ESTA CA	COM PONTE		SEM PONTE		REDUÇÃO/ACRÉSCIMO (M)	
	NÍVEL D'ÁGUA (M)	VELOCIDADE (M/S)	NÍVEL D'ÁGUA (M)	VELOCIDADE (M/S)	NÍVEL D'ÁGUA (M)	VELOCIDADE (M/S)
E10	834,67	5,10	834,97	3,56	0,30	-1,54
E15	835,90	2,99	835,20	3,54	-0,70	0,55
E20	835,98	2,97	835,32	3,49	-0,66	0,52
E40	836,20	3,15	835,71	3,57	-0,49	0,42
E60	836,18	4,58	835,98	4,86	-0,20	0,28

QUADRO 7-2: QUADRO COMPARATIVO DOS NÍVEIS D'ÁGUA E DAS VELOCIDADES PARA OS CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO COM E SEM A PONTE DOS MAIAS – PARA TR 25 ANOS

TR 25 ANOS						
	COM PONTE		SEM PONTE		REDUÇÃO (M)	
	NÍVEL D'ÁGUA (M)	VELOCIDADE (M/S)	NÍVEL D'ÁGUA (M)	VELOCIDADE (M/S)	NÍVEL D'ÁGUA (M)	VELOCIDADE (M/S)
E10	834,99	5,39	835,39	3,80	0,40	-1,59
E15	836,35	3,22	835,64	3,76	-0,71	0,54
E20	836,43	3,19	835,78	3,69	-0,65	0,50
E40	836,67	3,36	836,17	3,76	-0,50	0,40
E60	836,63	4,80	836,34	5,19	-0,29	0,39

Os resultados permitem observar que, com a retirada da ponte, houve um aumento médio de 0,45 m/s da velocidade no trecho da E11 a E60. As reduções de nível d'água variaram da ordem de 20 a 70 cm ao longo deste trecho de 1 km, para os tempos de retorno de 10 e 25 anos, com maiores reduções ocorrendo nas proximidades da ponte.

Logo a jusante da ponte, na E10, o aumento do nível d'água é ocasionado pela abertura da seção, resultando no aumento da vazão e redução da velocidade neste ponto. Houve um aumento de lâmina d'água em 40 cm para TR 25 anos, porém sem ocorrência de transbordamentos de calha, já que a margem mais baixa (esquerda) encontra-se a 2,20 metros acima do nível d'água.

Os resultados obtidos nestas modelagens indicam que a redução na lâmina d'água que pode ocorrer com a substituição da ponte, por uma que não tenha pilares no interior da calha, não é tão expressiva que justifique tal intervenção, haja visto que se empregou recentemente recursos na busca por uma melhor condição hidráulica.

❖ Avaliação dos Resultados

No que diz respeito às velocidades ao longo do trecho E0-E99, o perfil apresentado na **Figura 7-4** e na **Figura 7-5** mostra a faixa de variação que vai de 2,5 a 5,5 m/s considerando as vazões de 10 e 25 anos. Os trechos onde houve maiores variações foram os de transição de geometria, as proximidades da Confluência com o Córrego d'Antas e a foz. Na foz, o aumento da velocidade é decorrente da declividade acentuada que ocorre a jusante da E0.

Após a implantação do Projeto apresentado, as inundações que afetam os bairros situados às margens do rio Bengalas e que atualmente são fortemente impactados, foram minimizadas.

O bairro Prado está situado na margem direita do Rio Bengalas, no trecho compreendido entre as estacas E70 e E125. Com a implantação do Projeto, esse trecho teve aproximadamente 3 metros de redução de lâmina d'água, conforme mostra o **Quadro 7-3**.

QUADRO 7-3: REDUÇÃO MÉDIA DA LÂMINA D'ÁGUA NO TRECHO ENTRE AS ESTACAS E70-E125 – BAIRRO DO PRADO

TEMPO DE RETORNO	TR 10	TR 25	TR 50
Calha Atual	840,72	841,26	841,63
Calha de Projeto	837,79	838,31	838,70
REDUÇÃO	2,93	2,95	2,93

Os bairros Conselheiro Paulino e Jardim Califórnia estão localizados na margem esquerda, entre a estaca E60 e a foz do Córrego d'Antas, na E97+15. O **Quadro 7-4** mostra que nesse trecho as reduções foram maiores que 3 metros, reduzindo e até mesmo eliminando as inundações nessas localidades.

QUADRO 7-4: REDUÇÃO MÉDIA DA LÂMINA D'ÁGUA NO TRECHO ENTRE AS ESTACAS E60-E97+15 – BAIRROS CONSELHEIRO PAULINO E JARDIM CALIFÓRNIA

TEMPO DE RETORNO	TR 10	TR 25	TR 50
Calha Atual	840,09	840,64	841,02
Calha de Projeto	836,99	837,46	837,80
REDUÇÃO	3,10	3,18	3,22

8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados da modelagem hidrodinâmica permitiram avaliar as condições de escoamento do rio Bengalas no trecho E0 - E99, e concluir a importância das intervenções nesse estirão fluvial para o controle do nível d'água no trecho a montante entre a E99 – E272. Portanto, atender as geometrias adotadas, a declividade e a cota de fundo apresentadas no Projeto Hidráulico é uma das premissas a serem assumidas para garantir o bom funcionamento do rio Bengalas em toda a sua extensão.

O Projeto Hidráulico desenvolvido apresentou reduções significativas das cheias no trecho estudado, minimizando os impactos nas localidades do entorno e no trecho a montante.

Ao longo do desenvolvimento do projeto, inúmeras modificações foram necessárias para fins de adequação às condições locais previamente desconhecidas, e que surgiram no decorrer do trabalho. A presença da Ponte dos Maias, o ponto de deságue do Córrego d'Antas e as condições estruturais da cortina existente são exemplos de casos que precisaram de uma atenção especial, e cujas modificações alteraram os níveis d'água em todo o trecho. Como o nível d'água do rio Bengalas na foz do Córrego d'Antas representa uma condição de contorno para este rio, as simulações no trecho da E0 - E99 buscaram manter a lâmina d'água nesse trecho mais próxima possível daquela adotada no Projeto do Córrego d'Antas.

É importante destacar que a modelagem hidrodinâmica considera condições ideais de escoamento, embora faça uso de coeficientes que buscam representar a natureza do canal. Porém, em situações de cheia, o carreamento de pedaços de árvores, resíduos sólidos, e qualquer outro material dessa natureza são responsáveis pela obstrução do fluxo, uma vez que ficam depositados em locais como pontes e entradas de galerias. Nesse sentido, ações de limpeza de margens, retirada de material flutuante, varrição dos logradouros e dragagem do leito do rio são exemplos de ações que devem ser executadas regularmente para que sejam mantidas boas condições de escoamento do canal, evitando inundações por obstrução de fluxo.

A verificação das condições de microdrenagem das áreas adjacentes que deságuam no rio Bengalas também se faz necessária, pois permite conhecer a dinâmica de escoamento da bacia e contribui para a redução das ocorrências de alagamentos na região.

Além das obras de engenharia indicadas no presente relatório, ações como a preservação da bacia e das áreas a montante são fundamentais na retenção das descargas que atingem a área urbana e no controle de cheias. As encostas representam o maior percentual de área da bacia, e são reguladoras das vazões drenadas pela rede de canais.

9 ANEXOS

A seguir serão apresentadas as seções do HEC-RAS, as planilhas e os perfis de linha d'água resultados da modelagem hidrodinâmica para o rio Bengalas no trecho compreendido entre a E0 – E102.

PLANILHAS

QUADRO 9-1: RESULTADOS DA SIMULAÇÃO HIDRODINÂMICA DO RIO BENGALAS – E0-E99 - TR 10 ANOS

Rio	TRECHO	ESTACA		TR	VAZÃO	COTA DE FUNDO NATURAL	COTA DE FUNDO DE PROJETO	NÍVEL D'ÁGUA	LÂMINA D'ÁGUA	COTA DAS MARGENS (M)		DECLIVIDADE	VELOCIDADE
	(M)			(ANOS)	(M³/s)	(M)	(M)	(M)	(M)	ESQUERDA	DIREITA	(M/M)	(M/S)
Rio Bengalas	0 a 99	102+0	2040	TR10	288	835,36	833,51	838,33	4,82	839,46	839,34	0,0008	2,60
Rio Bengalas	0 a 99	101+0	2020	TR10	288	835,25	833,50	838,26	4,76	839,55	839,37	0,0008	2,78
Rio Bengalas	0 a 99	100+1	2001	TR10	Degrau								
Rio Bengalas	0 a 99	100+0	2000	TR10	288	835,26	832,90	838,31	5,41	839,28	839,38	0,0012	2,46
Rio Bengalas	0 a 99	99+0	1980	TR10	288	835,30	832,88	838,30	5,42	839,06	839,37	0,0012	2,46
Rio Bengalas	0 a 99	98+0	1960	TR10	400	835,20	832,85	837,85	5,00	838,91	839,37	0,0012	3,72
Rio Bengalas	0 a 99	97+15	1955	TR10	400	835,20	832,85	837,85	5,00	839,24	839,28	0,0012	3,72
Rio Bengalas	0 a 99	97+0	1940	TR10	400	835,01	832,83	837,64	4,81	839,57	839,40	0,0012	4,16
Rio Bengalas	0 a 99	96+18	1938	TR10	Ponte								
Rio Bengalas	0 a 99	96+0	1920	TR10	400	835,36	832,81	837,60	4,79	839,15	839,40	0,0012	4,16
Rio Bengalas	0 a 99	95+0	1900	TR10	400	835,03	832,78	837,57	4,79	839,05	839,60	0,0012	4,16
Rio Bengalas	0 a 99	94+0	1880	TR10	400	835,24	832,76	837,54	4,78	838,85	839,52	0,0012	4,17
Rio Bengalas	0 a 99	93+0	1860	TR10	400	834,99	832,74	837,47	4,73	838,88	839,36	0,0012	4,25
Rio Bengalas	0 a 99	92+0	1840	TR10	400	835,00	832,71	837,45	4,74	839,03	839,69	0,0012	4,24
Rio Bengalas	0 a 99	91+0	1820	TR10	400	834,98	832,67	837,43	4,76	838,95	839,70	0,0012	4,21
Rio Bengalas	0 a 99	90+0	1800	TR10	400	834,89	832,67	837,35	4,68	838,91	839,72	0,0012	4,30
Rio Bengalas	0 a 99	89+0	1780	TR10	400	834,86	832,64	837,33	4,69	838,89	839,75	0,0012	4,29
Rio Bengalas	0 a 99	88+0	1760	TR10	400	834,86	832,62	837,29	4,67	838,85	839,81	0,0012	4,31
Rio Bengalas	0 a 99	87+0	1740	TR10	400	834,95	832,60	837,24	4,64	838,68	839,81	0,0012	4,35
Rio Bengalas	0 a 99	86+0	1720	TR10	400	834,71	832,57	837,21	4,64	838,53	839,85	0,0012	4,36
Rio Bengalas	0 a 99	85+0	1700	TR10	400	834,76	832,55	837,18	4,63	838,40	839,91	0,0012	4,35
Rio Bengalas	0 a 99	84+0	1680	TR10	400	834,81	832,53	837,14	4,61	838,30	839,94	0,0012	4,37
Rio Bengalas	0 a 99	83+0	1660	TR10	400	834,68	832,50	837,10	4,60	838,24	839,96	0,0012	4,38
Rio Bengalas	0 a 99	82+0	1640	TR10	400	834,75	832,48	837,07	4,59	838,11	840,00	0,0012	4,39
Rio Bengalas	0 a 99	81+0	1620	TR10	400	834,70	832,46	837,02	4,56	837,95	839,96	0,0012	4,43
Rio Bengalas	0 a 99	80+0	1600	TR10	400	834,78	832,43	836,99	4,56	837,65	839,92	0,0012	4,41
Rio Bengalas	0 a 99	79+0	1580	TR10	400	834,80	832,41	836,96	4,55	838,01	839,94	0,0012	4,42
Rio Bengalas	0 a 99	78+0	1560	TR10	400	834,66	832,39	837,00	4,61	837,75	840,01	0,0012	4,19
Rio Bengalas	0 a 99	77+0	1540	TR10	400	834,70	832,36	836,97	4,61	837,62	840,01	0,0012	4,19
Rio Bengalas	0 a 99	76+0	1520	TR10	400	834,72	832,34	836,95	4,61	837,60	840,04	0,0012	4,16
Rio Bengalas	0 a 99	75+0	1500	TR10	400	833,99	832,32	836,92	4,60	837,55	840,06	0,0012	4,16
Rio Bengalas	0 a 99	74+0	1480	TR10	400	834,53	832,29	836,89	4,60	837,67	840,33	0,0012	4,17
Rio Bengalas	0 a 99	73+0	1460	TR10	400	834,56	832,27	836,84	4,57	838,26	840,39	0,0012	4,21
Rio Bengalas	0 a 99	72+0	1440	TR10	400	834,49	832,25	836,82	4,57	838,35	840,38	0,0012	4,19
Rio Bengalas	0 a 99	71+0	1420	TR10	400	834,49	832,22	836,77	4,55	838,63	840,32	0,0012	4,22
Rio Bengalas	0 a 99	70+10	1410	TR10	Ponte								

Rio	TRECHO	ESTACA		TR	VAZÃO	COTA DE FUNDO NATURAL	COTA DE FUNDO DE PROJETO	NÍVEL D'ÁGUA	LÂMINA D'ÁGUA	COTA DAS MARGENS (M)		DECLIVIDADE	VELOCIDADE
	(M)			(ANOS)	(M³/s)	(M)	(M)	(M)	(M)	ESQUERDA	DIREITA	(M/M)	(M/S)
Rio Bengalas	0 a 99	70+0	1400	TR10	400	834,52	832,20	836,72	4,52	838,52	839,71	0,0012	4,26
Rio Bengalas	0 a 99	69+0	1380	TR10	400	834,62	832,18	836,72	4,54	838,21	839,83	0,0012	4,13
Rio Bengalas	0 a 99	68+0	1360	TR10	400	834,54	832,15	836,65	4,50	837,95	839,50	0,0012	4,21
Rio Bengalas	0 a 99	67+0	1340	TR10	400	834,40	832,13	836,62	4,49	837,78	837,98	0,0012	4,21
Rio Bengalas	0 a 99	66+0	1320	TR10	400	834,38	832,11	836,54	4,43	837,69	837,95	0,0012	4,30
Rio Bengalas	0 a 99	65+0	1300	TR10	400	834,43	832,08	836,51	4,43	837,58	837,75	0,0012	4,30
Rio Bengalas	0 a 99	64+0	1280	TR10	400	834,24	832,06	836,44	4,38	837,49	837,46	0,0012	4,39
Rio Bengalas	0 a 99	63+0	1260	TR10	400	834,44	832,04	836,38	4,34	837,42	838,21	0,0012	4,44
Rio Bengalas	0 a 99	62+0	1240	TR10	400	834,33	832,01	836,22	4,21	837,40	838,25	0,0012	4,68
Rio Bengalas	0 a 99	61+0	1220	TR10	400	834,36	831,99	836,18	4,19	837,40	838,31	0,0012	4,67
Rio Bengalas	0 a 99	60+0	1200	TR10	400	834,32	831,97	836,18	4,21	837,31	838,38	0,0012	4,58
Rio Bengalas	0 a 99	59+0	1180	TR10	400	834,26	831,94	836,14	4,20	837,51	838,44	0,0012	4,58
Rio Bengalas	0 a 99	58+0	1160	TR10	400	834,27	831,92	836,25	4,33	837,34	838,22	0,0012	4,13
Rio Bengalas	0 a 99	57+0	1140	TR10	400	834,25	831,90	836,37	4,47	837,69	838,48	0,0012	3,61
Rio Bengalas	0 a 99	56+0	1120	TR10	400	834,42	831,87	836,43	4,56	838,10	838,15	0,0012	3,29
Rio Bengalas	0 a 99	55+0	1100	TR10	400	834,34	831,85	836,41	4,56	838,01	838,30	0,0012	3,28
Rio Bengalas	0 a 99	54+0	1080	TR10	400	834,32	831,83	836,40	4,57	838,13	839,31	0,0012	3,27
Rio Bengalas	0 a 99	53+0	1060	TR10	400	834,28	831,80	836,38	4,58	837,93	839,15	0,0012	3,26
Rio Bengalas	0 a 99	52+0	1040	TR10	400	834,34	831,78	836,38	4,60	837,98	838,27	0,0012	3,24
Rio Bengalas	0 a 99	51+0	1020	TR10	400	834,30	831,76	836,35	4,59	838,01	838,32	0,0012	3,26
Rio Bengalas	0 a 99	50+0	1000	TR10	400	834,21	831,73	836,34	4,61	837,82	838,49	0,0012	3,24
Rio Bengalas	0 a 99	49+0	980	TR10	400	834,26	831,71	836,33	4,62	837,77	838,41	0,0012	3,22
Rio Bengalas	0 a 99	48+0	960	TR10	400	834,28	831,69	836,32	4,63	837,43	838,05	0,0012	3,20
Rio Bengalas	0 a 99	47+0	940	TR10	400	834,21	831,66	836,31	4,65	837,52	837,90	0,0012	3,21
Rio Bengalas	0 a 99	46+0	920	TR10	400	834,26	831,64	836,29	4,65	837,68	837,52	0,0012	3,20
Rio Bengalas	0 a 99	45+0	900	TR10	400	834,09	831,62	836,28	4,66	838,08	837,38	0,0012	3,18
Rio Bengalas	0 a 99	44+0	880	TR10	400	834,04	831,59	836,23	4,64	837,81	837,67	0,0012	3,28
Rio Bengalas	0 a 99	43+0	860	TR10	400	833,62	831,57	836,25	4,68	838,08	837,91	0,0012	3,17
Rio Bengalas	0 a 99	42+0	840	TR10	400	833,58	831,55	836,22	4,67	838,25	837,83	0,0012	3,19
Rio Bengalas	0 a 99	41+0	820	TR10	400	833,56	831,52	836,22	4,70	838,46	838,23	0,0012	3,16
Rio Bengalas	0 a 99	40+0	800	TR10	400	833,93	831,50	836,20	4,70	838,29	839,03	0,0012	3,15
Rio Bengalas	0 a 99	39+0	780	TR10	400	833,75	831,48	836,18	4,70	838,04	838,49	0,0012	3,17
Rio Bengalas	0 a 99	38+0	760	TR10	400	833,81	831,45	836,18	4,73	838,28	838,30	0,0012	3,14
Rio Bengalas	0 a 99	37+0	740	TR10	400	833,65	831,43	836,18	4,75	838,63	838,27	0,0012	3,07
Rio Bengalas	0 a 99	36+0	720	TR10	400	833,59	831,41	836,15	4,74	837,90	838,20	0,0012	3,12
Rio Bengalas	0 a 99	35+0	700	TR10	400	833,42	831,38	836,14	4,76	837,68	837,70	0,0012	3,12
Rio Bengalas	0 a 99	34+0	680	TR10	400	833,76	831,36	836,13	4,77	838,05	838,00	0,0012	3,10
Rio Bengalas	0 a 99	33+0	660	TR10	400	833,51	831,34	836,11	4,77	837,90	838,23	0,0012	3,10

Rio	TRECHO	ESTACA		TR	VAZÃO	COTA DE FUNDO NATURAL	COTA DE FUNDO DE PROJETO	NÍVEL D'ÁGUA	LÂMINA D'ÁGUA	COTA DAS MARGENS (M)		DECLIVIDADE	VELOCIDADE
	(M)			(ANOS)	(M³/s)	(M)	(M)	(M)	(M)	ESQUERDA	DIREITA	(M/M)	(M/S)
Rio Bengalas	0 a 99	32+0	640	TR10	400	833,47	831,31	836,10	4,79	837,80	837,93	0,0012	3,09
Rio Bengalas	0 a 99	31+0	620	TR10	400	833,88	831,29	836,09	4,80	837,71	838,18	0,0012	3,08
Rio Bengalas	0 a 99	30+0	600	TR10	400	833,71	831,27	836,08	4,81	837,89	838,19	0,0012	3,08
Rio Bengalas	0 a 99	29+0	580	TR10	400	833,88	831,24	836,07	4,83	837,99	837,99	0,0012	3,06
Rio Bengalas	0 a 99	28+0	560	TR10	400	833,83	831,22	836,06	4,84	839,24	837,64	0,0012	3,05
Rio Bengalas	0 a 99	27+0	540	TR10	400	833,83	831,20	836,05	4,85	839,41	837,74	0,0012	3,04
Rio Bengalas	0 a 99	26+0	520	TR10	400	833,78	831,17	836,04	4,87	839,41	837,42	0,0012	3,04
Rio Bengalas	0 a 99	25+0	500	TR10	400	833,78	831,15	836,03	4,88	839,79	837,01	0,0012	3,03
Rio Bengalas	0 a 99	24+0	480	TR10	400	833,71	831,13	836,02	4,89	840,00	836,90	0,0012	3,02
Rio Bengalas	0 a 99	23+0	460	TR10	400	833,68	831,10	836,01	4,91	839,73	836,98	0,0012	3,00
Rio Bengalas	0 a 99	22+0	440	TR10	400	833,44	831,08	835,99	4,91	839,42	838,97	0,0012	3,01
Rio Bengalas	0 a 99	21+0	420	TR10	400	833,73	831,06	835,98	4,92	839,11	839,35	0,0012	3,02
Rio Bengalas	0 a 99	20+0	400	TR10	400	833,75	831,03	835,98	4,95	838,99	839,47	0,0012	2,97
Rio Bengalas	0 a 99	19+0	380	TR10	400	833,50	831,01	835,98	4,97	838,95	839,45	0,0012	2,92
Rio Bengalas	0 a 99	18+0	360	TR10	400	833,50	830,99	835,96	4,97	838,22	839,54	0,0012	2,93
Rio Bengalas	0 a 99	17+0	340	TR10	400	833,48	830,96	835,94	4,98	837,55	839,60	0,0012	2,97
Rio Bengalas	0 a 99	16+0	320	TR10	400	833,55	830,94	835,91	4,97	837,23	840,51	0,0012	3,02
Rio Bengalas	0 a 99	15+0	300	TR10	400	833,54	830,92	835,90	4,98	837,11	840,82	0,0012	2,99
Rio Bengalas	0 a 99	14+0	280	TR10	400	833,38	830,89	835,89	5,00	837,35	841,89	0,0012	2,98
Rio Bengalas	0 a 99	13+0	260	TR10	400	833,45	830,87	835,90	5,03	837,65	841,75	0,0012	2,89
Rio Bengalas	0 a 99	12+0	240	TR10	400	833,36	830,85	835,89	5,04	837,70	841,50	0,0012	2,91
Rio Bengalas	0 a 99	11+0	220	TR10	400	833,18	830,82	835,51	4,69	838,23	841,27	0,0012	3,86
Rio Bengalas	0 a 99	10+10	210	TR10	<i>Ponte</i>								
Rio Bengalas	0 a 99	10+0	200	TR10	400	833,55	830,80	834,67	3,87	839,55	840,72	0,0012	5,10
Rio Bengalas	0 a 99	9+0	180	TR10	400	833,81	830,78	834,77	3,99	838,31	840,34	0,0012	3,91
Rio Bengalas	0 a 99	8+0	160	TR10	400	834,06	830,75	834,76	4,01	838,55	839,56	0,0012	3,86
Rio Bengalas	0 a 99	7+0	140	TR10	400	834,00	830,73	834,63	3,90	839,92	838,26	0,0012	4,10
Rio Bengalas	0 a 99	6+0	120	TR10	400	833,45	830,71	834,80	4,09	838,34	836,03	0,0012	3,36
Rio Bengalas	0 a 99	5+0	100	TR10	400	833,37	830,68	834,59	3,91	838,04	836,17	0,0012	3,82
Rio Bengalas	0 a 99	4+0	80	TR10	400	833,02	830,66	834,57	3,91	837,98	837,60	0,0012	3,79
Rio Bengalas	0 a 99	3+0	60	TR10	400	831,71	830,64	833,69	3,05	836,57	837,67	0,0012	5,43
Rio Bengalas	0 a 99	2+0	40	TR10	400	831,65	830,61	833,38	2,77	835,44	837,70	0,0012	5,10
Rio Bengalas	0 a 99	1+0	20	TR10	400	831,03	830,59	833,24	2,65	834,62	835,90	0,0012	4,89
Rio Bengalas	0 a 99	0+0	0	TR10	400	829,62	829,62	832,17	2,55	834,25	833,40	0,0012	4,89

QUADRO 9-2: RESULTADOS DA SIMULAÇÃO HIDRODINÂMICA DO RIO BENGALAS – E0-E99 - TR 25 ANOS

Rio	TRECHO	ESTACA		TR	VAZÃO	COTA DE FUNDO NATURAL	COTA DE FUNDO DE PROJETO	NÍVEL D'ÁGUA	LÂMINA D'ÁGUA	COTA DAS MARGENS (M)		DECLIVIDADE	VELOCIDADE
	(M)			(ANOS)	(M³/S)	(M)	(M)	(M)	(M)	ESQUERDA	DIREITA	(M/M)	(M/S)
Rio Bengalas	0 a 99	102+0	2040	TR10	341	835,36	833,51	838,88	5,37	839,46	839,34	0,0008	2,76
Rio Bengalas	0 a 99	101+0	2020	TR10	341	835,25	833,50	838,82	5,32	839,55	839,37	0,0008	2,93
Rio Bengalas	0 a 99	100+1	2001	TR10	<i>Degrau</i>								
Rio Bengalas	0 a 99	100+0	2000	TR10	341	835,26	832,90	838,87	5,97	839,28	839,38	0,0012	2,63
Rio Bengalas	0 a 99	99+0	1980	TR25	341	835,30	832,88	838,86	5,98	839,06	839,37	0,0012	2,62
Rio Bengalas	0 a 99	98+0	1960	TR25	474	835,20	832,85	838,34	5,49	838,91	839,37	0,0012	3,99
Rio Bengalas	0 a 99	97+15	1955	TR25	474	835,20	832,85	838,33	5,48	839,24	839,28	0,0012	4,00
Rio Bengalas	0 a 99	97+0	1940	TR25	474	835,01	832,83	838,12	5,29	839,57	839,40	0,0012	4,41
Rio Bengalas	0 a 99	96+18	1938	TR25	<i>Ponte</i>								
Rio Bengalas	0 a 99	96+0	1920	TR25	474	835,36	832,81	838,08	5,27	839,15	839,40	0,0012	4,41
Rio Bengalas	0 a 99	95+0	1900	TR25	474	835,03	832,78	838,05	5,27	839,05	839,60	0,0012	4,41
Rio Bengalas	0 a 99	94+0	1880	TR25	474	835,24	832,76	838,02	5,26	838,85	839,52	0,0012	4,42
Rio Bengalas	0 a 99	93+0	1860	TR25	474	834,99	832,74	837,95	5,21	838,88	839,36	0,0012	4,51
Rio Bengalas	0 a 99	92+0	1840	TR25	474	835,00	832,71	837,92	5,21	839,03	839,69	0,0012	4,50
Rio Bengalas	0 a 99	91+0	1820	TR25	474	834,98	832,67	837,90	5,23	838,95	839,70	0,0012	4,47
Rio Bengalas	0 a 99	90+0	1800	TR25	474	834,89	832,67	837,83	5,16	838,91	839,72	0,0012	4,56
Rio Bengalas	0 a 99	89+0	1780	TR25	474	834,86	832,64	837,80	5,16	838,89	839,75	0,0012	4,55
Rio Bengalas	0 a 99	88+0	1760	TR25	474	834,86	832,62	837,76	5,14	838,85	839,81	0,0012	4,57
Rio Bengalas	0 a 99	87+0	1740	TR25	474	834,95	832,60	837,71	5,11	838,68	839,81	0,0012	4,61
Rio Bengalas	0 a 99	86+0	1720	TR25	474	834,71	832,57	837,67	5,10	838,53	839,85	0,0012	4,62
Rio Bengalas	0 a 99	85+0	1700	TR25	474	834,76	832,55	837,65	5,10	838,40	839,91	0,0012	4,61
Rio Bengalas	0 a 99	84+0	1680	TR25	474	834,81	832,53	837,61	5,08	838,30	839,94	0,0012	4,63
Rio Bengalas	0 a 99	83+0	1660	TR25	474	834,68	832,50	837,57	5,07	838,24	839,96	0,0012	4,64
Rio Bengalas	0 a 99	82+0	1640	TR25	474	834,75	832,48	837,54	5,06	838,11	840,00	0,0012	4,64
Rio Bengalas	0 a 99	81+0	1620	TR25	474	834,70	832,46	837,48	5,02	837,95	839,96	0,0012	4,69
Rio Bengalas	0 a 99	80+0	1600	TR25	474	834,78	832,43	837,46	5,03	837,65	839,92	0,0012	4,66
Rio Bengalas	0 a 99	79+0	1580	TR25	474	834,80	832,41	837,42	5,01	838,01	839,94	0,0012	4,67
Rio Bengalas	0 a 99	78+0	1560	TR25	474	834,66	832,39	837,47	5,08	837,75	840,01	0,0012	4,44
Rio Bengalas	0 a 99	77+0	1540	TR25	474	834,70	832,36	837,44	5,08	837,62	840,01	0,0012	4,44
Rio Bengalas	0 a 99	76+0	1520	TR25	474	834,72	832,34	837,42	5,08	837,60	840,04	0,0012	4,40
Rio Bengalas	0 a 99	75+0	1500	TR25	474	833,99	832,32	837,40	5,08	837,55	840,06	0,0012	4,40
Rio Bengalas	0 a 99	74+0	1480	TR25	474	834,53	832,29	837,36	5,07	837,67	840,33	0,0012	4,41
Rio Bengalas	0 a 99	73+0	1460	TR25	474	834,56	832,27	837,32	5,05	838,26	840,39	0,0012	4,46
Rio Bengalas	0 a 99	72+0	1440	TR25	474	834,49	832,25	837,29	5,04	838,35	840,38	0,0012	4,42
Rio Bengalas	0 a 99	71+0	1420	TR25	474	834,49	832,22	837,24	5,02	838,63	840,32	0,0012	4,45
Rio Bengalas	0 a 99	70+10	1410	TR25	<i>Ponte</i>								

Rio	TRECHO	ESTACA		TR	VAZÃO	COTA DE FUNDO NATURAL	COTA DE FUNDO DE PROJETO	NÍVEL D'ÁGUA	LÂMINA D'ÁGUA	COTA DAS MARGENS (M)		DECLIVIDADE	VELOCIDADE
	(M)			(ANOS)	(M³/S)	(M)	(M)	(M)	(M)	ESQUERDA	DIREITA	(M/M)	(M/S)
Rio Bengalas	0 a 99	70+0	1400	TR25	474	834,52	832,20	837,19	4,99	838,52	839,71	0,0012	4,50
Rio Bengalas	0 a 99	69+0	1380	TR25	474	834,62	832,18	837,19	5,01	838,21	839,83	0,0012	4,33
Rio Bengalas	0 a 99	68+0	1360	TR25	474	834,54	832,15	837,12	4,97	837,95	839,50	0,0012	4,44
Rio Bengalas	0 a 99	67+0	1340	TR25	474	834,40	832,13	837,09	4,96	837,78	837,98	0,0012	4,43
Rio Bengalas	0 a 99	66+0	1320	TR25	474	834,38	832,11	837,01	4,90	837,69	837,95	0,0012	4,52
Rio Bengalas	0 a 99	65+0	1300	TR25	474	834,43	832,08	836,98	4,90	837,58	837,75	0,0012	4,53
Rio Bengalas	0 a 99	64+0	1280	TR25	474	834,24	832,06	836,90	4,84	837,49	837,46	0,0012	4,62
Rio Bengalas	0 a 99	63+0	1260	TR25	474	834,44	832,04	836,84	4,80	837,42	838,21	0,0012	4,67
Rio Bengalas	0 a 99	62+0	1240	TR25	474	834,33	832,01	836,65	4,64	837,40	838,25	0,0012	4,96
Rio Bengalas	0 a 99	61+0	1220	TR25	474	834,36	831,99	836,62	4,63	837,40	838,31	0,0012	4,93
Rio Bengalas	0 a 99	60+0	1200	TR25	474	834,32	831,97	836,63	4,66	837,31	838,38	0,0012	4,80
Rio Bengalas	0 a 99	59+0	1180	TR25	474	834,26	831,94	836,59	4,65	837,51	838,44	0,0012	4,80
Rio Bengalas	0 a 99	58+0	1160	TR25	474	834,27	831,92	836,70	4,78	837,34	838,22	0,0012	4,37
Rio Bengalas	0 a 99	57+0	1140	TR25	474	834,25	831,90	836,84	4,94	837,69	838,48	0,0012	3,81
Rio Bengalas	0 a 99	56+0	1120	TR25	474	834,42	831,87	836,91	5,04	838,10	838,15	0,0012	3,48
Rio Bengalas	0 a 99	55+0	1100	TR25	474	834,34	831,85	836,89	5,04	838,01	838,30	0,0012	3,47
Rio Bengalas	0 a 99	54+0	1080	TR25	474	834,32	831,83	836,88	5,05	838,13	839,31	0,0012	3,47
Rio Bengalas	0 a 99	53+0	1060	TR25	474	834,28	831,80	836,86	5,06	837,93	839,15	0,0012	3,46
Rio Bengalas	0 a 99	52+0	1040	TR25	474	834,34	831,78	836,86	5,08	837,98	838,27	0,0012	3,43
Rio Bengalas	0 a 99	51+0	1020	TR25	474	834,30	831,76	836,83	5,07	838,01	838,32	0,0012	3,46
Rio Bengalas	0 a 99	50+0	1000	TR25	474	834,21	831,73	836,82	5,09	837,82	838,49	0,0012	3,44
Rio Bengalas	0 a 99	49+0	980	TR25	474	834,26	831,71	836,81	5,10	837,77	838,41	0,0012	3,41
Rio Bengalas	0 a 99	48+0	960	TR25	474	834,28	831,69	836,80	5,11	837,43	838,05	0,0012	3,40
Rio Bengalas	0 a 99	47+0	940	TR25	474	834,21	831,66	836,79	5,13	837,52	837,90	0,0012	3,40
Rio Bengalas	0 a 99	46+0	920	TR25	474	834,26	831,64	836,77	5,13	837,68	837,52	0,0012	3,40
Rio Bengalas	0 a 99	45+0	900	TR25	474	834,09	831,62	836,76	5,14	838,08	837,38	0,0012	3,38
Rio Bengalas	0 a 99	44+0	880	TR25	474	834,04	831,59	836,70	5,11	837,81	837,67	0,0012	3,50
Rio Bengalas	0 a 99	43+0	860	TR25	474	833,62	831,57	836,72	5,15	838,08	837,91	0,0012	3,37
Rio Bengalas	0 a 99	42+0	840	TR25	474	833,58	831,55	836,69	5,14	838,25	837,83	0,0012	3,40
Rio Bengalas	0 a 99	41+0	820	TR25	474	833,56	831,52	836,69	5,17	838,46	838,23	0,0012	3,37
Rio Bengalas	0 a 99	40+0	800	TR25	474	833,93	831,50	836,67	5,17	838,29	839,03	0,0012	3,36
Rio Bengalas	0 a 99	39+0	780	TR25	474	833,75	831,48	836,65	5,17	838,04	838,49	0,0012	3,38
Rio Bengalas	0 a 99	38+0	760	TR25	474	833,81	831,45	836,65	5,20	838,28	838,30	0,0012	3,35
Rio Bengalas	0 a 99	37+0	740	TR25	474	833,65	831,43	836,65	5,22	838,63	838,27	0,0012	3,26
Rio Bengalas	0 a 99	36+0	720	TR25	474	833,59	831,41	836,62	5,21	837,90	838,20	0,0012	3,33
Rio Bengalas	0 a 99	35+0	700	TR25	474	833,42	831,38	836,60	5,22	837,68	837,70	0,0012	3,33
Rio Bengalas	0 a 99	34+0	680	TR25	474	833,76	831,36	836,59	5,23	838,05	838,00	0,0012	3,31

Rio	TRECHO	ESTACA		TR	VAZÃO	COTA DE FUNDO NATURAL	COTA DE FUNDO DE PROJETO	NÍVEL D'ÁGUA	LÂMINA D'ÁGUA	COTA DAS MARGENS (M)		DECLIVIDADE	VELOCIDADE
	(M)			(ANOS)	(M³/S)	(M)	(M)	(M)	(M)	ESQUERDA	DIREITA	(M/M)	(M/S)
Rio Bengalas	0 a 99	33+0	660	TR25	474	833,51	831,34	836,57	5,23	837,90	838,23	0,0012	3,32
Rio Bengalas	0 a 99	32+0	640	TR25	474	833,47	831,31	836,56	5,25	837,80	837,93	0,0012	3,30
Rio Bengalas	0 a 99	31+0	620	TR25	474	833,88	831,29	836,55	5,26	837,71	838,18	0,0012	3,29
Rio Bengalas	0 a 99	30+0	600	TR25	474	833,71	831,27	836,54	5,27	837,89	838,19	0,0012	3,29
Rio Bengalas	0 a 99	29+0	580	TR25	474	833,88	831,24	836,53	5,29	837,99	837,99	0,0012	3,28
Rio Bengalas	0 a 99	28+0	560	TR25	474	833,83	831,22	836,52	5,30	839,24	837,64	0,0012	3,26
Rio Bengalas	0 a 99	27+0	540	TR25	474	833,83	831,20	836,51	5,31	839,41	837,74	0,0012	3,25
Rio Bengalas	0 a 99	26+0	520	TR25	474	833,78	831,17	836,50	5,33	839,41	837,42	0,0012	3,25
Rio Bengalas	0 a 99	25+0	500	TR25	474	833,78	831,15	836,49	5,34	839,79	837,01	0,0012	3,24
Rio Bengalas	0 a 99	24+0	480	TR25	474	833,71	831,13	836,48	5,35	840,00	836,90	0,0012	3,24
Rio Bengalas	0 a 99	23+0	460	TR25	474	833,68	831,10	836,47	5,37	839,73	836,98	0,0012	3,22
Rio Bengalas	0 a 99	22+0	440	TR25	474	833,44	831,08	836,45	5,37	839,42	838,97	0,0012	3,24
Rio Bengalas	0 a 99	21+0	420	TR25	474	833,73	831,06	836,43	5,37	839,11	839,35	0,0012	3,24
Rio Bengalas	0 a 99	20+0	400	TR25	474	833,75	831,03	836,43	5,40	838,99	839,47	0,0012	3,19
Rio Bengalas	0 a 99	19+0	380	TR25	474	833,50	831,01	836,43	5,42	838,95	839,45	0,0012	3,13
Rio Bengalas	0 a 99	18+0	360	TR25	474	833,50	830,99	836,42	5,43	838,22	839,54	0,0012	3,14
Rio Bengalas	0 a 99	17+0	340	TR25	474	833,48	830,96	836,39	5,43	837,55	839,60	0,0012	3,19
Rio Bengalas	0 a 99	16+0	320	TR25	474	833,55	830,94	836,36	5,42	837,23	840,51	0,0012	3,25
Rio Bengalas	0 a 99	15+0	300	TR25	474	833,54	830,92	836,35	5,43	837,11	840,82	0,0012	3,22
Rio Bengalas	0 a 99	14+0	280	TR25	474	833,38	830,89	836,34	5,45	837,35	841,89	0,0012	3,22
Rio Bengalas	0 a 99	13+0	260	TR25	474	833,45	830,87	836,35	5,48	837,65	841,75	0,0012	3,11
Rio Bengalas	0 a 99	12+0	240	TR25	474	833,36	830,85	836,33	5,48	837,70	841,50	0,0012	3,13
Rio Bengalas	0 a 99	11+0	220	TR25	474	833,18	830,82	835,94	5,12	838,23	841,27	0,0012	4,06
Rio Bengalas	0 a 99	10+10	210	TR25	<i>Ponte</i>								
Rio Bengalas	0 a 99	10+0	200	TR25	474	833,55	830,80	834,99	4,19	839,55	840,72	0,0012	5,39
Rio Bengalas	0 a 99	9+0	180	TR25	474	833,81	830,78	835,18	4,40	838,31	840,34	0,0012	4,14
Rio Bengalas	0 a 99	8+0	160	TR25	474	834,06	830,75	835,17	4,42	838,55	839,56	0,0012	4,08
Rio Bengalas	0 a 99	7+0	140	TR25	474	834,00	830,73	835,03	4,30	839,92	838,26	0,0012	4,33
Rio Bengalas	0 a 99	6+0	120	TR25	474	833,45	830,71	835,22	4,51	838,34	836,03	0,0012	3,57
Rio Bengalas	0 a 99	5+0	100	TR25	474	833,37	830,68	835,02	4,34	838,04	836,17	0,0012	4,00
Rio Bengalas	0 a 99	4+0	80	TR25	474	833,02	830,66	834,98	4,32	837,98	837,60	0,0012	4,01
Rio Bengalas	0 a 99	3+0	60	TR25	474	831,71	830,64	834,19	3,55	836,57	837,67	0,0012	5,45
Rio Bengalas	0 a 99	2+0	40	TR25	474	831,65	830,61	833,72	3,11	835,44	837,70	0,0012	5,35
Rio Bengalas	0 a 99	1+0	20	TR25	474	831,03	830,59	833,54	2,95	834,62	835,90	0,0012	5,16
Rio Bengalas	0 a 99	0+0	0	TR25	474	829,62	829,62	832,50	2,88	834,25	833,40	0,0012	5,09

SEÇÕES DE ESCOAMENTO

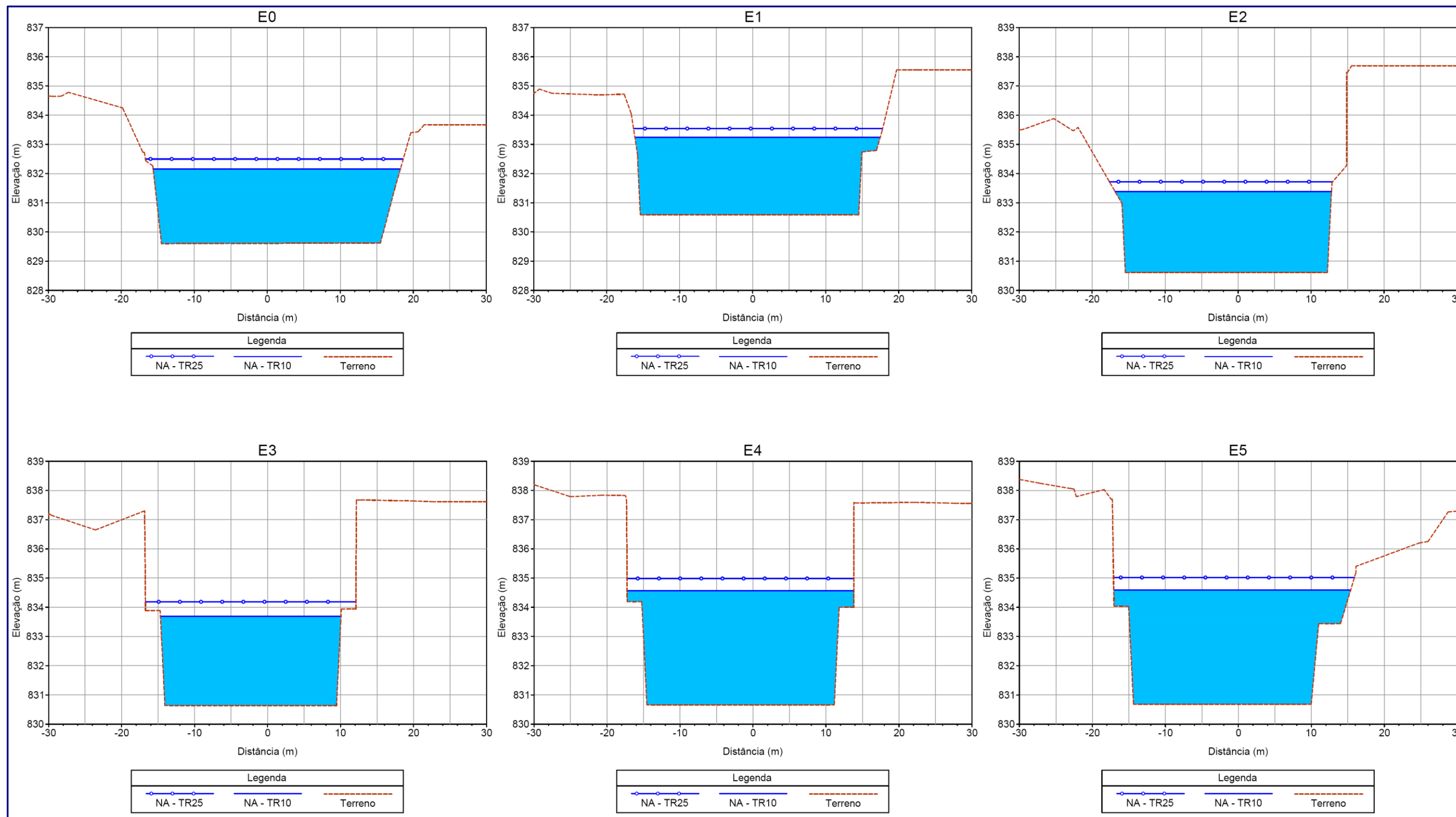


FIGURA 9-1: SEÇÕES DO HEC-RAS - RIO BENGALAS – E0-E5

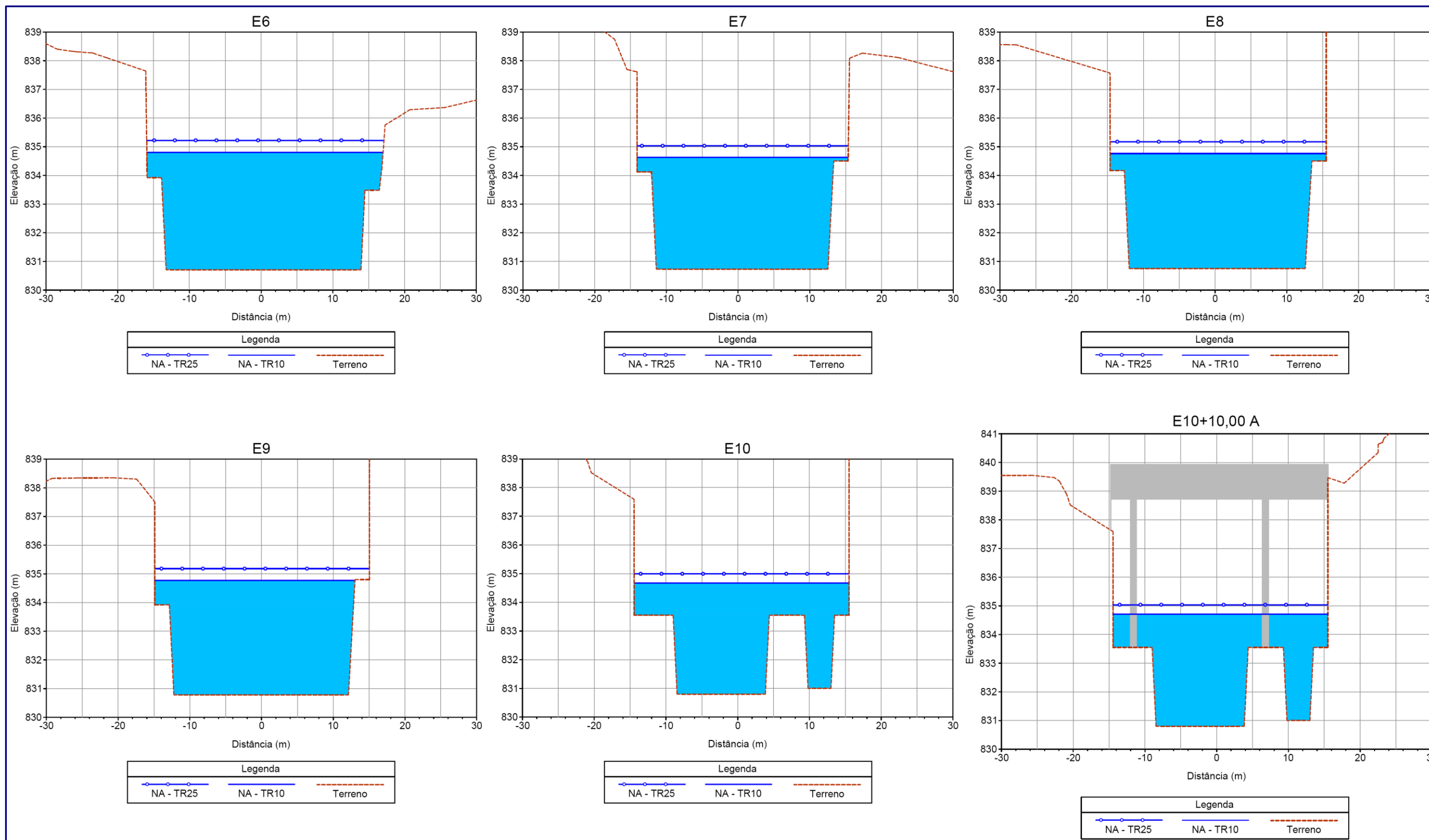


FIGURA 9-2: SEÇÕES DO HEC-RAS - RIO BENGALAS – E6-E10+10,00A

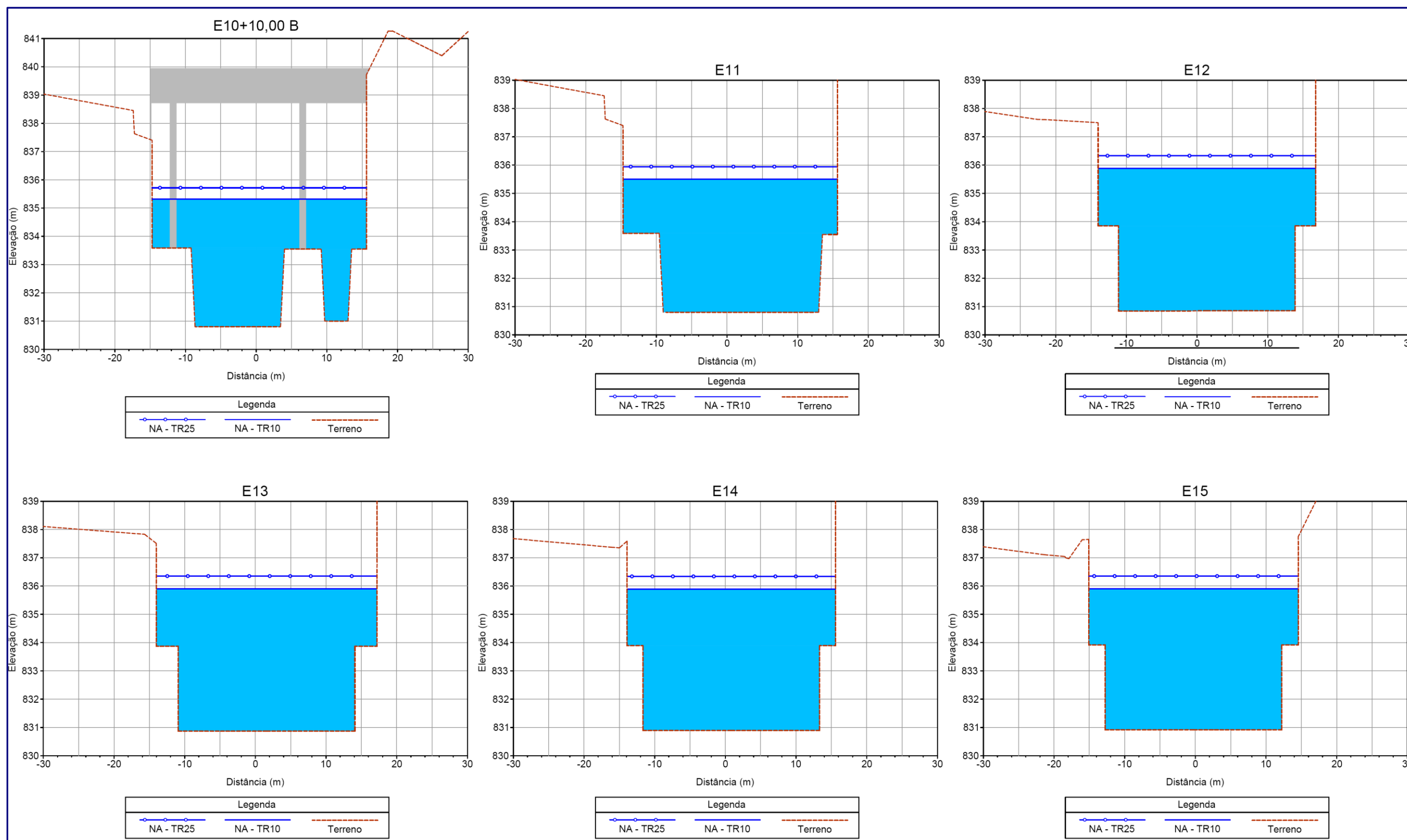


FIGURA 9-3: SEÇÕES DO HEC-RAS - RIO BENGALAS – E10+10,00B – E15

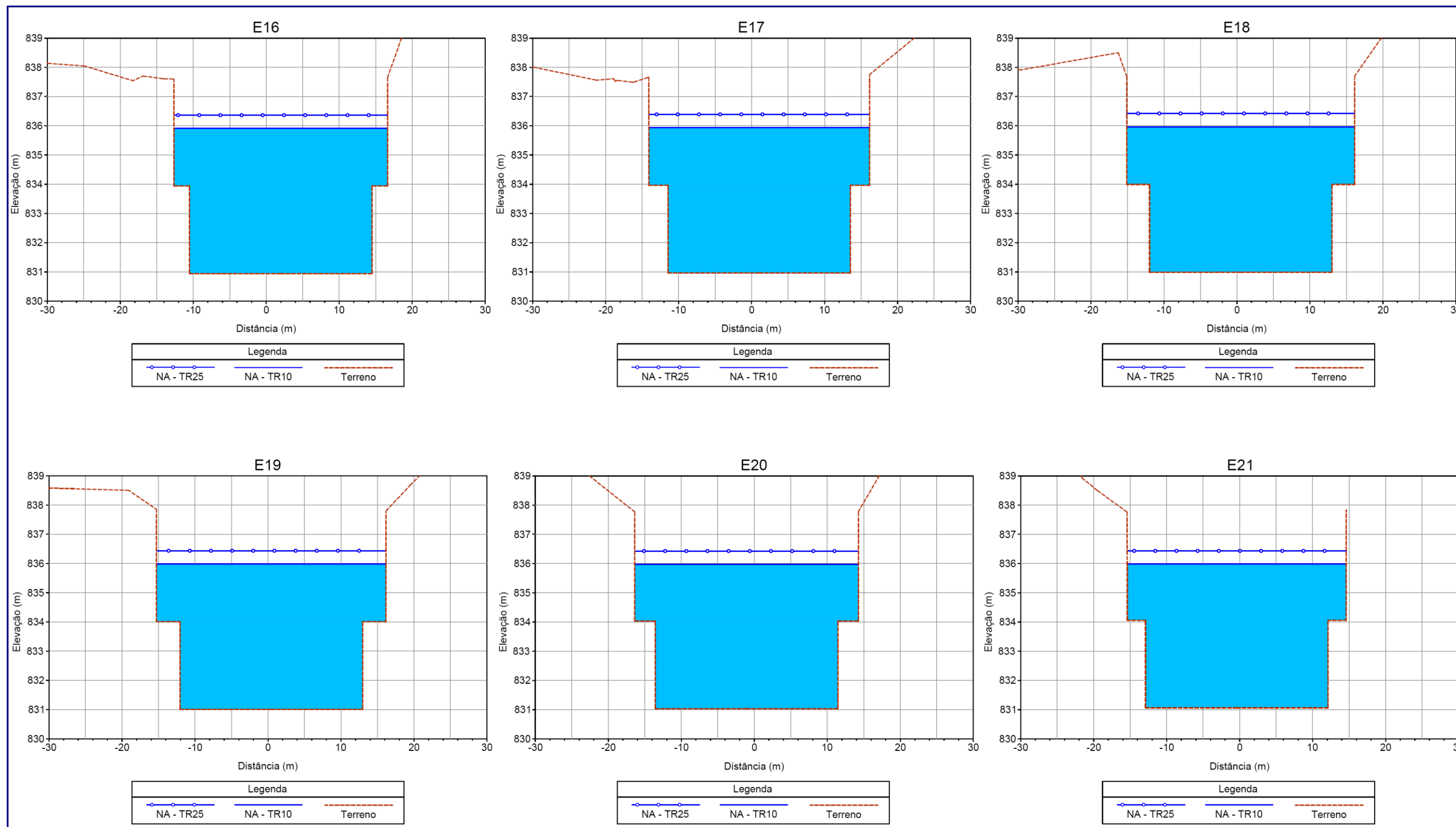


FIGURA 9-4: SEÇÕES DO HEC-RAS - RIO BENGALAS –E16-E21

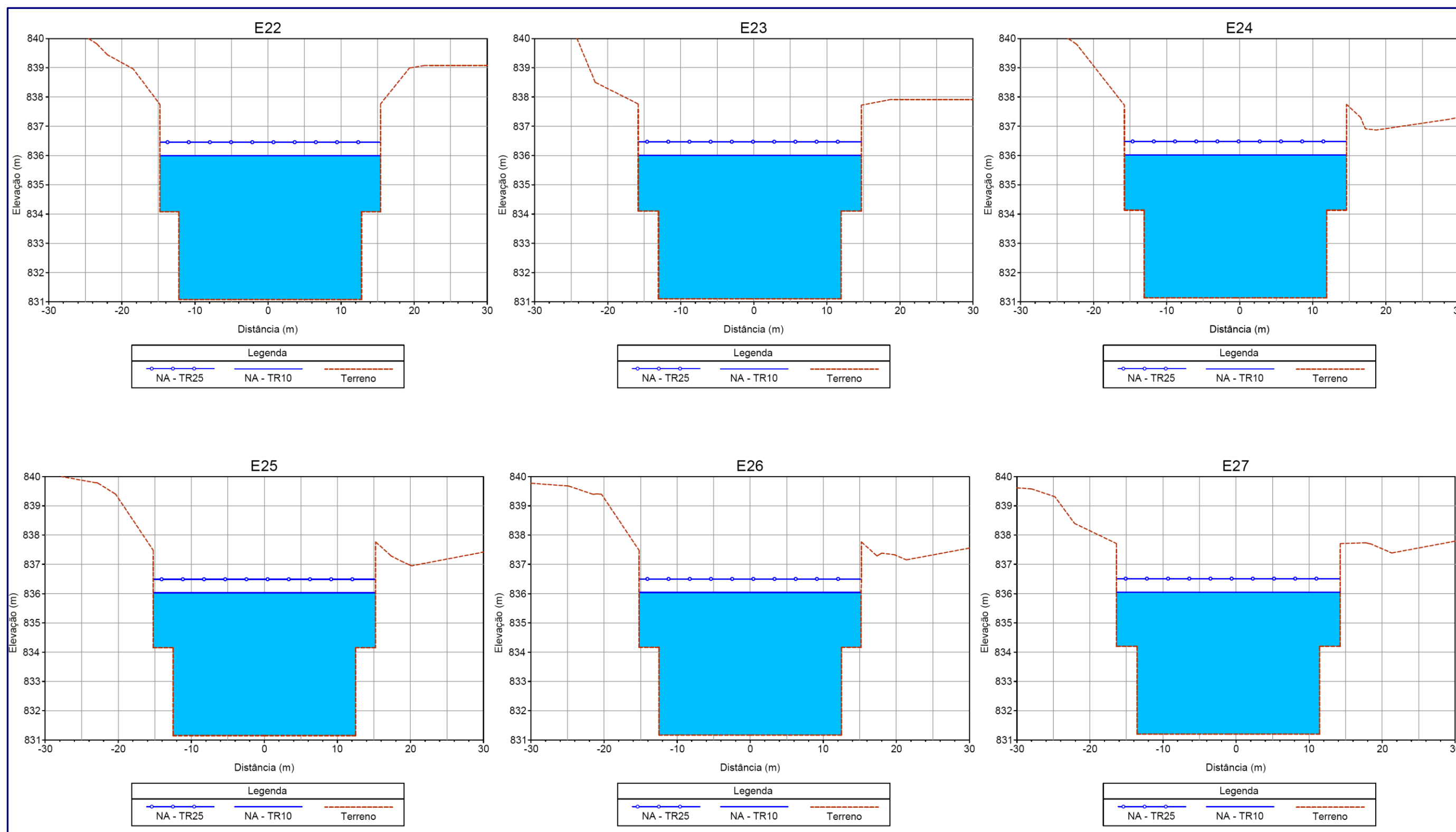


FIGURA 9-5: SEÇÕES DO HEC-RAS - RIO BENGALAS –E22-E27

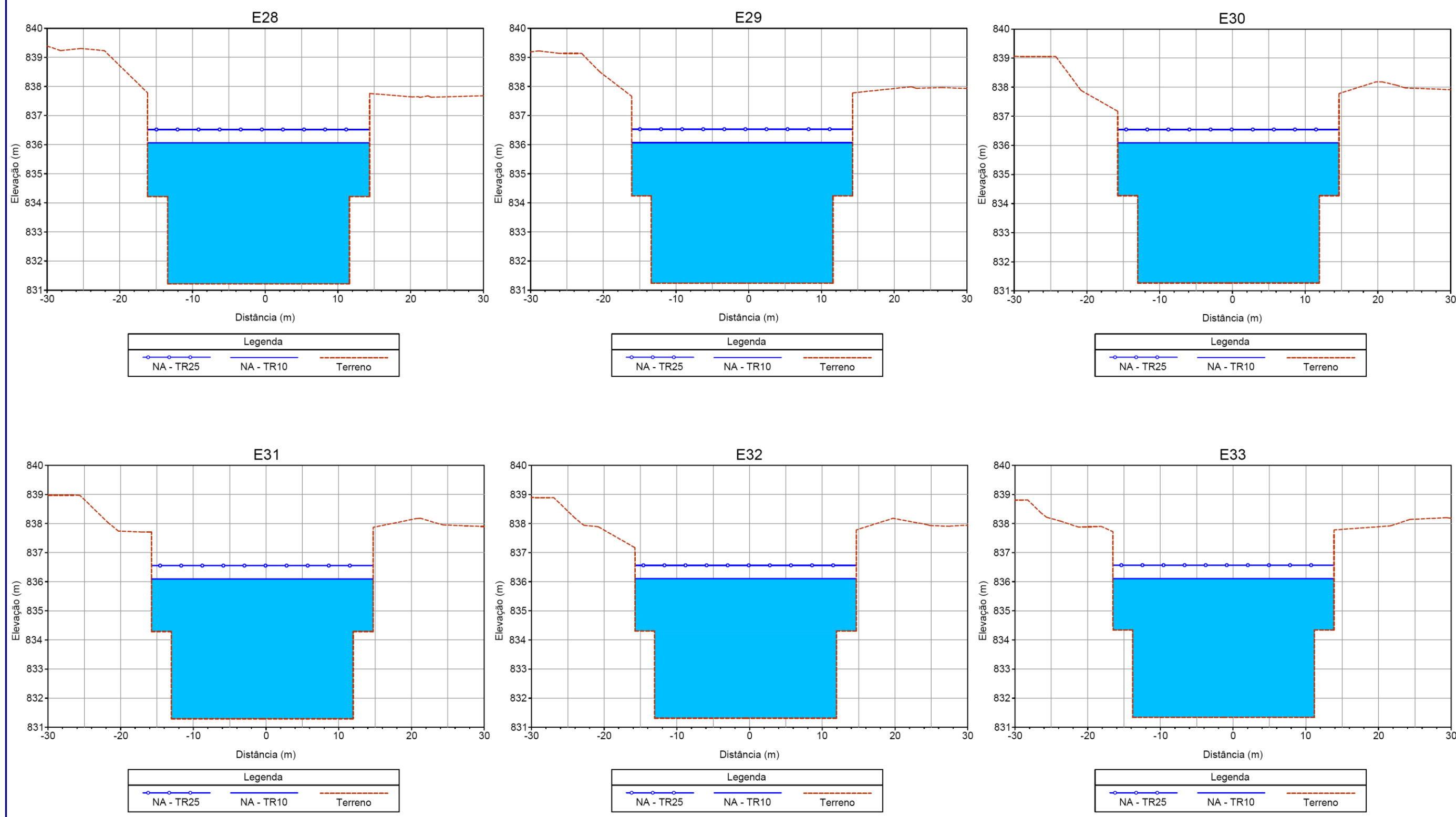


FIGURA 9-6: SEÇÕES DO HEC-RAS - RIO BENGALAS –E28-E33

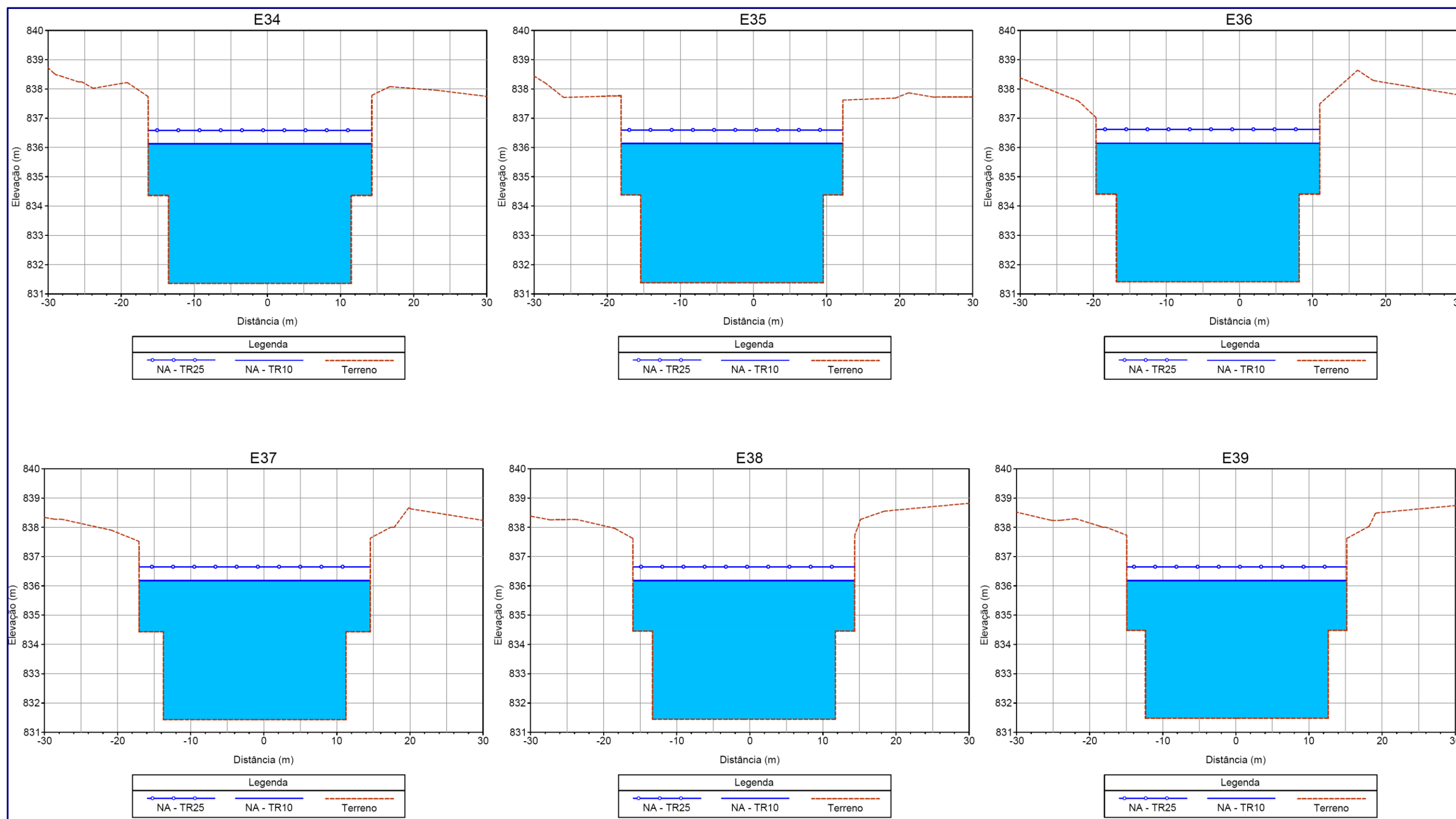


FIGURA 9-7: SEÇÕES DO HEC-RAS - RIO BENGALAS –E34-E39

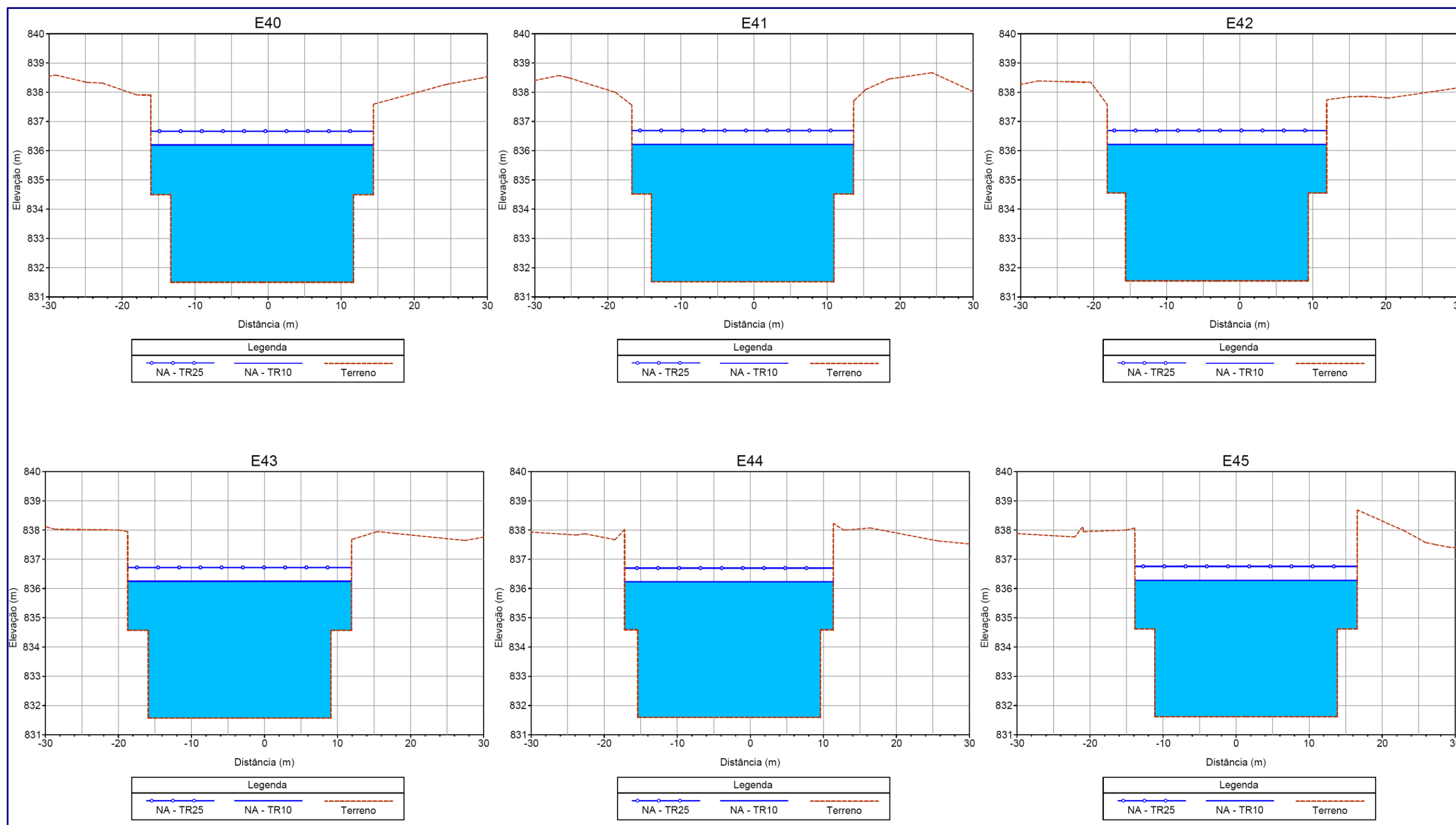


FIGURA 9-8: SEÇÕES DO HEC-RAS - RIO BENGALAS –E40-E45

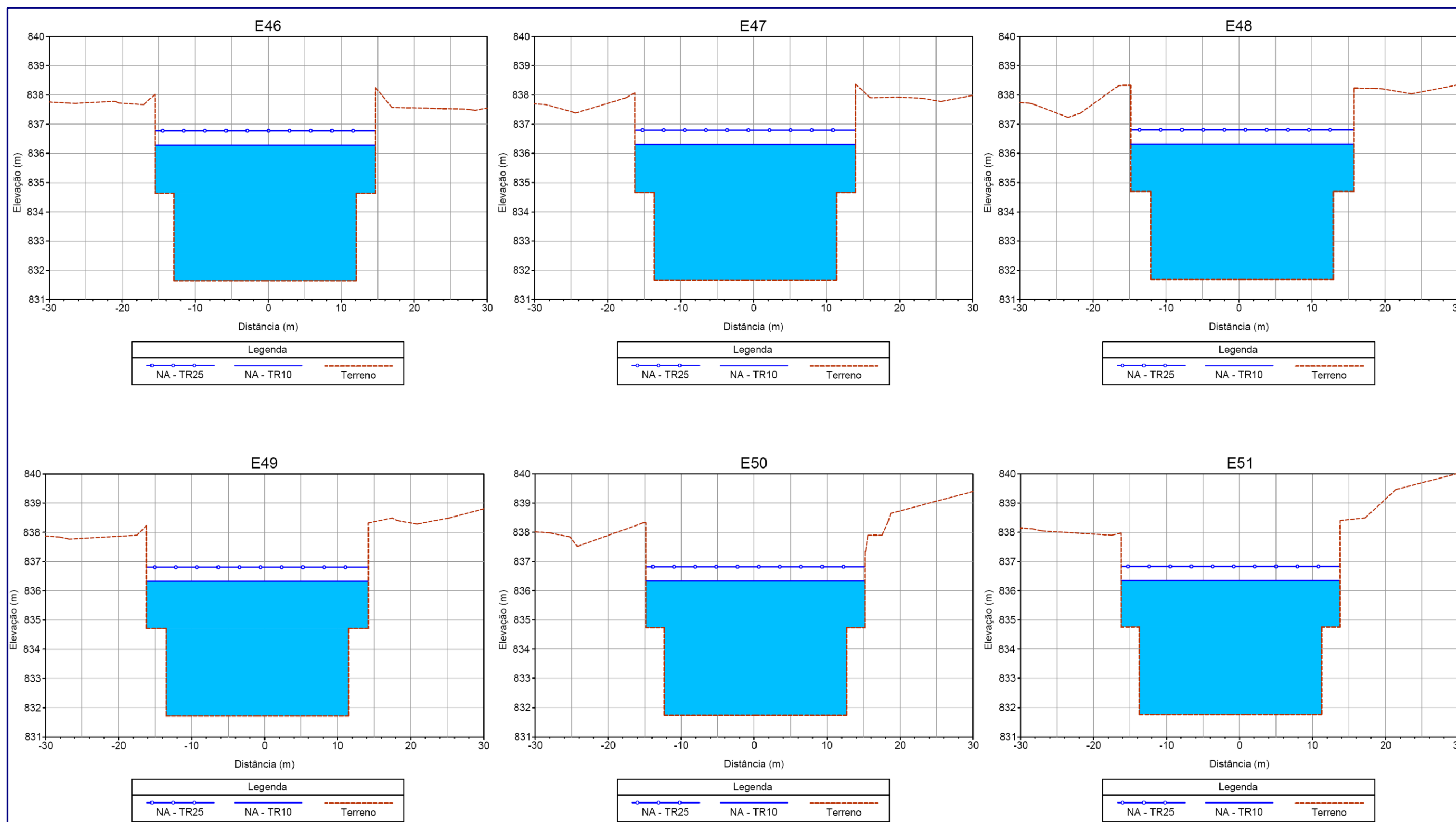


FIGURA 9-9: SEÇÕES DO HEC-RAS - RIO BENGALAS –E46-E51

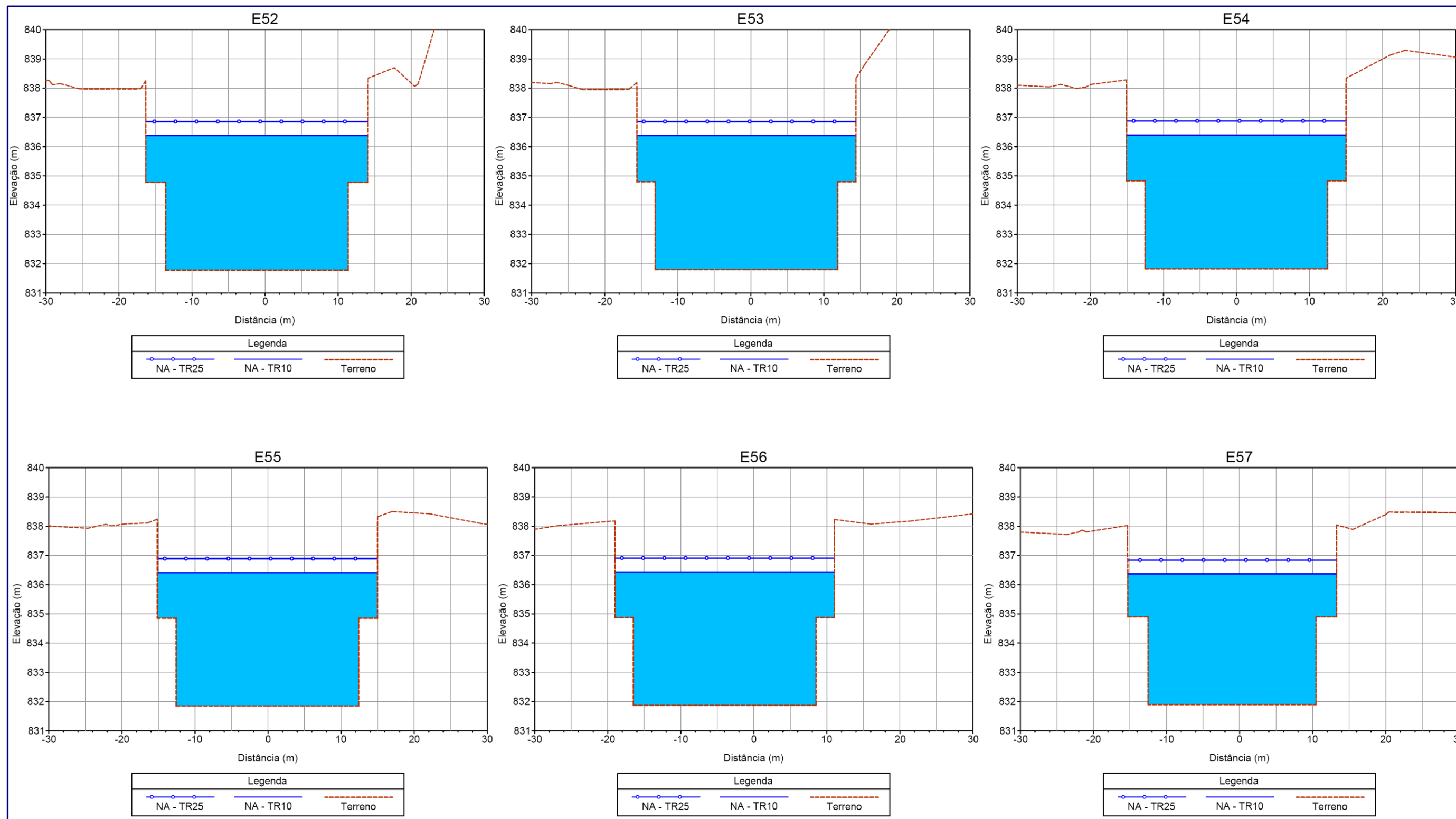


FIGURA 9-10: SEÇÕES DO HEC-RAS - RIO BENGALAS –E52-E57

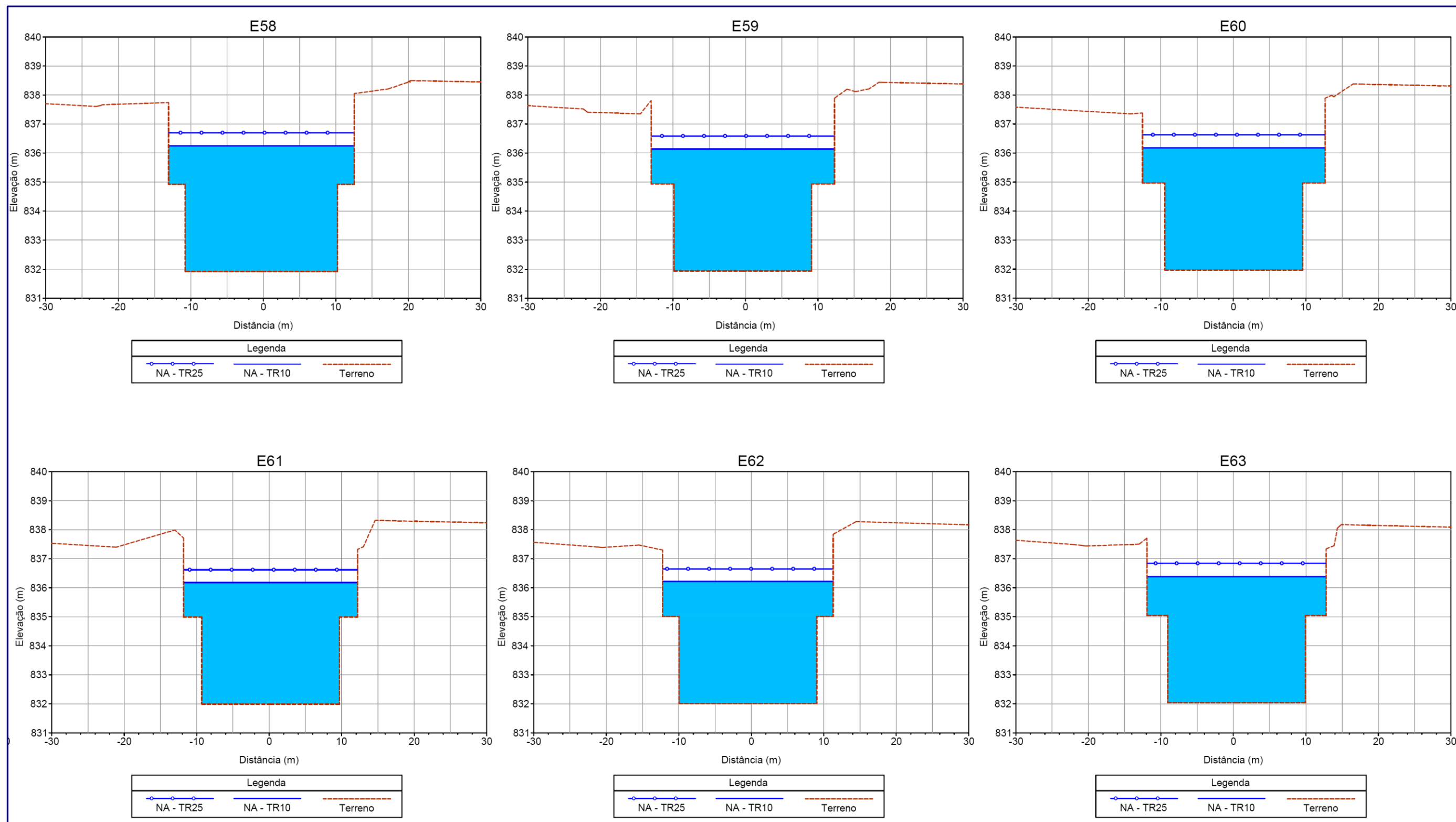


FIGURA 9-11: SEÇÕES DO HEC-RAS - RIO BENGALAS –E58-E63

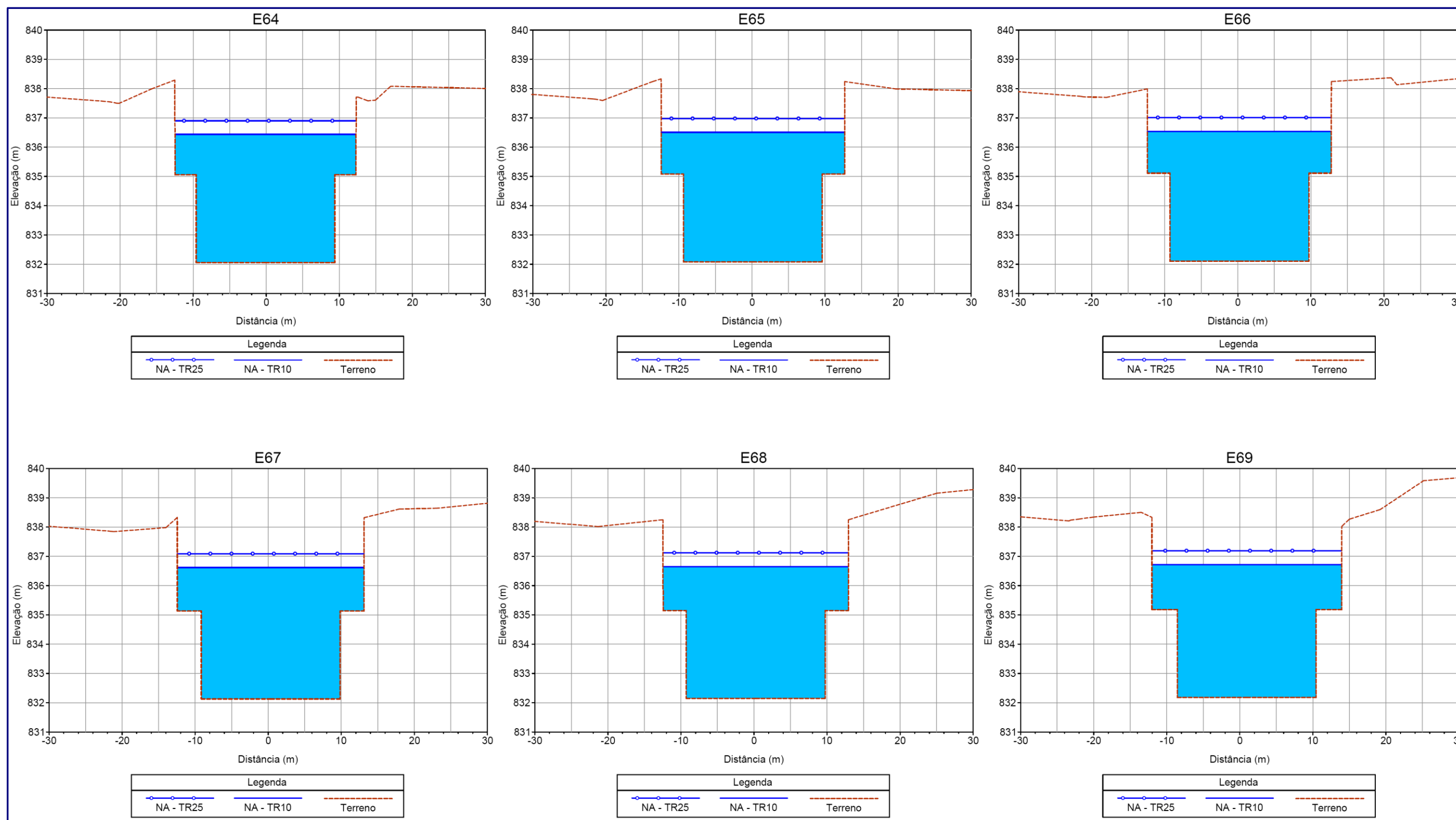


FIGURA 9-12: SEÇÕES DO HEC-RAS - RIO BENGALAS –E64-E69

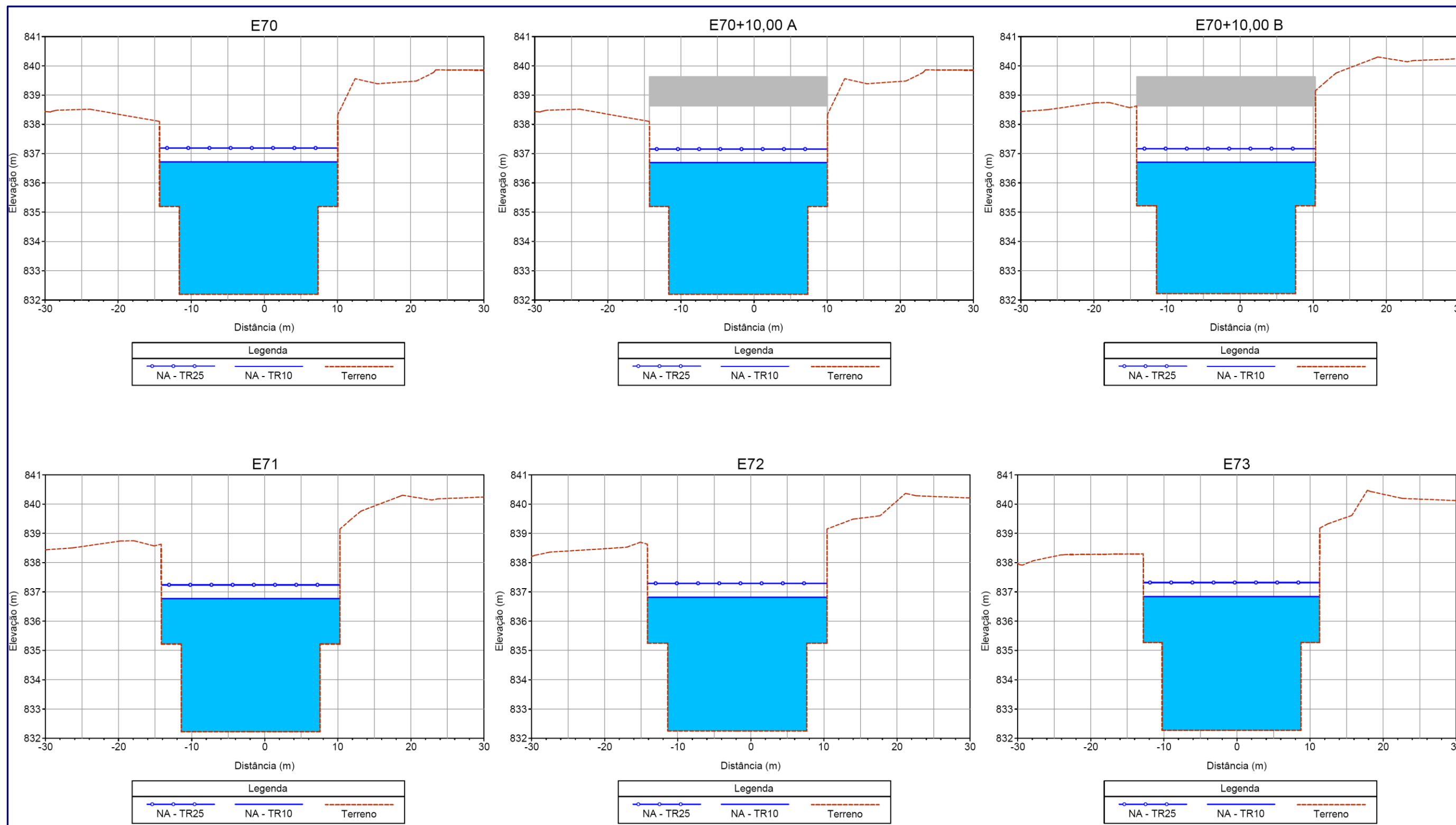


FIGURA 9-13: SEÇÕES DO HEC-RAS - RIO BENGALAS –E70-E73

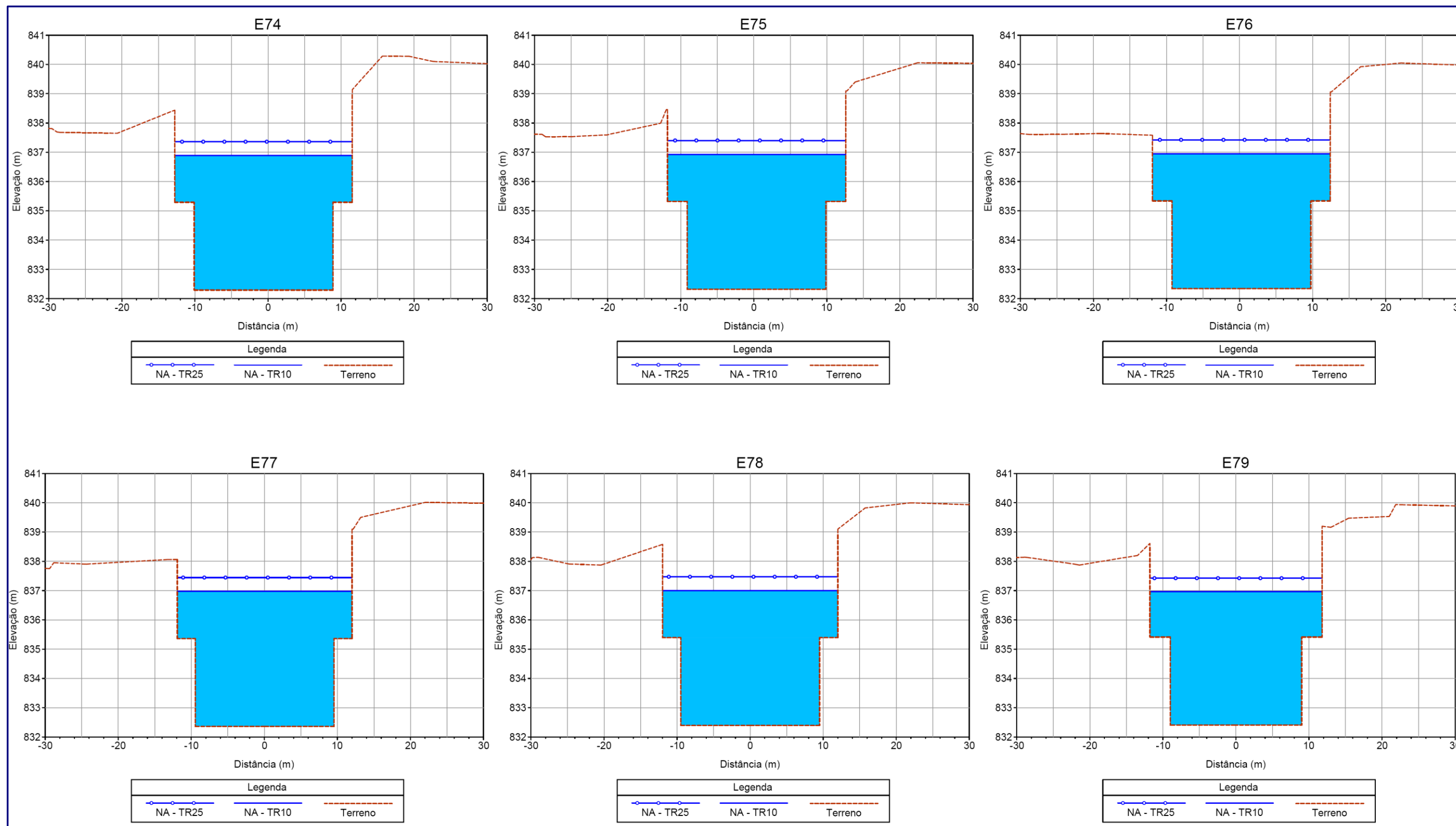


FIGURA 9-14: SEÇÕES DO HEC-RAS - RIO BENGALAS –E74-E79

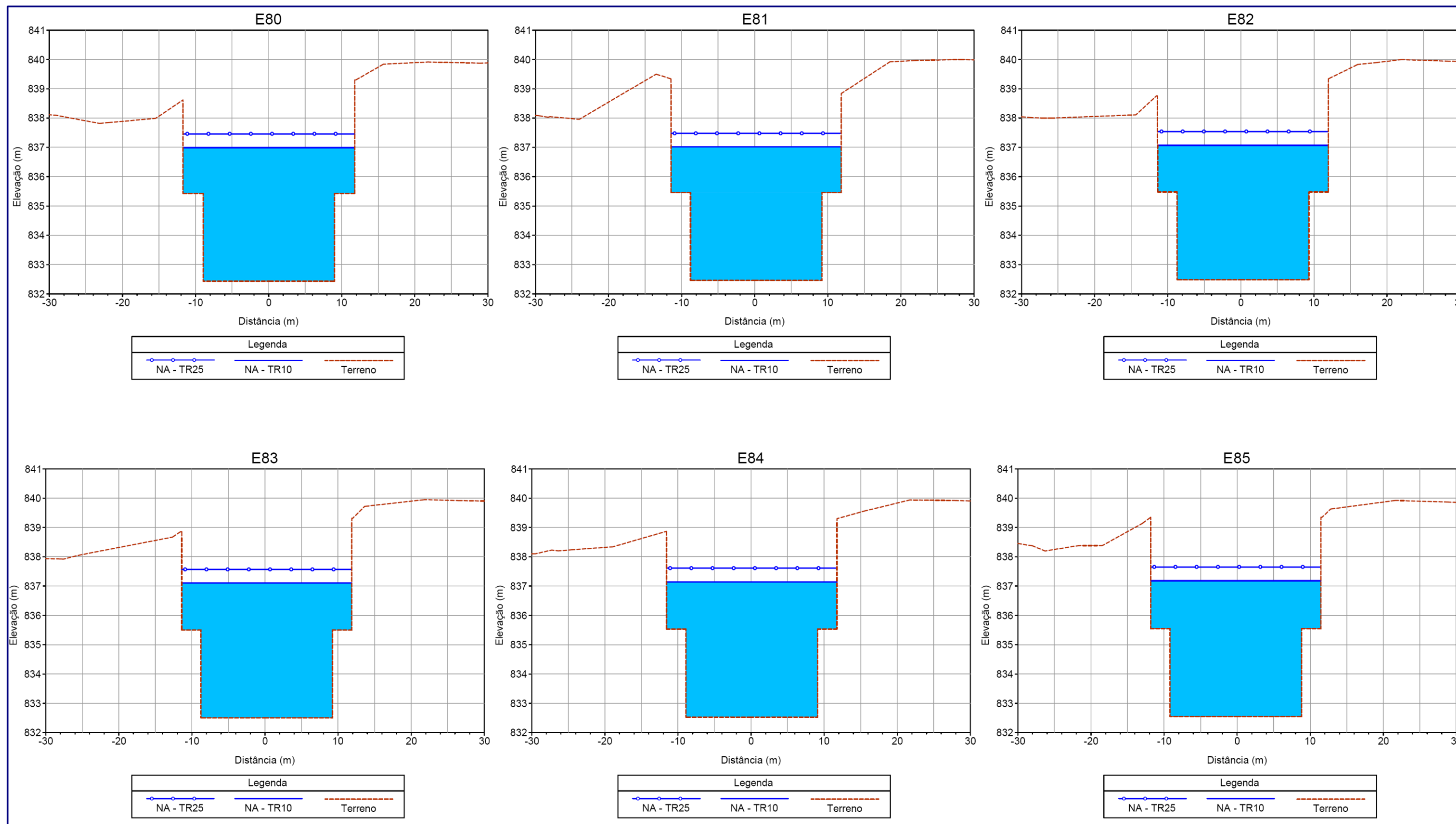


FIGURA 9-15: SEÇÕES DO HEC-RAS - RIO BENGALAS –E80-E85

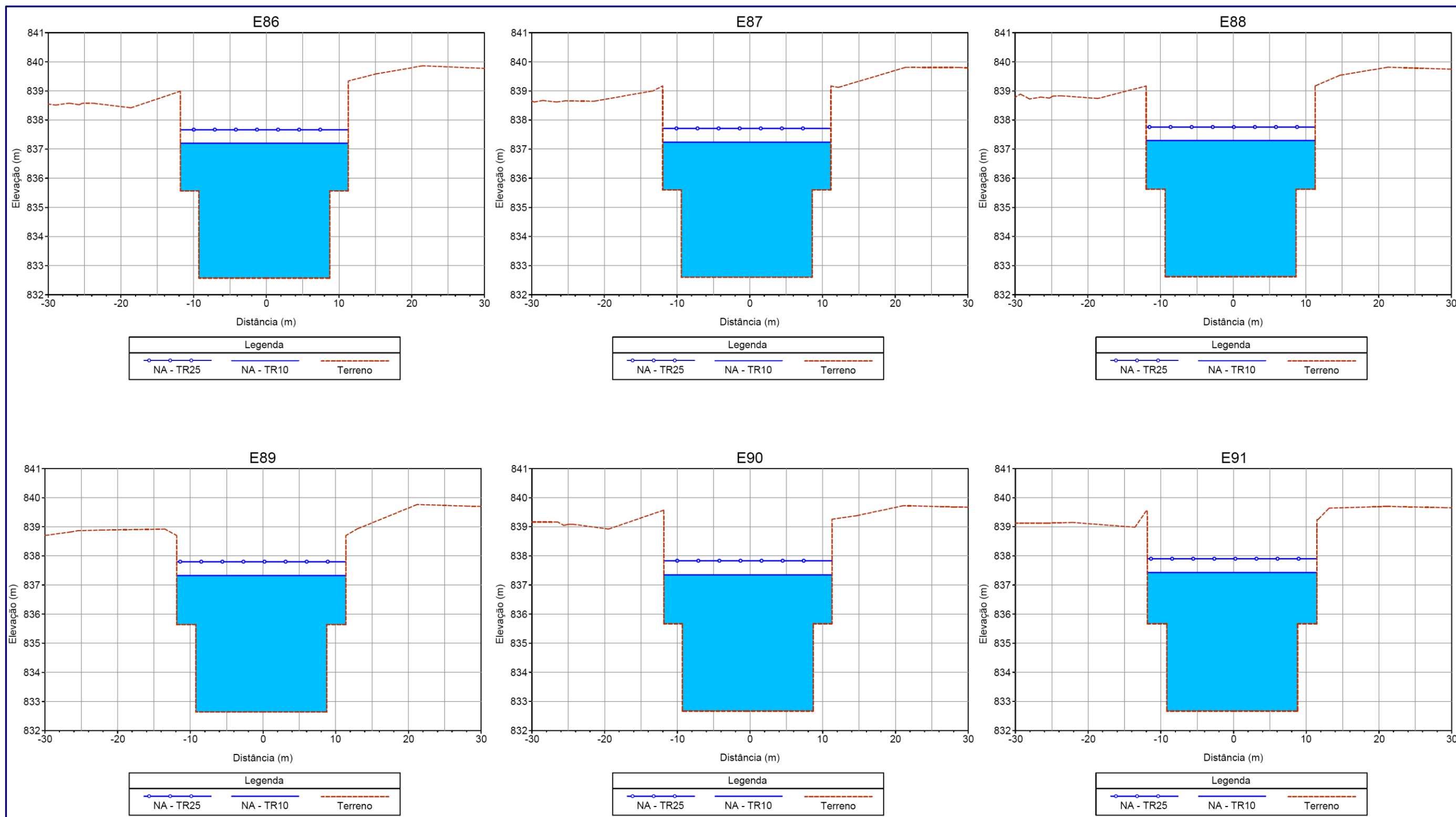


FIGURA 9-16: SEÇÕES DO HEC-RAS - RIO BENGALAS –E86-E91

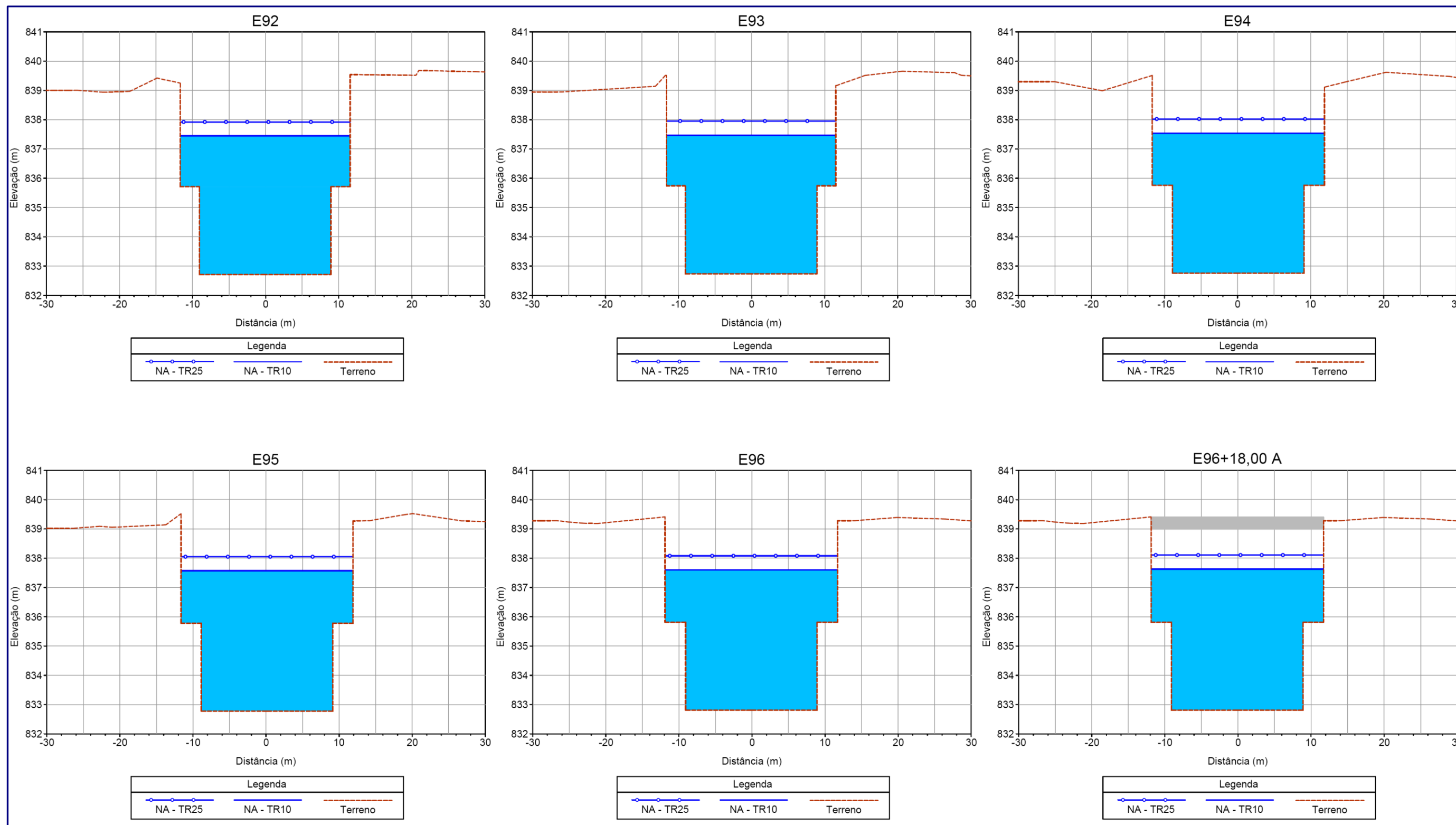


FIGURA 9-17: SEÇÕES DO HEC-RAS - RIO BENGALAS –E92-E96+18,00A

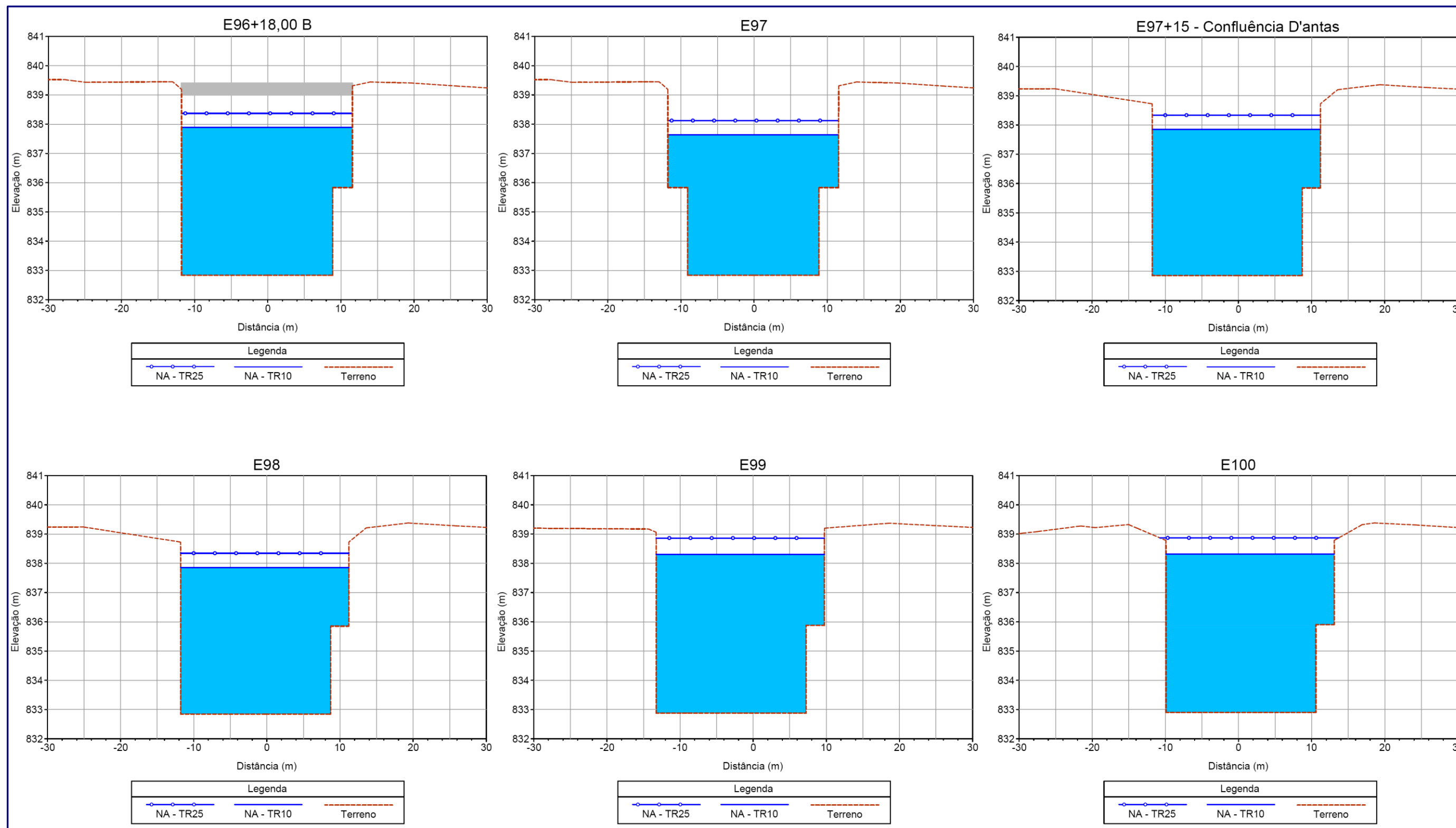


FIGURA 9-18: SEÇÕES DO HEC-RAS - RIO BENGALAS -E96+18,00B - E100

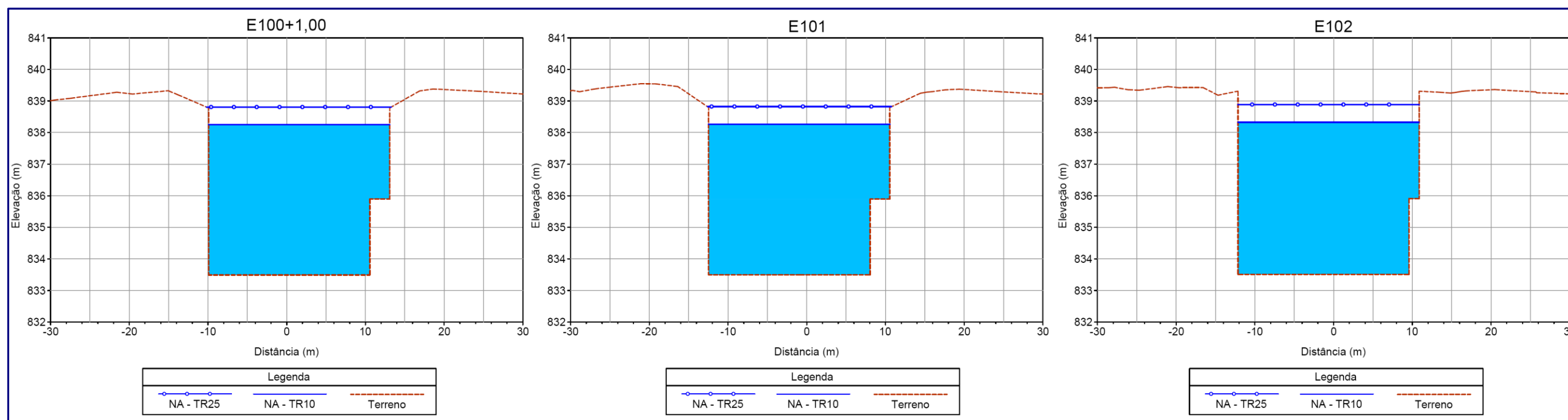


FIGURA 9-19: SEÇÕES DO HEC-RAS - RIO BENGALAS –E101+1,00– E102

PERFIS

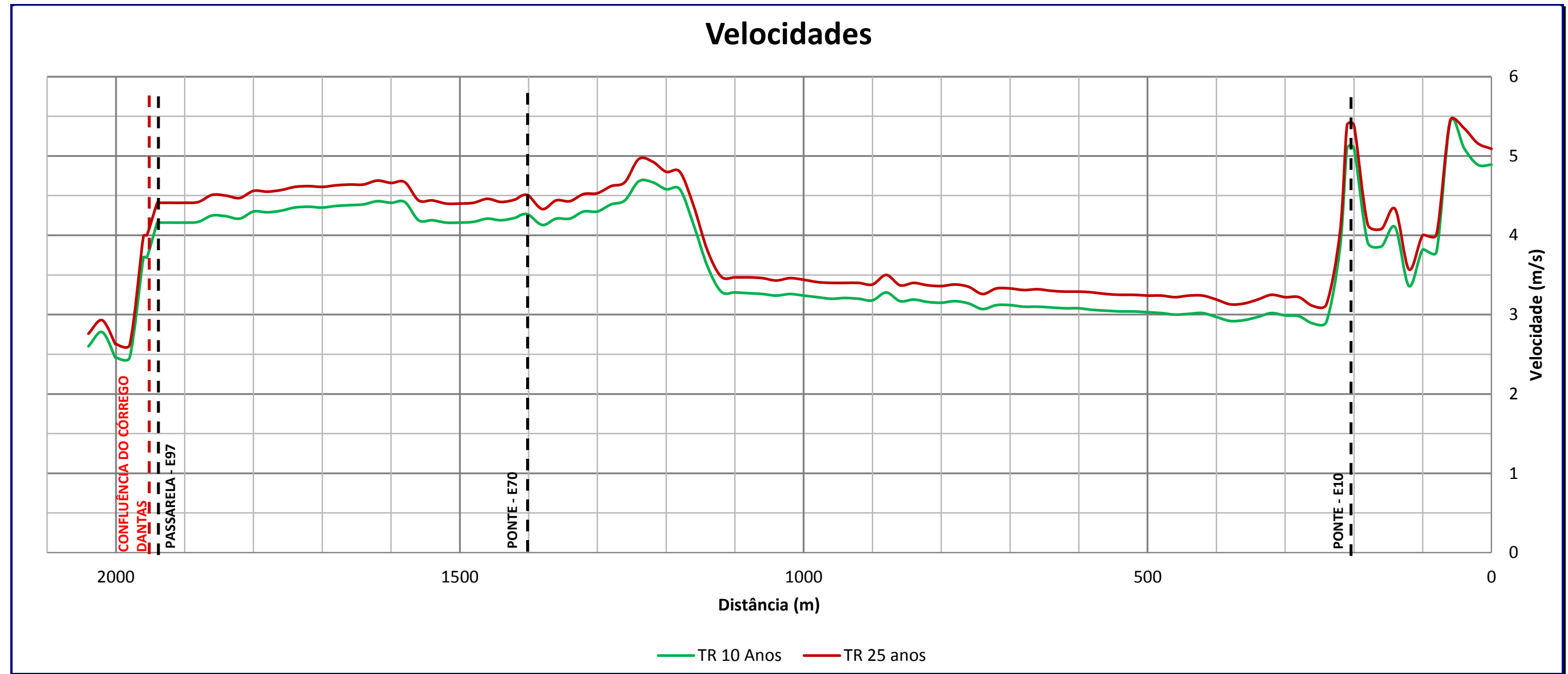


FIGURA 9-20: PERFIL DE VELOCIDADE DO RIO BENGALAS - E0-E99

PERFIL LONGITUDINAL DA LINHA D'ÁGUA - TR 10 anos

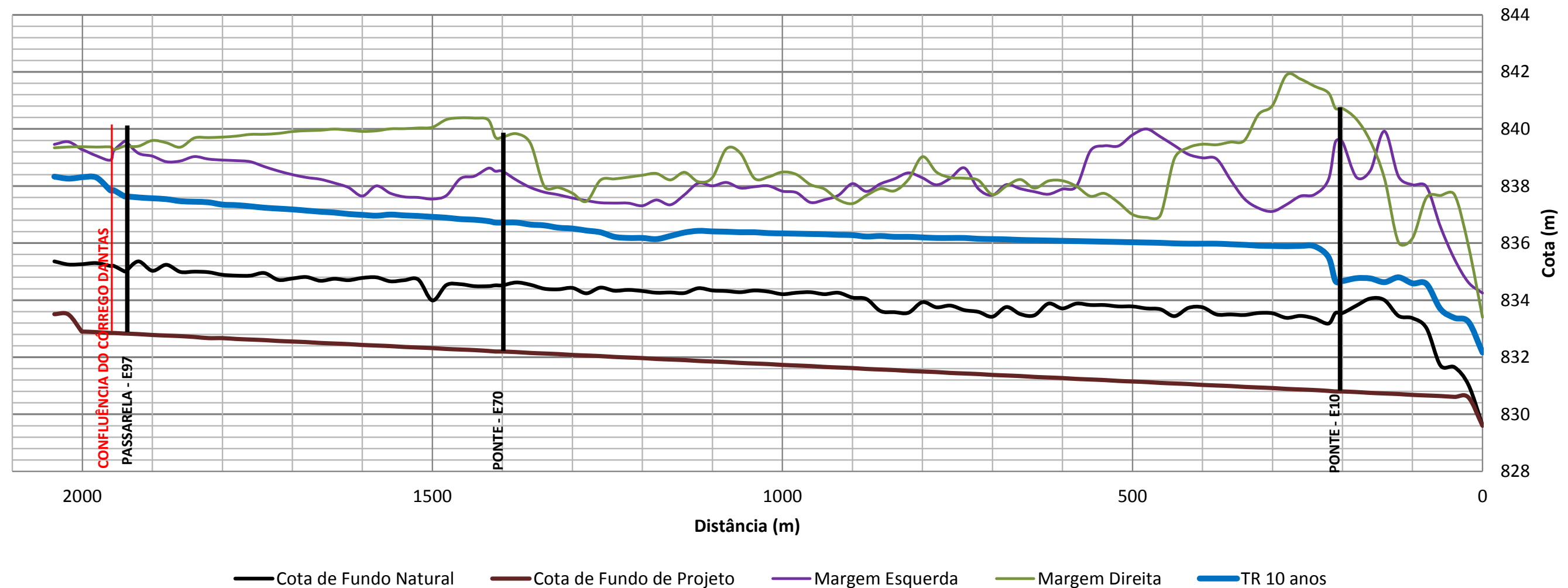


FIGURA 9-21: PERFIL LONGITUDINAL DO RIO BENGALAS – E0-E99 – TR 10 ANOS

PERFIL LONGITUDINAL DA LINHA D'ÁGUA - TR 25 anos

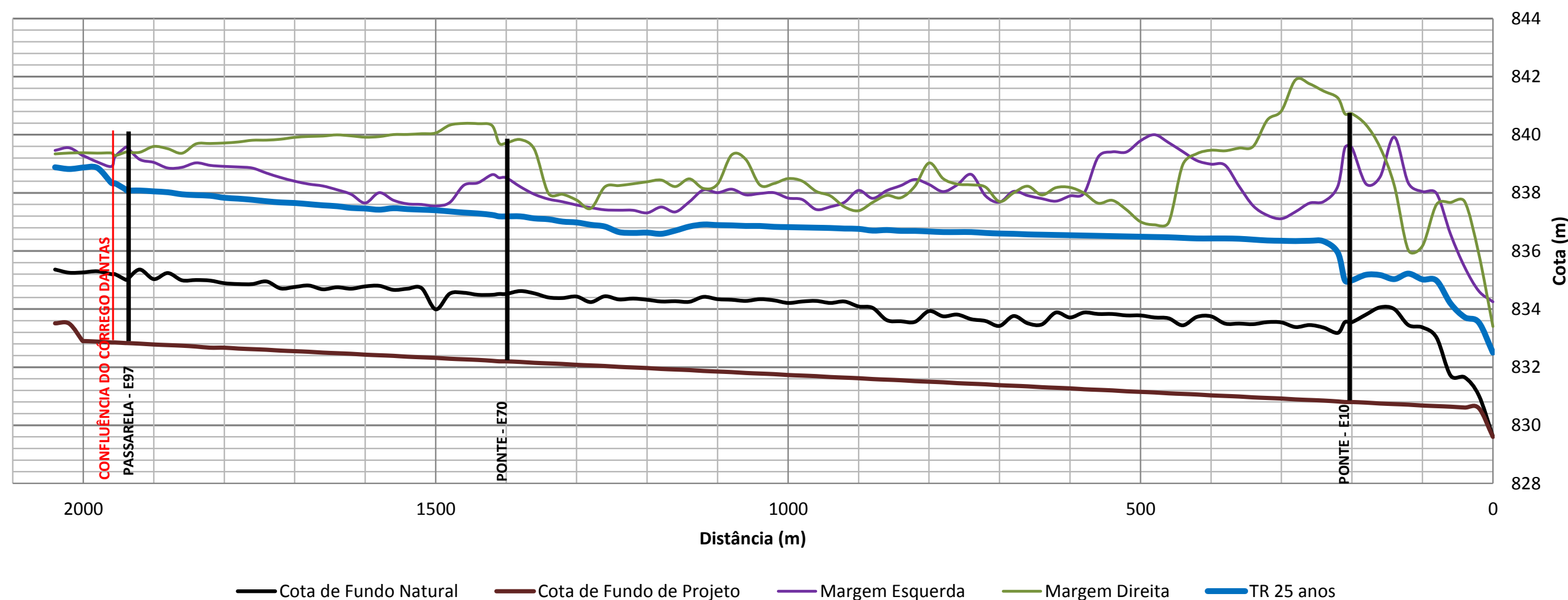


FIGURA 9-22: PERFIL LONGITUDINAL DO RIO BENGALAS – E0-E99 – TR 25 ANOS