



CONSÓRCIO AHE ITAOCARA

UHE ITAOCARA I

ESTUDO DE REMANSO COM FUNDO MÓVEL

0323-RT001-R01

- DEZEMBRO DE 2010 -

SUMÁRIO

Apresentação	1
1. Introdução.....	2
2. Dados Básicos	3
3. Premissas Adotadas	5
4. Calibração dos Modelos	7
4.1 Modelo de Transporte de Sedimentos (HEC-6).....	7
4.2 Modelo de Hidráulica Fluvial (HEC-RAS)	8
5. Resultados das Simulações	11
5.1 Modelo de Transporte de Sedimentos (HEC-6).....	11
5.2 Modelo de Hidráulica Fluvial (HEC-RAS)	12
6. Conclusões e Recomendações	15
Anexo 01 – Manchas de Inundação	16

Apresentação

Nova Lima, 03 de dezembro de 2010.

À

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais

At. Engenheira Fernanda Linhales de Freitas

CEMIG – Geração e Transmissão

Gerência de Eng. Civil da Expansão da Geração e Transmissão – EP/EC

Apresentamos, neste documento, os estudos de remanso com fundo móvel para o reservatório da UHE Itaipava I. O objetivo do estudo era avaliar o impacto da deposição sedimentar e dos níveis operativos na ocorrência de cheias no povoado de São Sebastião do Paraíba.

Partindo de premissas que deverão ainda ser validadas, por meio dos dados oriundos de campanhas hidrossedimentométricas, concluiu-se que não haveria alteração na ocorrência de cheias neste povoado, caso o NA máximo normal do reservatório tivesse sido mantido na cota 91,00 m, devendo, no entanto, ser realizada a adequação do sistema de drenagem pluvial da referida localidade, para sua correta operação.

Colocamo-nos à disposição de V.Sas. para prestar quaisquer informações adicionais.

Cordiais saudações,

POTAMOS ENGENHARIA E HIDROLOGIA LTDA.

Alameda da Serra, 420 – Conj. 304 – Vale do Sereno

34.000-000 – NOVA LIMA-MG

e-mail: geral@potamos.com.br

Tel. (31) 3297-6292

1. Introdução

O objetivo geral deste estudo foi analisar a distribuição dos sedimentos ao longo do reservatório da UHE Itaocara I e avaliar as consequências desta variação do leito sobre os níveis de água no povoado de São Sebastião do Paraíba. Secundariamente, foram consistidas algumas informações básicas utilizadas na fase de Projeto Básico, tais como: seções topobatimétricas, curva-chave de sedimento, distribuição granulométrica e curva-chave da seção fluviométrica referente ao estirão fluvial onde se localiza o povoado em análise.

Os resultados obtidos indicam que a manutenção do NA máximo normal de operação na elevação 91,0 m não alteraria as condições de cheias generalizadas no povoado, resultando apenas na necessidade de adequação do sistema de drenagem pluvial.

Ressalta-se que a principal premissa utilizada no estudo (relação entre a descarga sólida de arraste e a descarga sólida total – DSA/DST) não possui dados de campo para a devida validação. Portanto, foram realizadas simulações considerando diversas relações DSA/DST, associadas a inferências obtidas em campo e buscando a calibração do modelo de transporte de sedimento, de maneira a aproximar as simulações da situação real.

Campanhas hidrossedimentométricas no rio Paraíba do Sul serão realizadas com o intuito de validar essa premissa, podendo ser necessária a realização de novas simulações, caso a relação encontrada não esteja entre aquelas inferidas para o presente estudo.

Contudo, uma das relações DSA/DST utilizadas nas simulações corresponde à mesma utilizada na fase de Projeto Básico. Ainda assim, os resultados encontrados indicam a não interferência do barramento sobre os níveis de água no povoado de São Sebastião do Paraíba.

O presente documento foi sistematizado em cinco capítulos, além deste capítulo de Introdução:

- × **Capítulo (2)**, no qual são apresentados os dados básicos utilizados no estudo;
- × **Capítulo (3)**, no qual são apresentadas as premissas adotadas;
- × **Capítulo (4)**, no qual é apresentada a calibração dos modelos HEC-6 e HEC-RAS;
- × **Capítulo (5)**, no qual são apresentados os resultados das simulações;
- × **Capítulo (6)**, no qual são apresentadas as conclusões e recomendações dos estudos.

2. Dados Básicos

Os dados básicos utilizados nos estudos são apresentados a seguir:

- × Registros e informações dos postos hidrossedimentométricos apresentados na Tabela 2.1;

Tabela 2.1 – Descrição dos postos hidrossedimentométricos utilizados.

Código	Nome	Rio	Estado	Coordenadas		Área (km ²)
				Latitude (S)	Longitude (W)	
58480500	Juiz de Fora	Paraibuna	MG	21°46'42"	43°19'31"	981
58630002	Anta	Paraíba do Sul	MG	22°02'07"	42°59'27"	30.579
58653100	Itaocara II Formiga Montante	Paraíba do Sul	MG	21°45'39"	42°20'59"	32.805
58653300	São Sebastião do Paraíba	Paraíba do Sul	RJ	21°46'00"	42°23'00"	32.808
-	Itaocara Jusante	Paraíba do Sul	RJ	21°41'52"	42°07'22"	34.104 *

* Área calculada através das cartas do IBGE.

- × Série de vazões afluentes ao reservatório, concentração de sedimento em suspensão (mg/l) nos postos Itaocara Jusante e Itaocara II Formiga Montante, distribuição granulométrica do material de fundo, seções topobatimétricas ao longo do estirão fluvial de interesse e resumos de medição de descarga líquida, obtidos junto ao Projeto Básico elaborado pela PCE em abril de 2010;
- × Percentuais médios de areia, silte e argila do material de fundo da estação hidrossedimentométrica de Anta, localizada no rio Paraíba do Sul, obtidos da publicação *Diagnóstico das Condições Sedimentológicas dos Principais Rios Brasileiros* (Eletrobrás, 1998);
- × Relação entre descarga sólida de arraste e descarga sólida total da estação hidrossedimentológica de Juiz de Fora, localizada no rio Paraibuna, cabeceira da bacia do rio Paraíba do Sul, cujas informações foram extraídas da publicação *Diagnóstico das Condições Sedimentológicas dos Principais Rios Brasileiros* (Eletrobrás, 1998);
- × Seções topobatimétricas ao longo do reservatório e topografia do povoado de São Sebastião do Paraíba, levantados pela VERTENTE ENGENHARIA em setembro de 2010;
- × Arquivos base dos modelos HEC-6 e HEC-RAS utilizados nos estudos de Projeto Básico elaborados pela PCE em abril de 2010.

Ressalta-se que a seção 14.5 do Projeto Básico não foi utilizada no estudo por ter sido obtida em escritório. No entanto, foram acrescentadas as seções 13.5A, 14.5A, 15.5B e 15.5A, com o intuito de melhor representar o controle hidráulico existente naquele estirão fluvial. A Figura 2.1 apresenta a localização em planta das seções topobatimétricas alteradas e a Figura 2.2 apresenta o perfil longitudinal resultante dessas alterações.

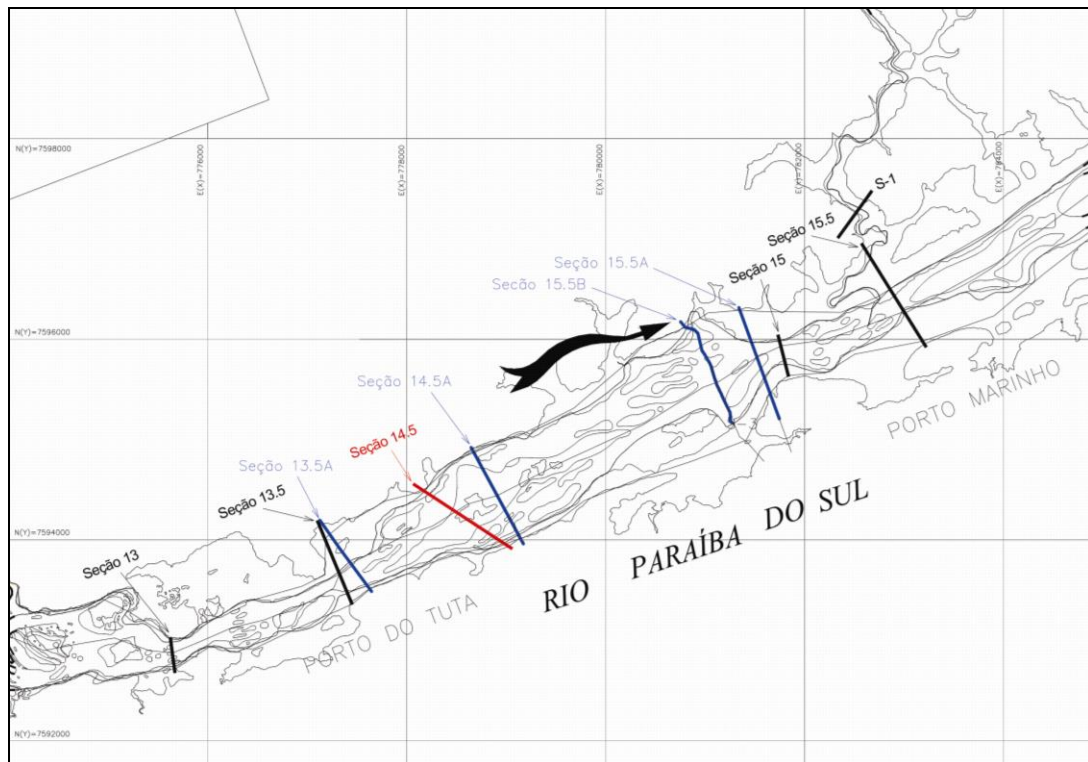


Figura 2.1 – Localização das seções topobatimétricas alteradas.

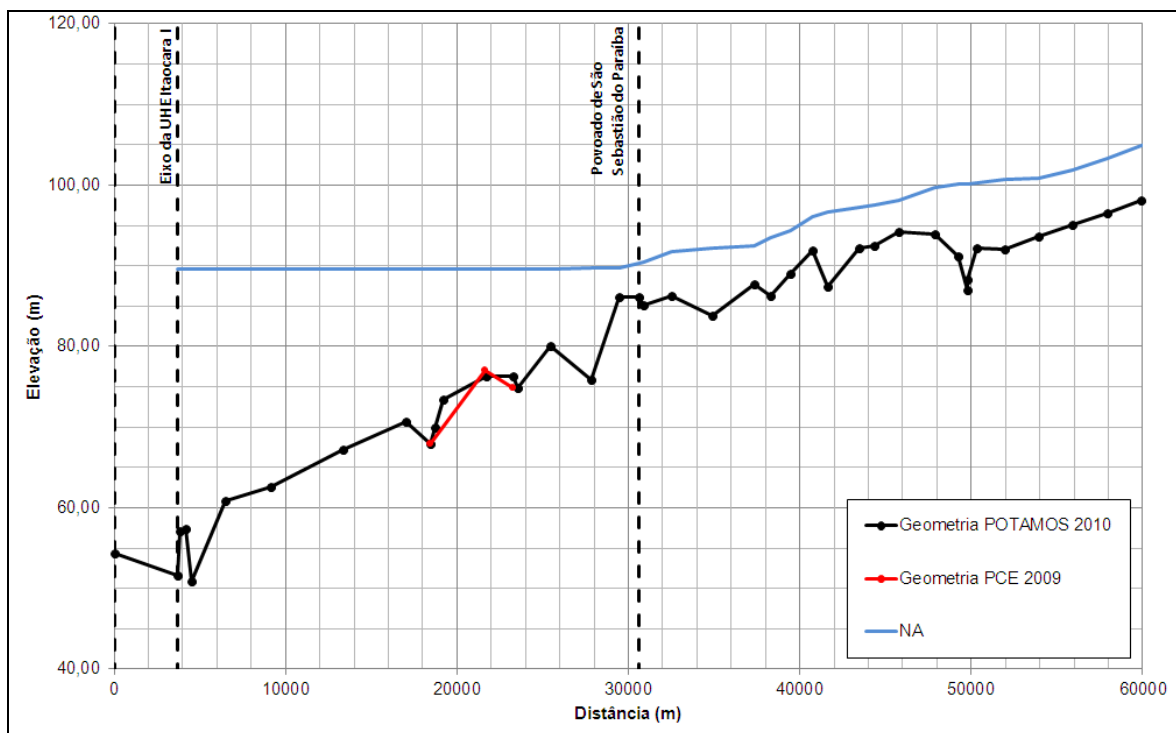


Figura 2.2 – Perfil longitudinal resultante das alterações de geometria.

3. Premissas Adotadas

Os estudos realizados partiram de premissas fundamentadas no estudo de Projeto Básico e em cenários de simulação que pudessem aproximar as modelagens hidráulicas e sedimentológicas da situação real. As premissas estão apresentadas em subitens, com suas respectivas justificativas:

(a) Curva-chave de Sedimento

A curva-chave de sedimento apresentada no estudo de Projeto Básico (curva verde na Figura 3.1) foi calculada a partir das medições de concentração de sedimento em suspensão realizadas nos postos hidrossedimentológicos do rio Paraíba do Sul em Itaocara Jusante e Itaocara Il Formiga Montante. Para o cálculo da descarga sólida em suspensão, a metodologia adotada foi a de multiplicar a descarga líquida pela concentração do material suspenso, enquanto para o cálculo da descarga sólida de arraste foi adotada a metodologia de Colby (1957). No entanto, apesar desta curva ter sido apresentada no relatório de Projeto Básico, a curva-chave de sedimento efetivamente utilizada no modelo de transporte de sedimento, obtida junto ao arquivo base do modelo HEC-6 usado nos estudos de Projeto Básico, está transladada em relação à primeira, apresentando, para uma mesma vazão, descarga sólida total cerca de 100 vezes menor (ver curva vermelha na Figura 3.1). Suspeita-se que esta alteração tenha sido realizada devido a problemas de instabilidade numérica do modelo HEC-6, que provavelmente ocorreram devido a um engano na inserção da distribuição granulométrica total no modelo, onde devem ser utilizados valores decimais ao invés de percentuais (ex.: 0,125 ao invés de 12,5 %). A consequência da adoção de valores cerca de 100 vezes superiores àqueles que deveriam ser utilizados é a geração de descargas sólidas totais proporcionalmente superiores, o que gera instabilidade no modelo, razão pela qual a curva-chave de sedimento foi deslocada, de maneira a reduzir a produção de sedimento e estabilizar o modelo.

A curva-chave apresentada na cor azul na Figura 3.1 corresponde a um acréscimo de 5% da descarga sólida em suspensão, alcançado, portanto, uma relação DSA/DST igual a 5%, percentual citado no relatório de Projeto Básico como sendo aquele utilizado nas simulações de remanso com fundo móvel. Esta curva foi gerada pela POTAMOS para comparar as curvas-chave de sedimento utilizadas nos estudos de Projeto Básico.

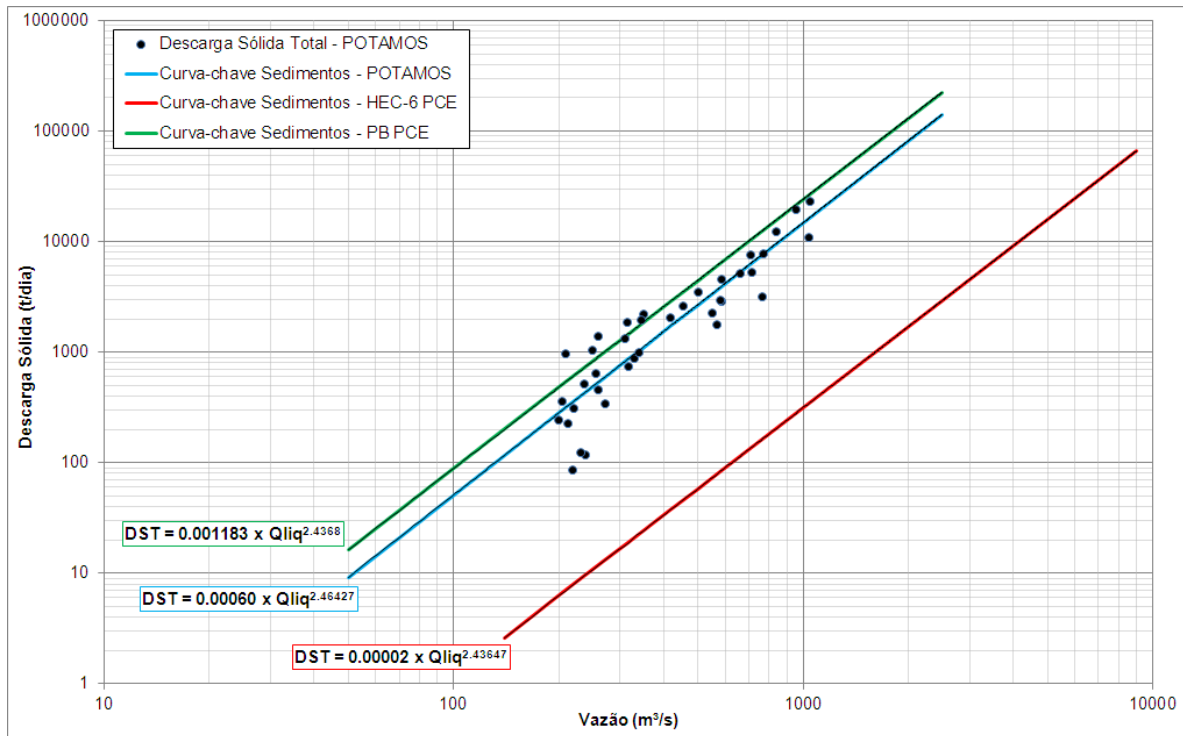


Figura 3.1 – Curvas-chave de sedimento analisadas.

(b) Curva Granulométrica

A granulometria adotada nos estudos de Projeto Básico se baseou, segundo o texto daquele documento, na premissa de DSA/DST igual a 5% e nas medições de campo. No entanto, no presente estudo, não foi possível reproduzir a curva granulométrica adotada no modelo HEC-6 a partir da metodologia descrita no texto de Projeto Básico. Assim, uma nova curva granulométrica foi gerada a partir da distribuição granulométrica do material em suspensão do posto hidrossedimentológico de Anta, localizado no rio Paraíba do Sul, a montante do empreendimento em questão, e da distribuição granulométrica apresentada no Projeto Básico para o sedimento de arraste.

(c) Cenários de Simulação

Partindo do princípio de simples inferência da relação DSA/DST, foram realizadas simulações adotando os valores de 5%, 10%, 15%, 33% e 50% para esta relação, de maneira a representar uma ampla faixa de valores possíveis e esperados (os três primeiros) e as relações mínimas e máximas (os últimos dois) encontradas no único posto hidrossedimentológico com medição de descarga de arraste na bacia do rio Paraíba do Sul (localizado no rio Paraibuna em Juiz de Fora, região de cabeceira do rio Paraíba do Sul, com comportamento sedimentológico bastante distinto daquele encontrado no estirão fluvial onde está inserido o reservatório da UHE Itacara I).

(d) Curva de Descarga do Vertedouro

A curva de descarga do vertedouro controlado por comportas, utilizada nas simulações de remanso, pressupõe a manutenção do NA máximo normal até a vazão milenar, a partir da qual

a curva de descarga é representada pela curva do vertedouro em soleira livre até atingir a vazão decamilenar. A Figura 3.2 mostra a curva de descarga utilizada nos estudos.

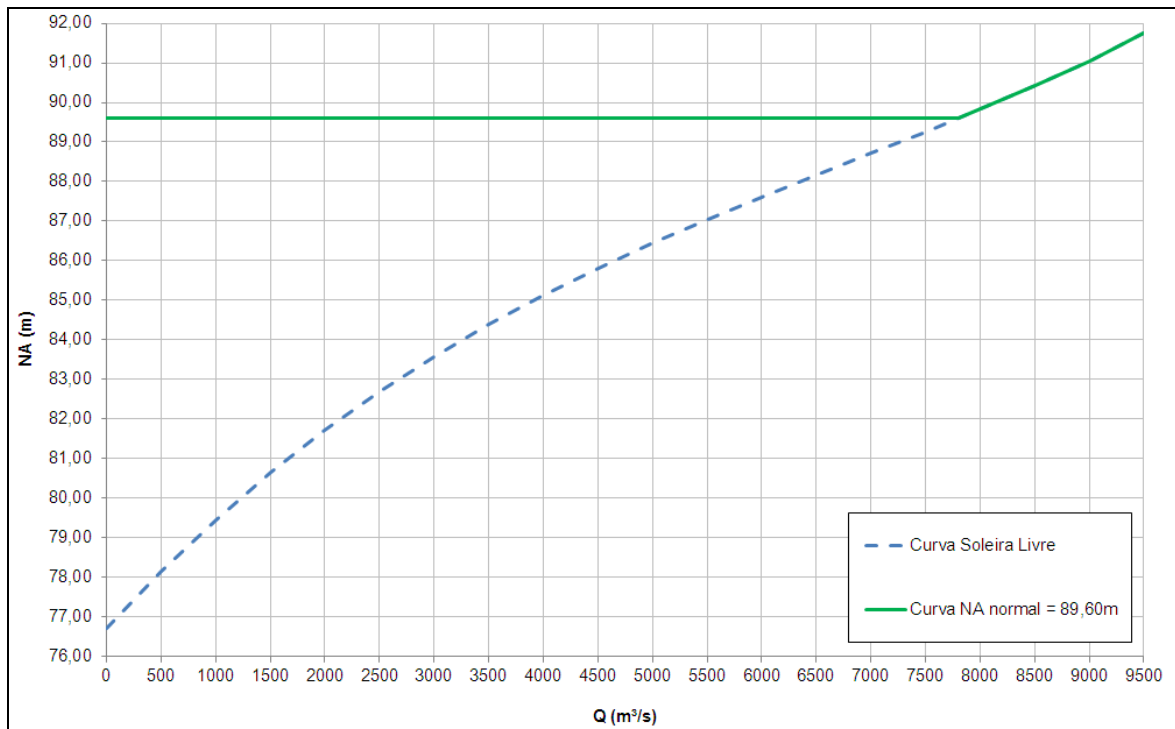


Figura 3.2 – Curva de descarga do vertedouro controlado por comportas.

4. Calibração dos Modelos

Os modelos matemáticos foram calibrados de maneira a apresentarem respostas condizentes com a física da natureza sedimentológica e hidráulica. A descrição da calibração dos modelos está apresentada nos subitens a seguir.

4.1 Modelo de Transporte de Sedimentos (HEC-6)

A calibração deste modelo parte da premissa de que, em condições médias de longo termo, os grandes rios estão em equilíbrio morfológico, não devendo apresentar deposição de sedimento ou erosão do leito nas simulações sem reservatório.

A tentativa de calibração do modelo HEC-6 foi realizada para os cinco cenários discutidos no Capítulo 3 e os resultados encontrados para 30 anos de simulação estão apresentados na Figura 4.1. Os resultados indicam que os cenários considerando a relação DSA/DST igual a 5%, 10% e 15% apresentam apenas um ponto de deposição, com volumes totais reduzidos, indicando que, para estes cenários, o modelo pode ser considerado calibrado.

Os resultados encontrados para os cenários com a relação DSA/DST igual a 33% e 50% apresentaram elevados volumes de deposição em quatro pontos distintos do trecho simulado, indicando que, para estes percentuais de arraste, o modelo não converge para a situação de equilíbrio morfológico.

Conclui-se, portanto, que a premissa adotada inicialmente para a relação de DSA/DST possui, além de inferências de campo, base técnica para ser adotada.

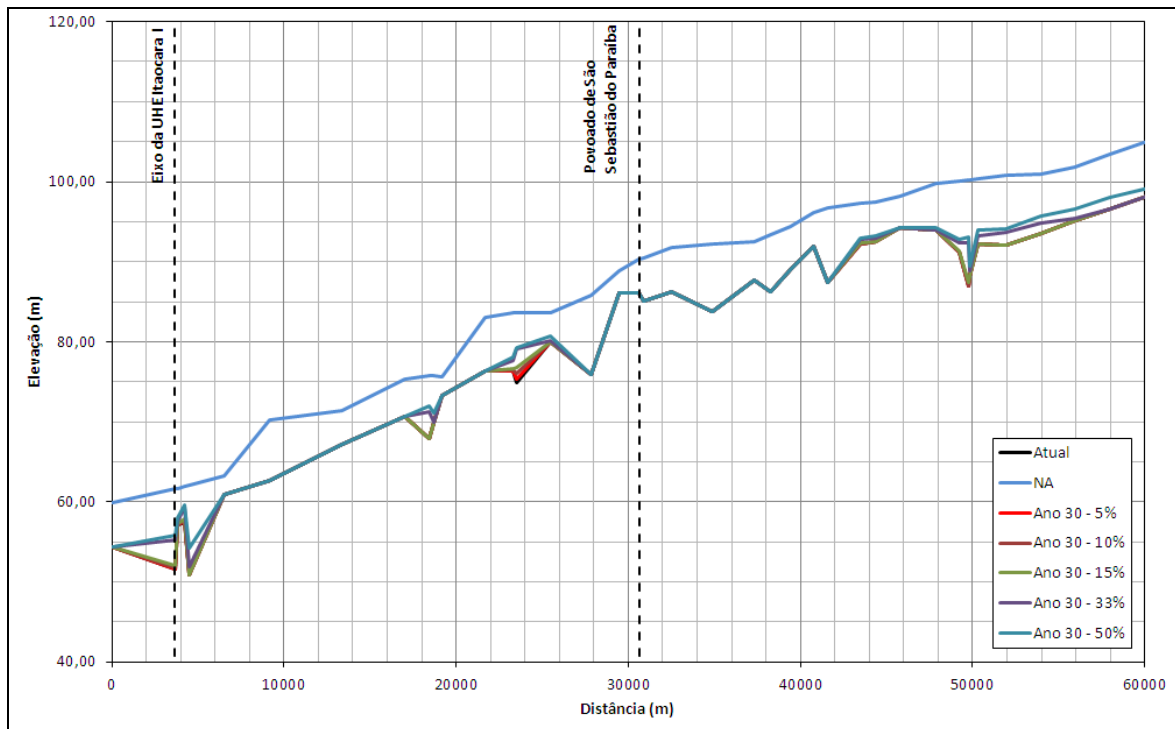


Figura 4.1 – Perfis de calibração do modelo HEC-6 para os cinco cenários simulados.

4.2 Modelo de Hidráulica Fluvial (HEC-RAS)

A calibração do modelo matemático de hidráulica fluvial é realizada a partir de medições de descarga líquida e obtenção dos respectivos perfis de linha d'água no trecho fluvial de interesse. Busca-se então, para uma determinada condição de vazão, a aproximação entre o perfil de escoamento simulado e o correspondente perfil de linha d'água obtido em campo, através de sucessivas iterações variando o coeficiente de rugosidade de Manning.

As Figuras 4.2, 4.3 e 4.4 apresentam os perfis de escoamento resultantes da calibração, para os trechos a montante do eixo da UHE Itaipava I, canal esquerdo e canal direito da Ilha Serena, respectivamente.

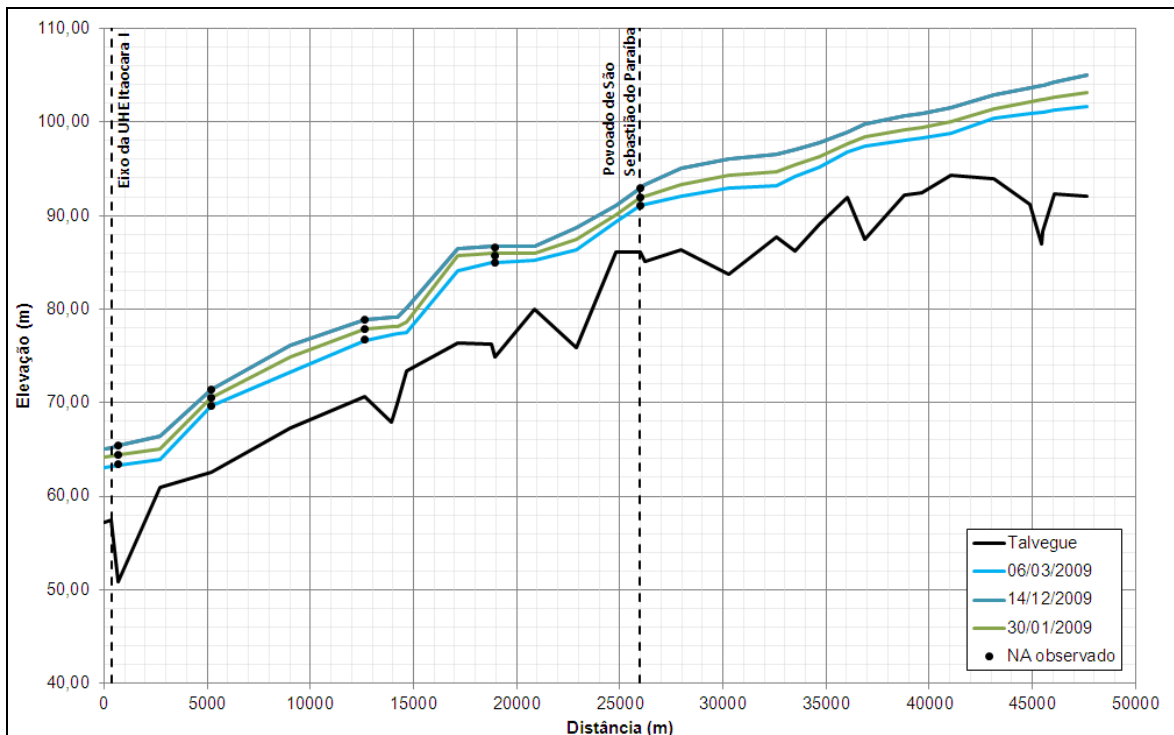


Figura 4.2 – Perfis de calibração do modelo hidráulico para o trecho do reservatório da UHE Itacara I.

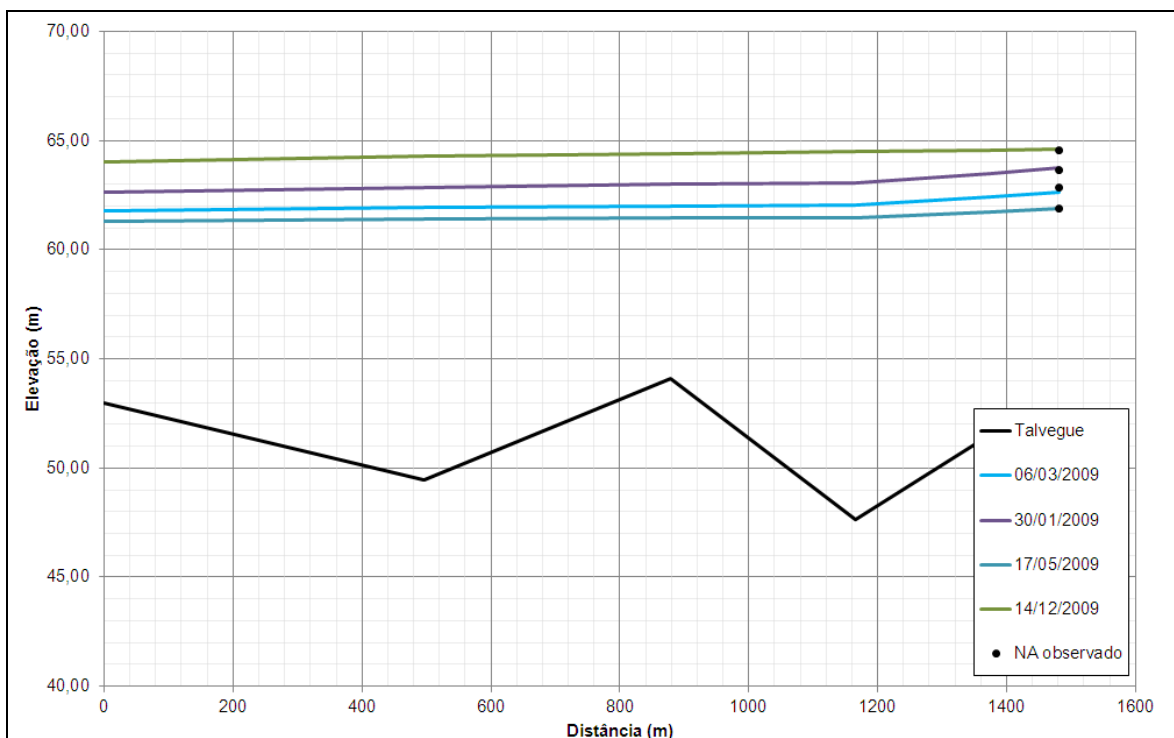


Figura 4.3 – Perfis de calibração do modelo hidráulico para o canal esquerdo da Ilha Serena.

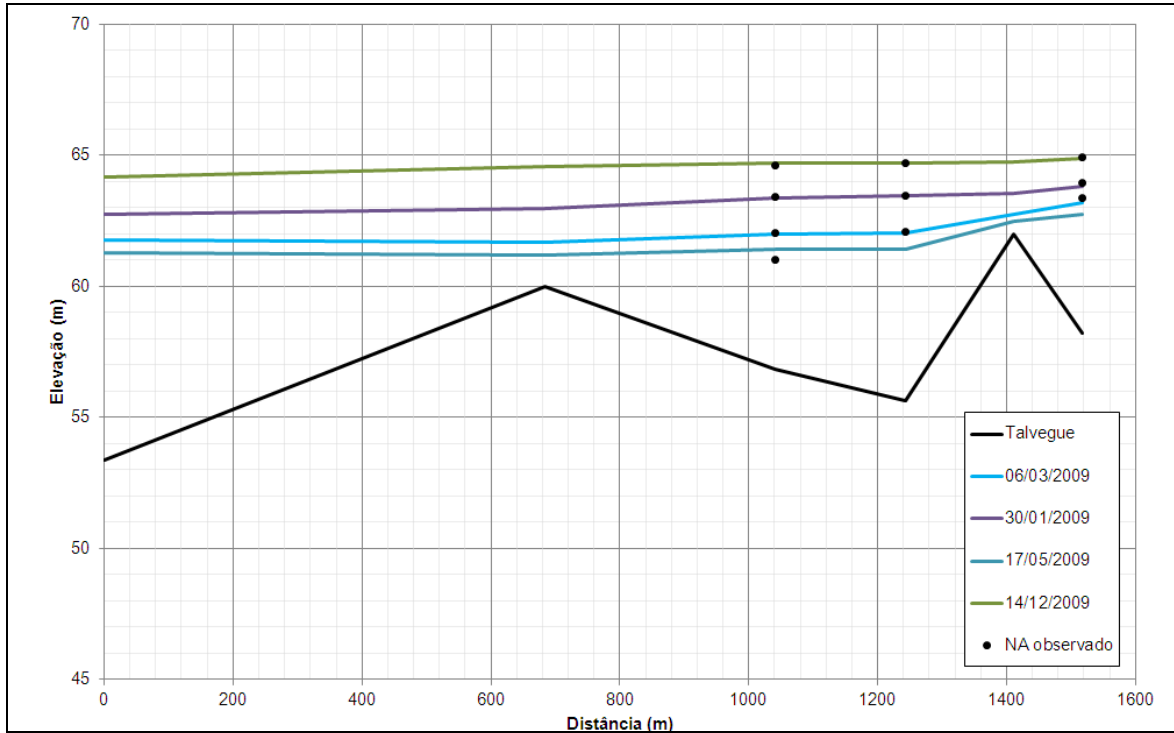


Figura 4.4 – Perfis de calibração do modelo hidráulico para o canal direito da Ilha Serena.

Além dos perfis de escoamento, foi feita uma análise da curva-chave na seção do povoado de São Sebastião do Paraíba. Foram comparados os resumos de descarga líquida e a curva-chave obtida pelos modelos HEC-RAS elaborados na fase de Projeto Básico e no presente estudo, além de avaliar também a curva-chave do posto fluviométrico de São Sebastião do Paraíba, apresentada no texto do Projeto Básico (ver Figura 4.5).

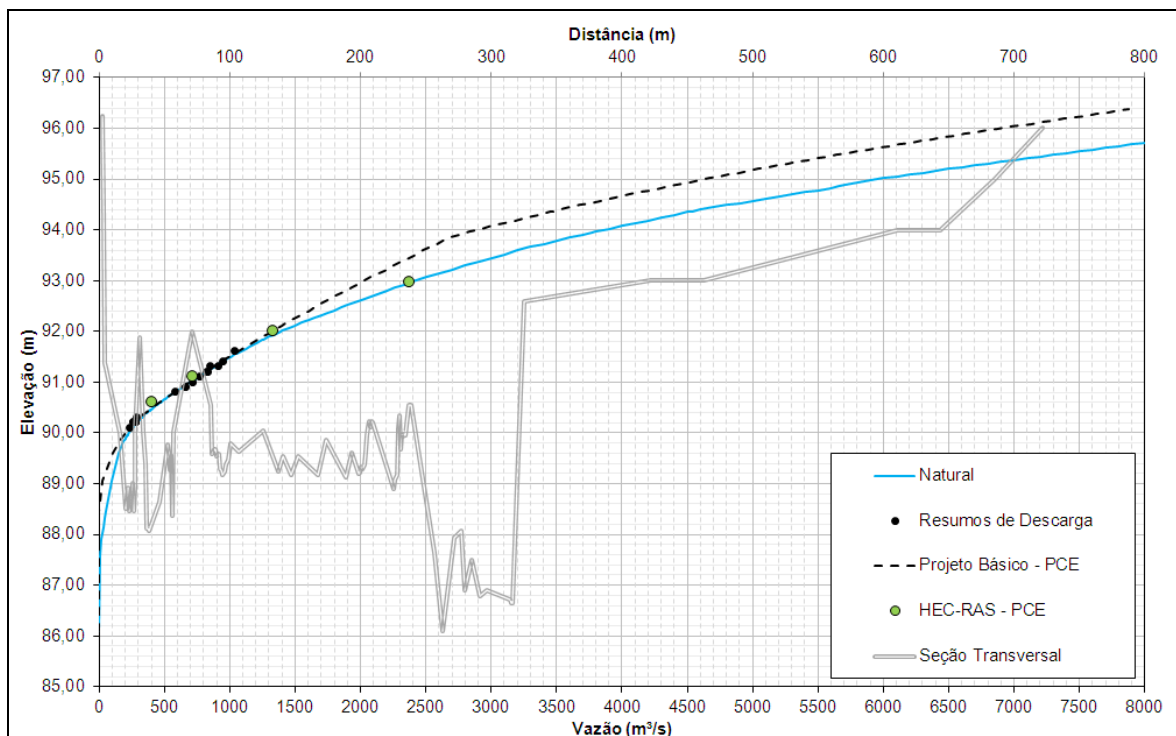


Figura 4.5 – Curva-chave da seção do povoado de São Sebastião do Paraíba.

A Figura 4.5 ressalta que as curvas-chave obtidas pelo HEC-RAS do Projeto Básico, HEC-RAS do presente estudo e a curva-chave construída a partir das medições de descarga líquida para o posto fluviométrico de São Sebastião do Paraíba, se adequam bem, no ramo inferior, aos resumos de descarga disponíveis.

No entanto, ao analisar o ramo superior das curvas, a partir do qual são feitas as avaliações das cotas de restrição para inundações no povoado de São Sebastião do Paraíba, as curvas-chave obtidas pelo HEC-RAS do Projeto Básico e do presente estudo estão posicionadas abaixo da curva-chave ajustada às medições e extrapolada pelo método de Stevens. No entanto, para a aplicação deste método, é recomendável a existência de alguma medição de vazão em cotas altas, o que de fato não ocorre para esta seção. Admite-se, conseqüentemente, que as simulações realizadas no modelo HEC-RAS aproximam-se mais fielmente à realidade, sendo, portanto, esta a curva-chave utilizada no presente estudo para avaliação das cotas de restrição no povoado de São Sebastião do Paraíba.

5. Resultados das Simulações

Os resultados encontrados indicaram volumes de depósito de sedimento pouco expressivos ao longo do reservatório para as condições de 5%, 10% e 15% de DSA/DST, sendo esta a faixa de valores esperada. Conseqüentemente, os resultados das simulações hidráulicas indicaram que a manutenção do NA máximo normal na elevação 91,0 m não afetaria as condições de inundação na seção do povoado de São Sebastião do Paraíba.

Os subitens a seguir detalham os resultados encontrados pelos modelos de transporte de sedimento e de hidráulica fluvial.

5.1 Modelo de Transporte de Sedimentos (HEC-6)

O modelo de transporte de sedimentos gerou perfis de deposição após 30 anos de operação do reservatório. Os resultados encontrados para as relações DSA/DST esperadas apresentaram pequenos volumes de deposição, enquanto para os cenários mais críticos e menos prováveis, os volumes de depósito aumentaram significativamente, conforme pode ser observado na Figura 5.1.

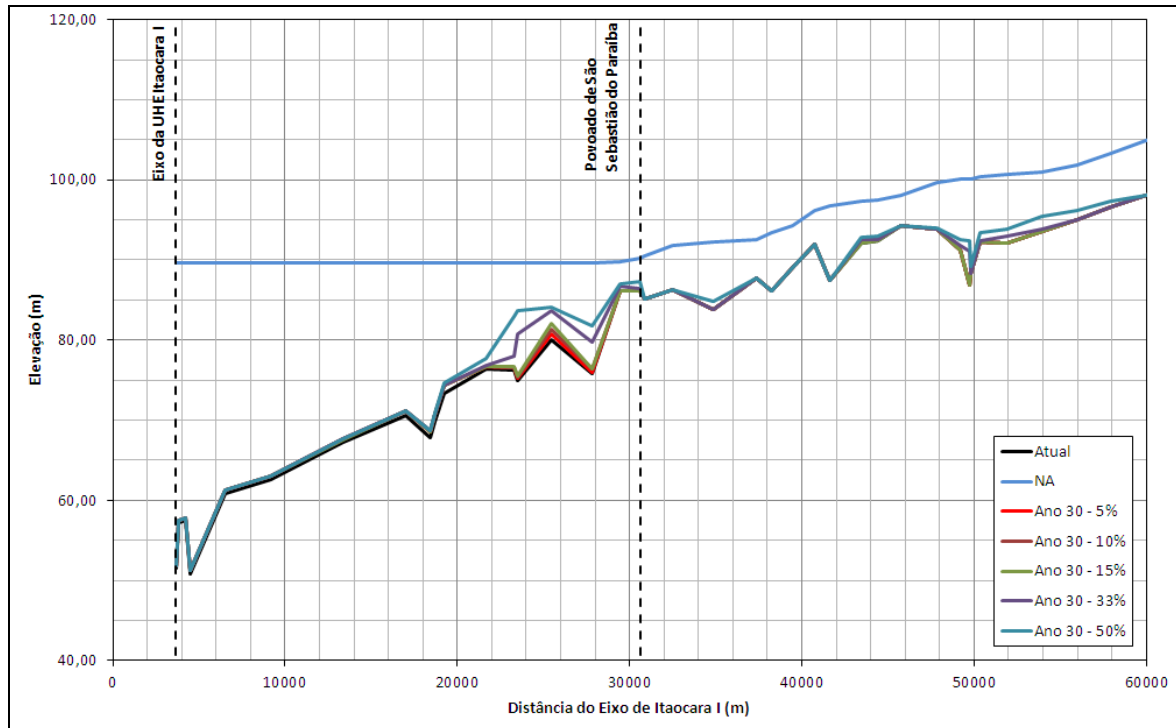


Figura 5.1 – Perfis de deposição para os diversos cenários simulados.

5.2 Modelo de Hidráulica Fluvial (HEC-RAS)

As simulações hidráulicas foram realizadas para os cinco cenários da relação DSA/DST e para três níveis operativos distintos, sendo o primeiro aquele utilizado no Projeto Básico (89,60 m), o segundo na cota 90,50 m e o terceiro na cota original do empreendimento (91,00 m).

As curvas de descarga utilizadas na alteração do nível operativo estão apresentadas na Figura 5.2 e se basearam na premissa de que o vertedouro com comportas é capaz de controlar o nível do reservatório até que se alcance a vazão correspondente ao NA máximo normal na curva de descarga com soleira livre.

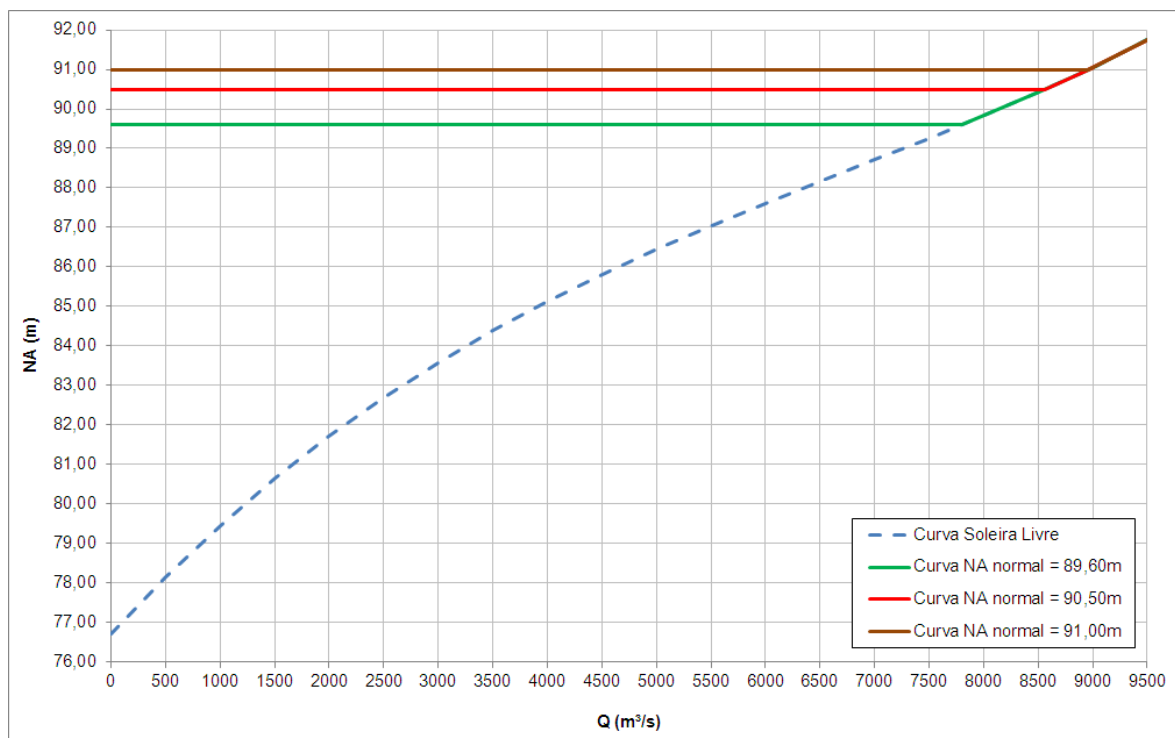


Figura 5.2 – Curvas de descarga utilizadas nas simulações de hidráulica fluvial.

As simulações realizadas, cujos resultados estão representados pelas respectivas curvas-chave na seção do povoado de São Sebastião do Paraíba (ver Figuras 5.3, 5.4 e 5.5) e pelas manchas de inundação apresentadas no Anexo 01, indicam que:

- × A utilização das relações com DSA/DST iguais a 5%, 10% e 15% não resultam em alteração da curva-chave natural no povoado de São Sebastião do Paraíba para cotas superiores à cota de restrição do povoado, apresentando praticamente o mesmo traçado para qualquer nível operativo entre 89,60 m e 91,00 m;
- × A utilização das relações com DSA/DST iguais a 33% e 50% afeta significativamente a curva-chave no povoado de São Sebastião do Paraíba, ressaltando a necessidade de validação desta premissa através de campanhas hidrossedimentométricas;
- × Para as simulações com NA máximo normal na cota 89,60 m, não há interferência dos níveis d'água na drenagem pluvial e esgotamento sanitário do povoado;
- × Para as simulações com NA máximo normal nas cotas 90,50 m e 91,00 m, há afogamento permanente da drenagem pluvial e esgotamento sanitário do povoado, havendo, portanto, a necessidade de adequação da infra-estrutura de drenagem e esgotamento. Nesses cenários, espera-se ainda a elevação permanente do lençol d'água na região, o que pode afetar a estabilidade das fundações e superestruturas das edificações existentes no povoado, devendo ser propostas medidas que garantam a segurança estrutural das mesmas.

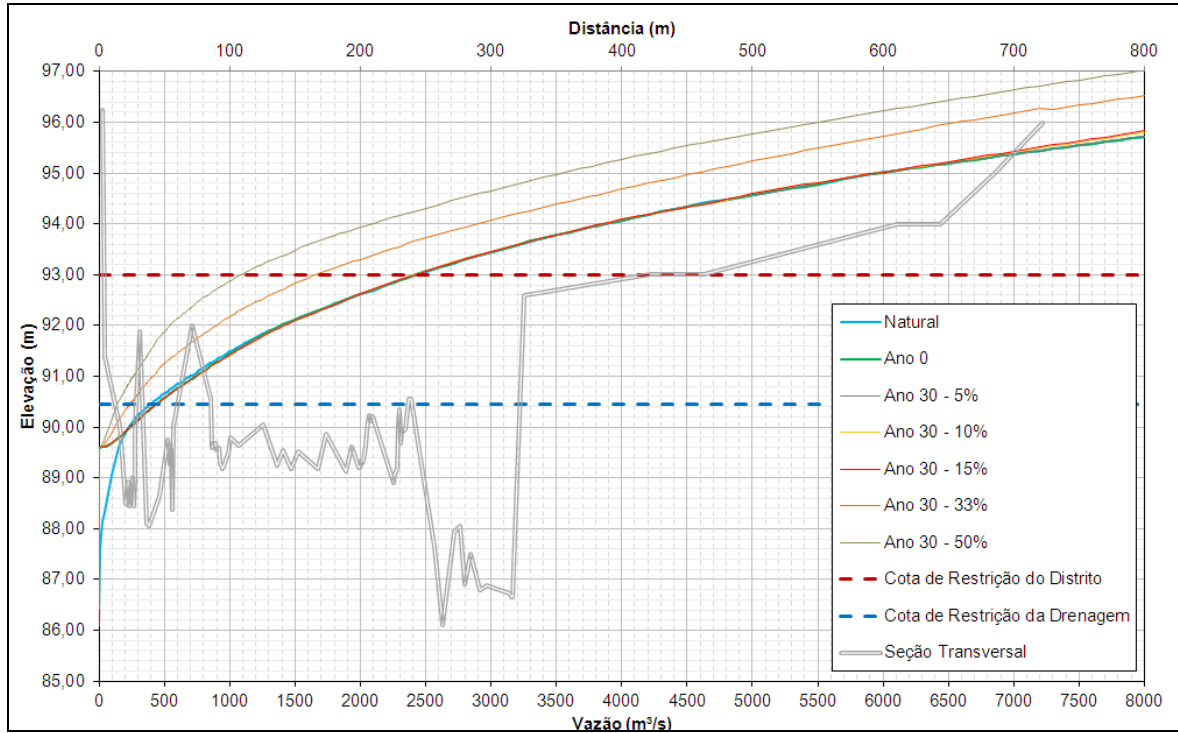


Figura 5.3 – Curva-chave para o cenário com NA máximo normal na cota 89,60 m.

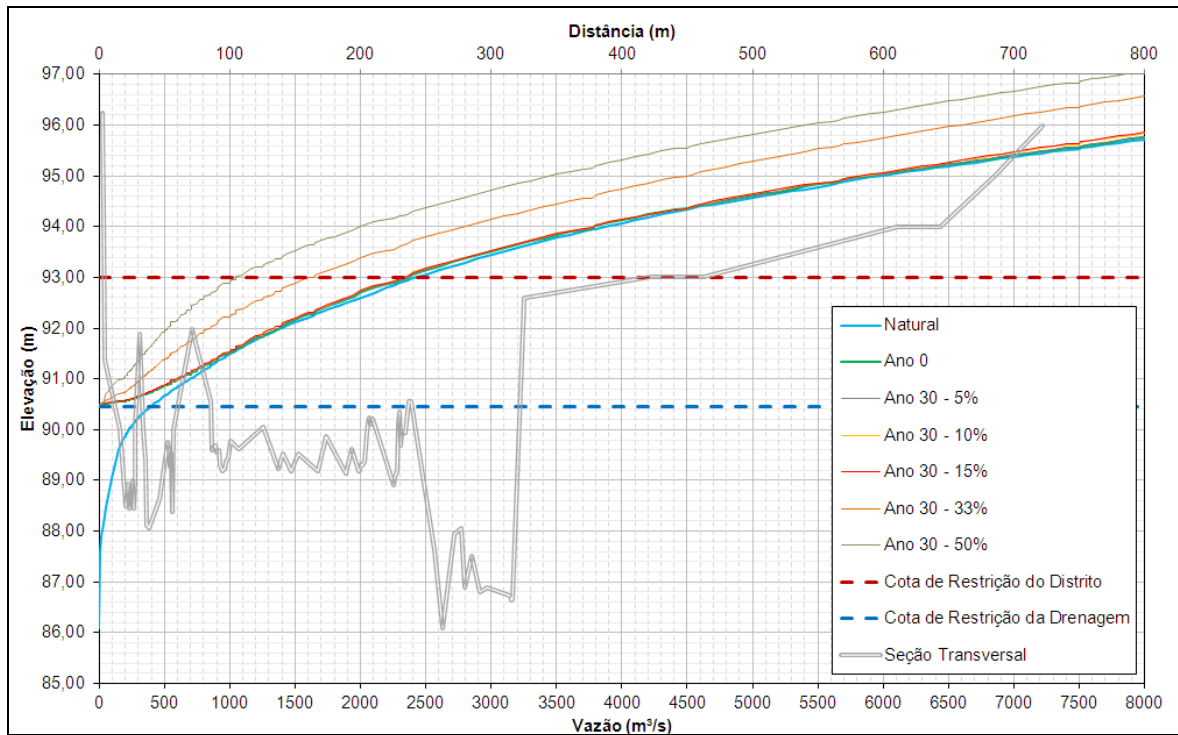


Figura 5.4 – Curva-chave para o cenário com NA máximo normal na cota 90,50 m.

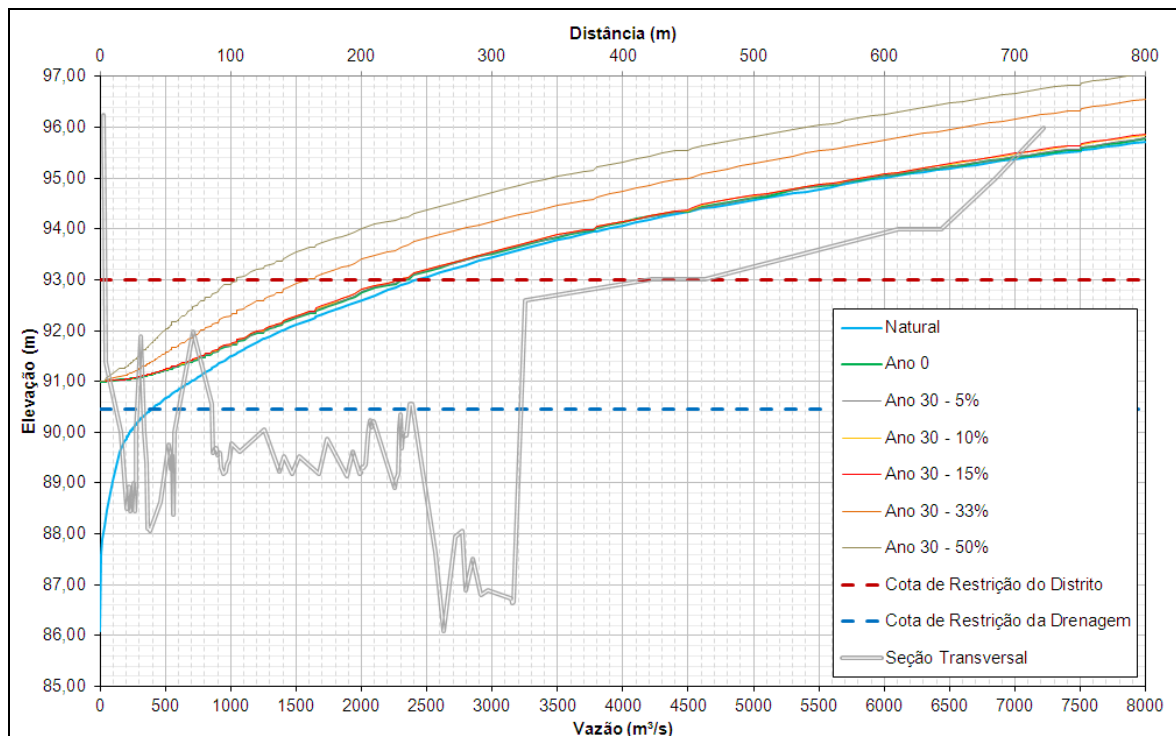


Figura 5.5 – Curva-chave para o cenário com NA máximo normal na cota 91,00 m.

6. Conclusões e Recomendações

Os estudos realizados se basearam em premissas que necessitam de validação em campo, a partir de campanhas hidrossedimentométricas. No entanto, espera-se que as relações adotadas não se alterem a ponto de afetar os resultados obtidos. Estes resultados indicam que a decisão de reduzir o NA máximo normal do reservatório pode não ter sido a melhor alternativa.

Ressalta-se, porém, que as campanhas hidrossedimentométricas a serem realizadas no rio Paraíba do Sul ajudarão a validar as premissas adotadas neste novo estudo, podendo, assim, com auxílio de avaliações de custo-benefício das intervenções no sistema de drenagem pluvial e esgotamento sanitário do povoado de São Sebastião do Paraíba, balizar futuras decisões quanto ao NA máximo normal do reservatório da UHE Itaocara I.

Anexo 01 – Manchas de Inundação

