

AHE ITAOCARA

INFLUÊNCIA DO REMANSO DE ITAOCARA II EM PORTO VELHO DO CUNHA

MEMÓRIA TÉCNICA

PJ0722-B-H01-GR-MT-010-0A

SETEMBRO/2009

AHE ITAOCARA

INFLUÊNCIA DO REMANSO DE ITAOCARA II EM PORTO VELHO DO CUNHA

PJ0722-B-H01-GR-MT-010-0A

SETEMBRO/2009

| | | | | | |
|-------------|-------------|------------------|--------------|--------------|---------------|
| | | | | | |
| 0A | 02/09/2009 | | OM | PT | JEM. |
| REV. | DATA | DESCRIÇÃO | ELAB. | VISTO | APROV. |

ÍNDICE

| <i>Item</i> | <i>Assunto</i> | <i>Página</i> |
|-------------|--|---------------|
| 1. | INTRODUÇÃO | 01 |
| 2. | DADOS E ESTUDOS UTILIZADOS | 01 |
| 2.1. | DADOS DE CAMPO | 01 |
| 2.1.1. | <u>Levantamentos realizados pelo Cohidro</u> | 01 |
| 2.1.2. | <u>Levantamentos Executados pela LSF Andrade Computação e Serviços</u> | 01 |
| 2.2. | MEMÓRIAS TÉCNICAS PCE | 01 |
| 3. | CURVA-CHAVE | 02 |
| 4. | ESTUDOS ENERGÉTICOS | 04 |
| 5. | CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 04 |
| | ANEXO: FOTOGRAFIA AÉREA DE PORTO VELHO DO CUNHA | 06 |

1. INTRODUÇÃO

Utilizando-se os produtos de levantamentos de campo e de estudos hidrológicos diversos, dentre os quais se destacam os que resultaram em vazões de cheia, na caracterização do assoreamento do reservatório e em sobrelevações de níveis d'água decorrentes do efeito de remanso, foi estimada a curva-chave do rio Paraíba do Sul na localidade de Porto Velho do Cunha, a qual se constitui na principal interferência sócio-ambiental do reservatório de Itaocara II. Essa curva contempla, conseqüentemente, além das condições naturais de escoamento, relações cota-vazão locais futuras, ou seja, após a implantação do reservatório.

Além disso, com a finalidade de subsidiar discussões relativas a mitigação de impactos ambientais específicos são apresentados resultados de estudos energéticos para diferentes condições operacionais do reservatório.

Este documento apresenta descrição resumida das análises que conduziram a essa curva-chave.

2. DADOS E ESTUDOS UTILIZADOS

Na definição da curva-chave do rio Paraíba do Sul na localidade de Porto Velho do Cunha, foram empregados resultados dos levantamentos de campo e dos estudos a seguir discriminados.

2.1. DADOS DE CAMPO

2.1.1. Levantamentos realizados pelo Cohidro

- Relatório de instalação dos postos hidrométricos
- Relatório de serviços de hidrometria e topografia (período janeiro-março/09)
- Relatório de serviços de hidrometria e topografia (período abril-maio/09)
- Relatório de serviços de hidrometria e topografia (período junho/09)

2.1.2. Levantamentos executados pela LSF Andrade Computação e Serviços

- Itaocara I. Levantamento planialtimétrico cadastral (julho/09)
- Itaocara II. Levantamento planialtimétrico cadastral (junho/09)

- Complexo AHE Itaocara . Nivelamento geométrico no trecho Ilha dos Pombos – AHE Itaocara II – AHE Itaocara I (junho/09)

2.2. MEMÓRIAS TÉCNICAS PCE

- Vida útil dos reservatórios (Julho/2009);
- Estudos de remanso do AHE Itaocara - Itaocara II (a emitir);
- Vazões máximas (Julho/2009).

3. CURVA-CHAVE

Empregando-se seções topobatimétricas e perfis de linha d'água do rio Paraíba do Sul, o modelo HEC-RAS foi calibrado e utilizado para elaborar a curva-chave natural em Porto Velho do Cunha.

Isso feito, considerando-se o mesmo NA normal do reservatório na cota 102,00 m, foram realizadas simulações com o modelo, que permitiram estimar as sobrelevações locais do NA, decorrentes do efeito de remanso. Esse procedimento foi repetido para duas situações de assoreamento do reservatório (10 e 30 anos de operação), configuradas pelo modelo HEC 6.

A Figura 3.1, incluída na página seguinte, mostra graficamente os resultados obtidos. Dela também consta a cota de inundação de Porto Velho do Cunha, estimada em 103,5 m, a partir das seguintes informações:

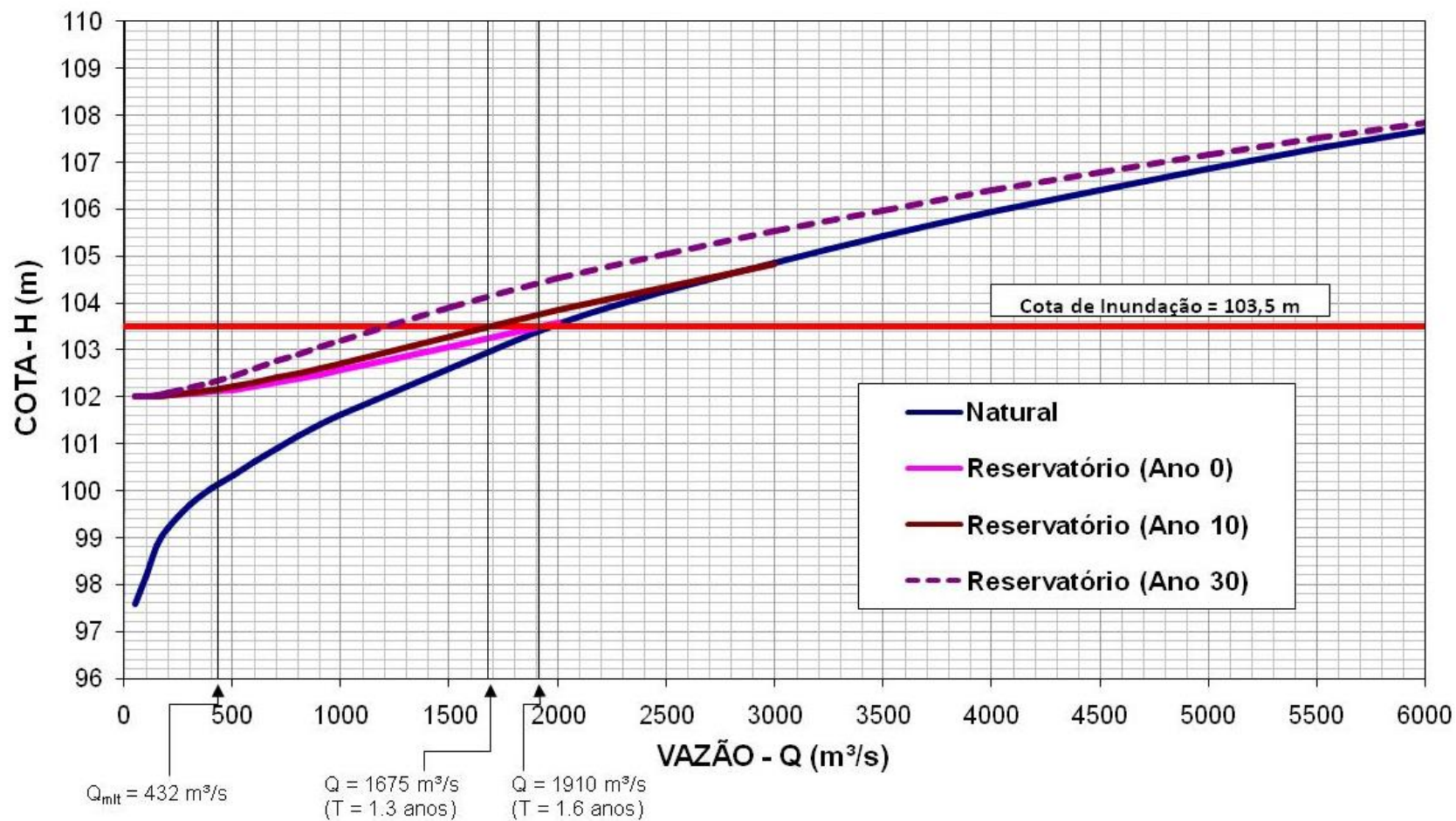
- resultados de levantamentos topográficos, os quais caracterizaram a cota 103,995m, para um marco instalado em ponto baixo do vilarejo (beco local com acesso pela rua José Lino da Silveira);
- produtos de levantamentos aerofotogramétricos, dentre os quais se destaca ortofoto da localidade acima (anexa);
- observações visuais de campo.

A análise da curva-chave em questão permite concluir que:

- Porto Velho do Cunha situa-se, em parte, na calha maior do rio Paraíba do Sul, ou seja, em uma região naturalmente inundável;
- As inundações locais ocorrem para vazões superiores a 1.910 m³/s, o que corresponde a um tempo de recorrência 1,6 anos;
- Imediatamente após o enchimento do reservatório (ano 0), o remanso do reservatório não agrava sensivelmente o problema supracitado, muito embora cause uma sobrelevação do NA natural médio local, o que poderá ter outras repercussões;
- Com o passar do tempo, a deposição de sedimentos no reservatório causará o recrudescimento das citadas inundações. Assim, após 10 anos de operação, por exemplo, seu tempo de recorrência será reduzido para aproximadamente 1,3 anos;
- Caso nenhuma medida mitigadora seja adotada, o assoreamento, após 30 anos de existência do reservatório, causará impactos significativos no vilarejo.

É interessante observar, ainda, que, a operação do reservatório com nível d'água equivalente a 101,00 m permite evitar o agravamento das inundações em Porto Velho do Cunha para o cenário correspondente a 10 anos de operação do reservatório, o que foi verificado por simulações de remanso nas quais foi considerada essa situação.

Figura 3.1
Curva-Chave do rio Paraíba do Sul em Porto Velho do Cunha



4. ESTUDOS ENERGÉTICOS

Foram realizadas simulações energéticas, considerando uma potência instalada de 53 MW, para diferentes NA normais do reservatório, cujos resultados encontram-se relacionados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1
Resultados de Simulações Energéticas

| NA normal (m) | 102 | 101,5 | 101 | 100,5 | 100 |
|--------------------------|------|-------|------|-------|------|
| Energia Média (MWmédios) | 28,9 | 27,6 | 26,3 | 24,9 | 23,4 |
| Fator de Capacidade | 0,54 | 0,52 | 0,50 | 0,47 | 0,44 |
| Energia Firme (MWmédios) | 25,0 | 23,9 | 22,7 | 21,3 | 20,0 |
| Queda de Referência (m) | 7,7 | 7,3 | 6,8 | 6,3 | 5,8 |
| Vazão Turbinada (m³/s) | 773 | 825 | 885 | 955 | 1033 |

Nota-se que, para cada meio metro de redução do NA, ocorre uma diminuição da geração de aproximadamente 1 MW médio.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Será necessário adotar medidas mitigadoras para neutralizar o efeito do recrudescimento das inundações que assolam Porto Velho do Cunha, causado pela implantação do reservatório de Itaocara II, tais como:

- Em épocas de cheia, operação do aproveitamento com um nível d'água do reservatório reduzido, de forma a compensar o agravamento das inundações. No caso do reservatório no ano 10, essa redução atingiria cerca de 1 m;
- Esvaziamento, parcial e periódico, do reservatório, de forma a suscitar a movimentação de sedimentos depositados para jusante;
- Realização de dragagens, com a finalidade de manter a calha do rio na região de montante do reservatório em condições semelhantes às naturais;
- Construção de dique de proteção.

A definição de qual ou quais dessas medidas mitigadoras deverão ser adotadas não é escopo deste documento, mas é de todo conveniente que o assunto seja examinado por equipe multidisciplinar, de forma a se obter uma solução viável tanto do ponto de vista técnico-econômico como ambiental.

É importante que seja instalado um posto linimétrico em Porto Velho do Cunha, inclusive com a realização de medições de vazão líquida e de descarga sólida. Essa atividade deverá prosseguir indefinidamente, de forma a permitir a identificação de vicissitudes da

curva-chave local, principalmente em decorrência do processo de assoreamento do reservatório.

Recomenda-se, ainda, a realização de levantamentos batimétricos periódicos (inicialmente, anuais), após implantação do reservatório, principalmente na sua região de montante, de forma a caracterizar a evolução dos depósitos de sedimentos locais.

**ANEXO
FOTOGRAFIA AÉREA DE PORTO VELHO
DO CUNHA**



CONSÓRCIO UHE ITAOCARA

AHE ITAOCARA I / AHE ITAOCARA II

ANÁLISE DE IMPACTO AMBIENTAL: ESTUDOS SEDIMENTOLÓGICOS

- RELATÓRIO DOS ESTUDOS DE IMPACTO AMBIENTAL -

0309-RTE01-R00

- ABRIL DE 2010 -

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| APRESENTAÇÃO | 3 |
| A. DIAGNÓSTICO SEDIMENTOLÓGICO | 4 |
| A1. Introdução..... | 4 |
| A2. Informações Básicas..... | 5 |
| A3. Caracterização do Equilíbrio Morfodinâmico | 8 |
| A4. Caracterização da Bacia do Rio Paraíba do Sul..... | 14 |
| A4.1. Rede Hidrográfica | 14 |
| A4.2. Empreendimentos Hidráulicos..... | 17 |
| A4.3. Geomorfologia Fluvial | 22 |
| A4.3.1. Aspectos Geológicos e Geomorfológicos Gerais..... | 22 |
| A4.3.2. Potencial Erosivo da Bacia..... | 25 |
| A4.3.3. Dinâmica da Produção de Sedimentos..... | 27 |
| A4.3.5. Complementos da Geomorfologia Fluvial..... | 39 |
| A4.4. Característica do Delta do Rio Paraíba do Sul | 42 |
| A4.5. Características do Regime Sedimentológico..... | 51 |
| A.4.6. Conclusões | 60 |
| B. CÁLCULO DA VIDA ÚTIL DOS RESERVATÓRIOS..... | 63 |
| B1. Introdução..... | 63 |
| B2. Cálculo do Volume de Assoreamento e da Vida Útil do Reservatório do AHE ITAOCARA I | 63 |
| B3. Cálculo do Volume de Assoreamento e da Vida Útil do Reservatório da AHE ITAOCARA II | 70 |
| C. PROGNÓSTICO SEDIMENTOLÓGICO | 73 |
| C1. Considerações Gerais..... | 73 |
| C2. Prognóstico Sedimentológico do AHE ITAOCARA I..... | 74 |
| C3. Prognóstico Sedimentológico do AHE ITAOCARA II..... | 76 |
| C4. Prognóstico Sedimentológico para o Trecho de Jusante..... | 78 |
| D. PROGRAMAS AMBIENTAIS | 79 |
| D1. Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico | 79 |
| D2. Programa de Monitoramento Topobatimétrico dos Reservatórios | 87 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 91 |

APRESENTAÇÃO

No item está sendo tratado o tema relativo aos **Estudos Sedimentológicos**, abrangendo o diagnóstico e prognóstico do transporte sólido na bacia do rio Paraíba do Sul, considerando as condições atuais e as condições futuras com a inserção dos aproveitamentos hidrelétricos AHEs Itaocara I e Itaocara II.

O diagnóstico foi elaborado com base nos dados sedimentométricos disponíveis na bacia e nas características dos entalhes geomorfológicos, definidoras das regiões produtoras de sedimentos e dos trechos fluviais típicos de transporte e de deposição, focando na morfogênese do delta do rio Paraíba do Sul. Para a elaboração do prognóstico, foram utilizados os resultados dos estudos de cálculo da vida útil dos reservatórios dos aproveitamentos, representados pelas respectivas eficiências de retenção, procurando identificar eventuais impactos no equilíbrio morfodinâmico no trecho fluvial de jusante, até a foz no oceano Atlântico.

A partir dos resultados do diagnóstico e do prognóstico, foram propostos programas ambientais específicos, baseados no monitoramento sedimentométrico e no acompanhamento da evolução das isóbatas dos reservatórios.

Os temas estudados foram divididos e agrupados nos seguintes capítulos:

- ❑ Capítulo A: Diagnóstico Sedimentológico, descrevendo as condições atuais do transporte sólido na bacia, com a prescrição dos possíveis impactos decorrentes da operação das obras hidráulicas e das condições de uso e ocupação do solo;
- ❑ Capítulo B: Cálculo da Vida Útil dos Reservatórios, reproduzindo os estudos de assoreamento feitos na etapa de Projeto Básico, com a indicação da capacidade de retenção de sedimentos dos reservatórios;
- ❑ Capítulo C: Prognóstico Sedimentológico, resultado da combinação do diagnóstico e do cálculo da eficiência de retenção dos reservatórios, associado à análise prospectiva de possíveis impactos no equilíbrio morfológico no trecho fluvial a jusante dos aproveitamentos;
- ❑ Capítulo D: Programas Ambientais, contendo a descrição dos programas sugeridos para implantação durante a vida útil dos aproveitamentos, visando o preenchimento de lacunas de informações que poderão validar ou reformular os impactos prognosticados.

A. DIAGNÓSTICO SEDIMENTOLÓGICO

A1. INTRODUÇÃO

A bacia do rio Paraíba do Sul, que recorta parte dos territórios de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo, sempre constituiu importante papel na economia brasileira, funcionando como corredor comercial no ciclo do ouro, possuindo a maior produção nacional de café e cana-de-açúcar no final do Século XVIII e início do Século XIX ou como importante pólo industrial a partir do Século XX. Essas atividades sempre impuseram grande impacto na dinâmica de geração de sedimentos, devido à supressão das matas com a agricultura, pecuária, expansão urbana ou mesmo para alimentar as locomotivas a vapor da extensa malha ferroviária que operava na bacia.

Atualmente, a intensa atividade industrial ocorre em função das boas condições de infraestrutura que a bacia oferece, tais como: mercado consumidor, fácil escoamento da produção, suprimento de água e energia. Os dois últimos itens apresentam-se como aqueles de maior interesse nesse estudo, pois a demanda por água e energia resulta, muitas vezes, na construção de obras que modificam o equilíbrio sedimentológico de uma bacia hidrográfica. Existe hoje, na bacia, cerca de quarenta (40) reservatórios para geração de energia ou abastecimento público, além da derivação na Estação Elevatória de Santa Cecília que desvia em média 146 m³/s (quase 60% da vazão média de longo termo) do rio Paraíba do Sul em Barra do Piraí-RJ, para geração de energia elétrica na vertente Atlântica (Sistema Paraíba/Piraí) e abastecimento da cidade do Rio de Janeiro (Sistema Guandu).

Todas essas intervenções atuam como redutoras do volume de sedimento aportado no delta do rio Paraíba do Sul, pois retêm o sedimento de fundo, no caso dos reservatórios, ou reduzem a capacidade de transporte de material sólido do rio, como a derivação em Barra do Piraí. Tendo em vista o cenário atual da bacia, relativo à operação de obras hidráulicas e aos testemunhos que se apresentam no trecho de transporte entre as cidades de Resende-RJ e São Fidélis-RJ (baixas taxas específicas de descarga sólida), ou mesmo na barra do rio Paraíba do Sul (erosão litorânea na praia de Atafona), tem-se o indício de que o equilíbrio hidrossedimentológico da bacia já se encontra rompido.

Esse Capítulo apresenta um diagnóstico do regime de transporte de sedimentos na bacia do rio Paraíba do Sul, destacando o impacto das obras hidráulicas existentes e as condições de equilíbrio morfodinâmico, principalmente na região do delta.

Além desse item introdutório, os estudos de diagnóstico realizados foram distribuídos pelos seguintes tópicos:

- Item A2: descrição dos dados básicos utilizados nos estudos;
- Item A3: conceitos básicos de equilíbrio morfodinâmico dos cursos de água;
- Item A4: caracterização da bacia do rio Paraíba do Sul, abrangendo a rede de drenagem, os principais empreendimentos hidráulicos implantados, os aspectos mais relevantes da

geomorfologia fluvial, a morfologia do delta e descrição do regime sedimentológico, juntamente com o respectivo diagnóstico das condições de transporte sólido;

A2. INFORMAÇÕES BÁSICAS

As informações básicas utilizadas nos estudos constaram de registros das estações sedimentométricas, estudos anteriores pertinentes ao tema e dados cadastrais das obras hidráulicas implantadas na bacia do rio Paraíba do Sul.

As informações básicas utilizadas no estudo foram:

- ❑ Projeto Básico dos AHEs Itaipava I e II, elaborado pela PCE Engenharia, em novembro de 2009;
- ❑ “Diagnóstico das Condições Sedimentológicas dos Principais Rios Brasileiros”, elaborado pela ELETROBRÁS em 1992;
- ❑ Curvas-chaves de sedimento em suspensão das estações hidrossedimentométricas de Volta Redonda e Moura Brasil, extraídas do documento “Diagnóstico dos Recursos Hídricos”, elaborado pela Fundação COPPETEC em agosto de 2006 e disponibilizado pelo Comitê da Bacia do Paraíba do Sul (CEIVAP);
- ❑ Dados de concentração do material em suspensão no rio Paraíba do Sul monitorados no trecho fluvial de implantação dos AHEs Itaipava I e Itaipava II, cujos levantamentos foram realizados e disponibilizados pelo Consórcio UHE Itaipava;
- ❑ Dados de concentração do material em suspensão das estações hidrossedimentométricas da bacia do rio Paraíba do Sul, disponibilizadas pela Agência Nacional das Águas (ANA);
- ❑ Dados de vazão média diária das estações hidrossedimentométricas da bacia do rio Paraíba do Sul, disponibilizadas pela ANA. Foram utilizados apenas os dados a partir de 1979 por se tratar do ano de término da construção da UHE Paraibuna/Paraitinga que possui reservatório com volume de 4732 hm³ e grande capacidade de regularização de vazão e retenção de sedimento.

A Tabela A2.1 lista as principais características das estações utilizadas no estudo e a Figura A2.1 ilustra as respectivas localizações.

Também foram utilizadas informações bibliográficas específicas, que foram citadas e discriminadas no texto, à medida que se inseriam no corpo do relatório.

Tabela A2.1 – Características das estações hidrossedimentométricas utilizadas no estudo.

| Entidade | Código | Estação | Curso de água | Localização | | Área de drenagem (km ²) |
|------------------------|----------|--------------------------|----------------|-------------|------------|-------------------------------------|
| | | | | Latitude | Longitude | |
| ANA | 58960000 | Cardoso Moreira | Muriaé | 21°29'14" | 41°37'00" | 7283 |
| ANA | 58770000 | Cataguases | Pomba | 21°23'22" | 42°41'47" | 5858 |
| ANA | 58790000 | Santo Antônio de Pádua | Pomba | 21°32'32" | 42°10'50" | 8245 |
| ANA | 58480500 | Juiz de Fora | Paraibuna | 21°46'42" | 43°19'31" | 981 |
| CEIVAP | 58440000 | Moura Brasil | Piabanha | 22°08'30" | 43°09'27" | 2049 |
| ANA | 58099000 | Santa Branca | Paraíba do Sul | 23°22'08" | 45°54'08" | 4935 |
| ANA | 58183000 | Pindamonhangaba | Paraíba do Sul | 22°54'40" | 45°28'13" | 9576 |
| ANA | 58235100 | Queluz | Paraíba do Sul | 22°32'24" | 44°46'22" | 12.749 |
| ANA | 58250000 | Resende | Paraíba do Sul | 22°28'00" | 44°26'43" | 13.882 |
| CEIVAP | 58305000 | Volta Redonda | Paraíba do Sul | 22°30'05" | 44°05'26" | 15.980 |
| ANA | 58321000 | Barra do Pirai | Paraíba do Sul | 22°26'58" | 43°47'56" | 17.639 |
| ANA | 58630002 | Anta | Paraíba do Sul | 22°02'07" | 42°59'27" | 30.579 |
| Consórcio UHE Itaocara | 58678080 | Itaocara | Paraíba do Sul | 21°39'57" | -42°04'52" | 33.628 |
| ANA | 58974000 | Campos - Ponte Municipal | Paraíba do Sul | 21°45'12" | 41°18'01" | 55.500 |

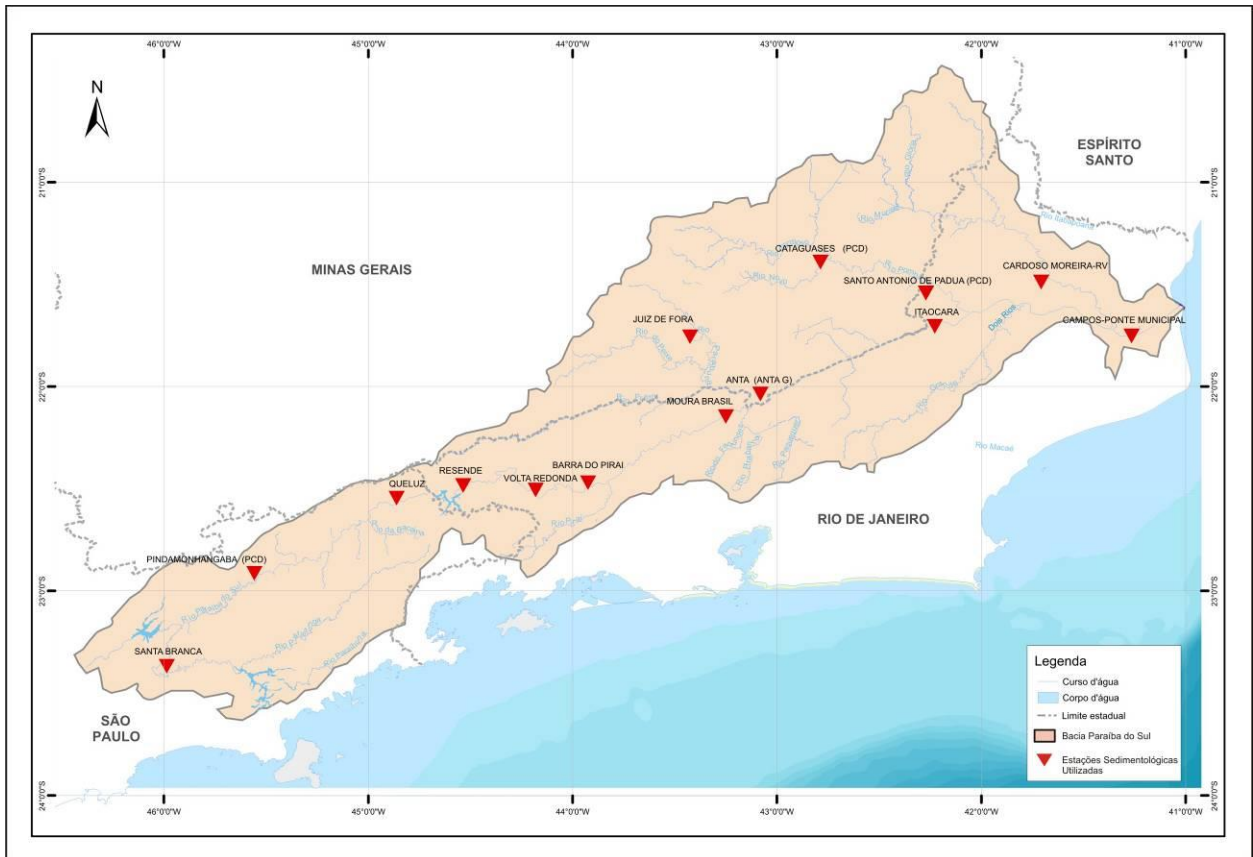


Figura A2.1 - Localização das estações hidrossedimentométricas selecionadas.

A3. CARACTERIZAÇÃO DO EQUILÍBRIO MORFODINÂMICO

A finalidade da descrição apresentada nesse Item é a de caracterizar os elementos do equilíbrio morfodinâmico, em suas generalidades, para facilitar o entendimento do diagnóstico das condições atuais e dos prognósticos relativos aos impactos decorrentes da implantação dos aproveitamentos. No Item A.4 serão apresentadas descrições mais específicas às peculiaridades da bacia do rio Paraíba do Sul, situando a relação do transporte sólido com a operação das obras hidráulicas e com o equilíbrio da região do delta.

Sob o aspecto geomorfológico, as bacias hidrográficas apresentam um desenvolvimento entre as cabeceiras e a foz conforme mostrado na Figura A3.1.

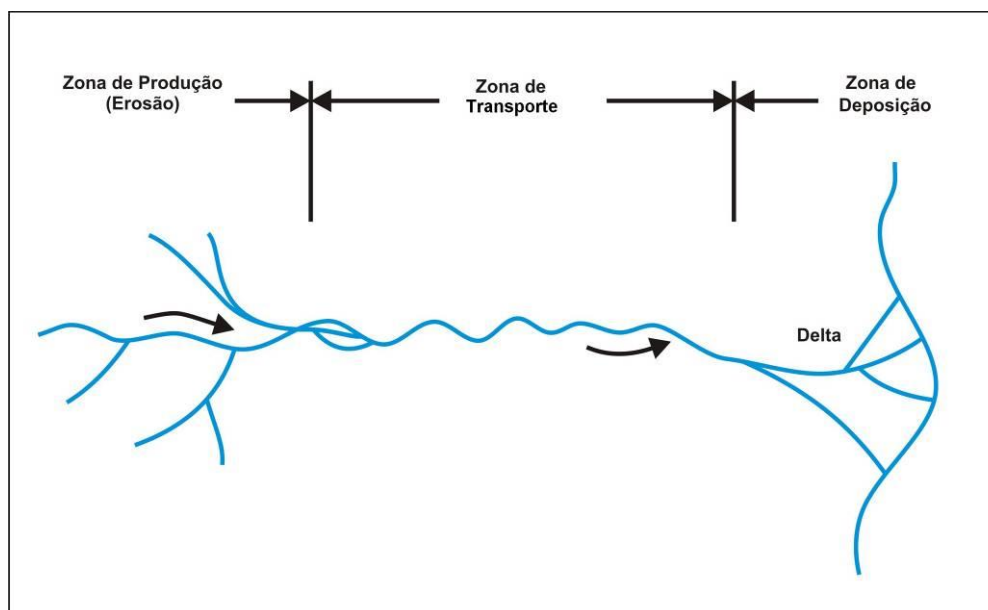


Figura A3.1 – Gênese e transporte de sedimentos nas bacias hidrográficas.

Os terrenos das cabeceiras apresentam topografia mais íngreme e assim um maior potencial de produção de sedimentos. O uso inadequado do solo nas partes altas das bacias hidrográficas pode resultar em focos de erosão, que intensificam o processo natural de geração de sedimentos (intemperismo natural). O potencial de produção de sedimentos é controlado pelas condições climáticas, tipos de solos e cobertura vegetal. Na região das cabeceiras, o entalhe dos cursos de água é bastante condicionado pelos contornos geológicos, com a rede de drenagem orientada segundo falhas e estruturas de macroescala.

Na seqüência de montante para jusante, as declividades dos terrenos e dos cursos de água ficam reduzidas, apresentando menor potencial erosivo, mas alta capacidade de transporte dos sedimentos gerados nas cabeceiras. Essa porção da bacia identifica-se como Zona de Transporte, já ocorrendo alguns depósitos aluviais e tendências de formação de meandros. Os cursos de água inseridos nessa área apresentam condições de equilíbrio morfodinâmico, essencialmente balanceado pelos volumes de sedimentos que entram e saem dos trechos fluviais.

Finalmente, nas proximidades da foz as declividades ficam bastante reduzidas, caracterizando uma Zona de Deposição, onde são formados os deltas e os pântanos. A morfologia dessa zona fica totalmente influenciada pelas condições de contorno de jusante, que são representadas pelos níveis de água do rio principal (em caso de cursos de água afluentes) ou pela flutuação das marés, em rios com deságüe em estuário.

Por conta dessa característica morfogenética das bacias hidrográficas, resulta que a produção de sedimentos não aumenta na mesma proporção que a magnitude da área de drenagem, ao se progredir de montante para jusante, no sentido do perfil longitudinal do curso de água principal. Assim, ocorre uma redução na taxa **produção de sedimentos / área de drenagem** (produção específica, em ton/km².ano ou em m³/km².ano), indicando uma relação típica com a área de drenagem, conforme mostrado na Figura A3.2.

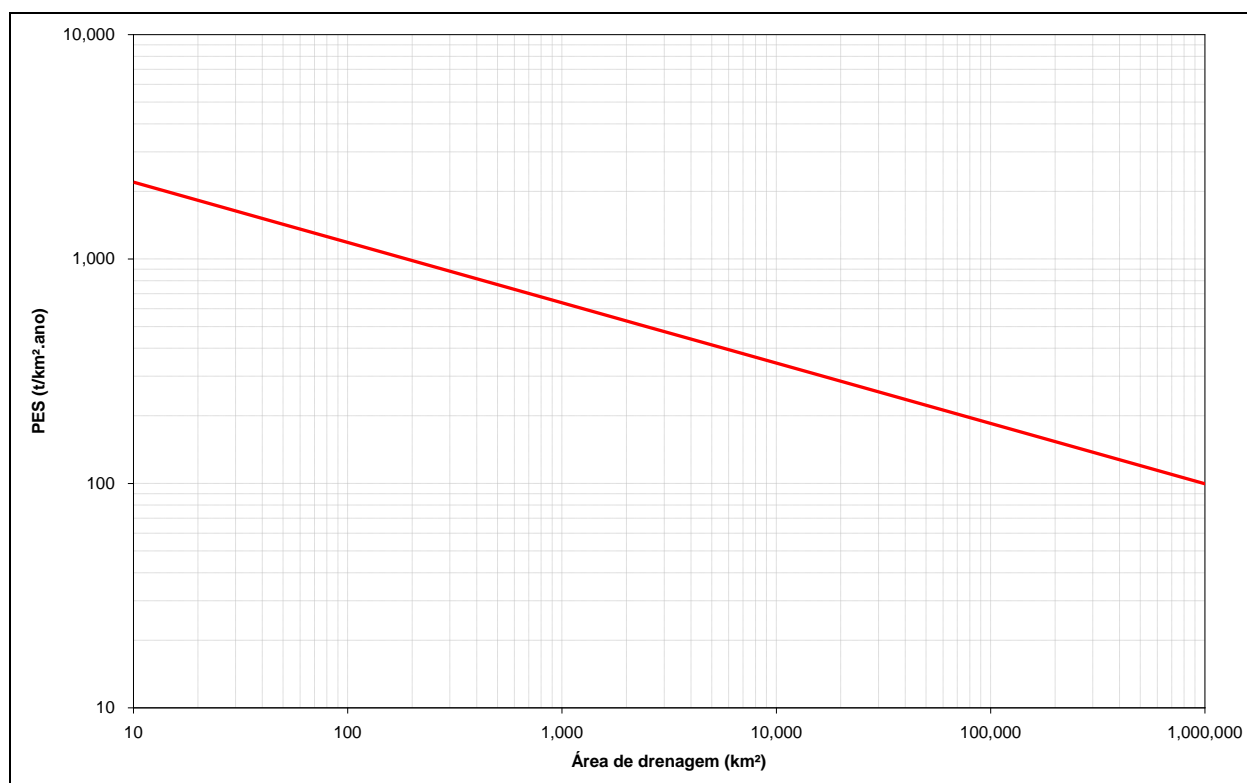


Figura A3.2 – Variação típica da produção específica de sedimentos em uma bacia hidrográfica.

A morfogênese dos cursos de água localizados na Zona de Deposição é bastante dinâmica, podendo ocorrer mudanças na geometria dos canais em curtos espaços de tempo. As mudanças dependem das taxas de transporte sólido e das possíveis combinações hidráulicas de perfis de escoamento do curso de água controlador do nível de base ou do alcance da influência das ondas e marés.

Em um trecho fluvial de canais entalhados em planícies aluviais, ocorre uma interação permanente entre as variáveis **descarga sólida** e **descarga líquida**, contrabalançando-se em equilíbrio por meio da declividade do álveo e da gradação do diâmetro mediano do material transportado no leito. Essa interação, representada esquematicamente na Figura A3.3, resulta em erosão ou assoreamento do leito, sempre que uma das grandezas passa por alteração

brusca. Nessas condições de desequilíbrio, o curso de água tende a retomar o equilíbrio, por meio do ajuste da declividade ou da granulometria do material do leito.

O equilíbrio ocorre por conta do balanço e conservação de massas, indicando que o volume de sedimentos que aporta à seção de montante de um trecho fluvial tende a se igualar com o volume que sai no extremo de jusante, para as condições médias de longo termo. Essas condições de equilíbrio fluvial, representadas de forma qualitativa pelo esquema da Figura A3.3, que traduz a chamada **Equação de Lane**, podem ser expressas pela equação A3.1.

$$Q_L \cdot S_0 \propto Q_S \cdot D_{50} \quad (\text{Equação A3.1})$$

na qual Q_L é a descarga líquida, Q_S a descarga sólida, S_0 a declividade do álveo e D_{50} o diâmetro mediano do material do leito.

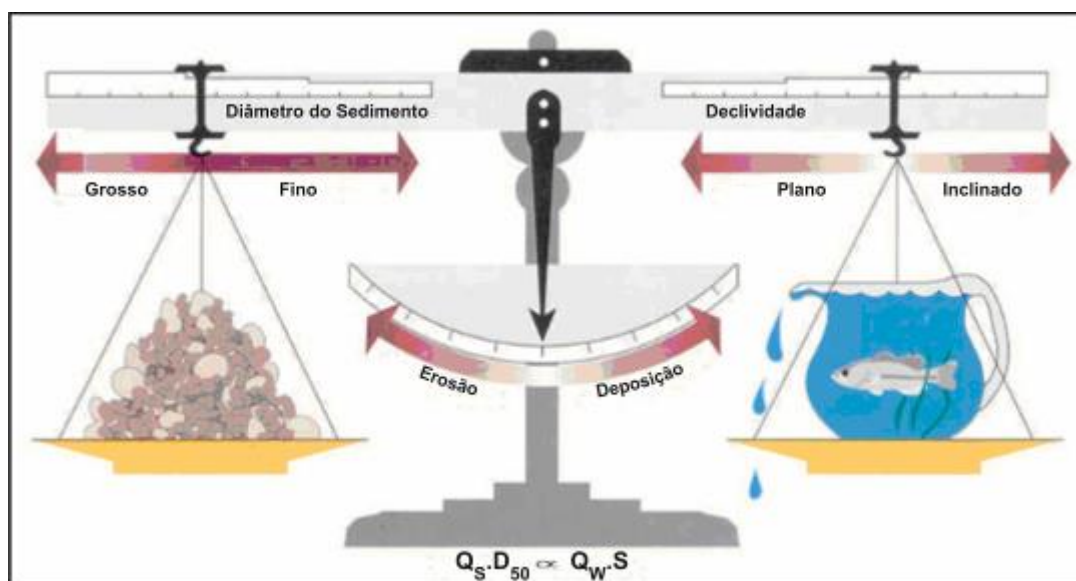


Figura A3.3 – Representação esquemática da equação de equilíbrio morfodinâmico (Adaptada de FISRWG, 1998).

A interação dinâmica das grandezas representadas na Figura A3.3 modela a geometria das calhas fluviais, formatando dois leitos distintos de escoamento, conforme esquematizado na Figura A3.4. As vazões de estiagem e as enchentes de menor porte, as chamadas enchentes ordinárias, escoam confinadas na calha menor, que é apropriada e naturalmente moldada para essa função. Quando ocorre uma enchente excepcional, de maior porte, ocorre o transbordamento para a planície de inundação, com as vazões ocupando assim os terrenos adjacentes à calha menor.

A enchente ordinária que preenche totalmente e modela a calha menor é chamada de vazão dominante ou vazão de margens plenas. Como característica da morfologia fluvial da quase totalidade dos cursos de água, a vazão dominante é representada pelas enchentes cujos picos têm período de retorno entre 2 e 5 anos, indicando probabilidades de ocorrência variando entre 50% e 20% em um ano qualquer.

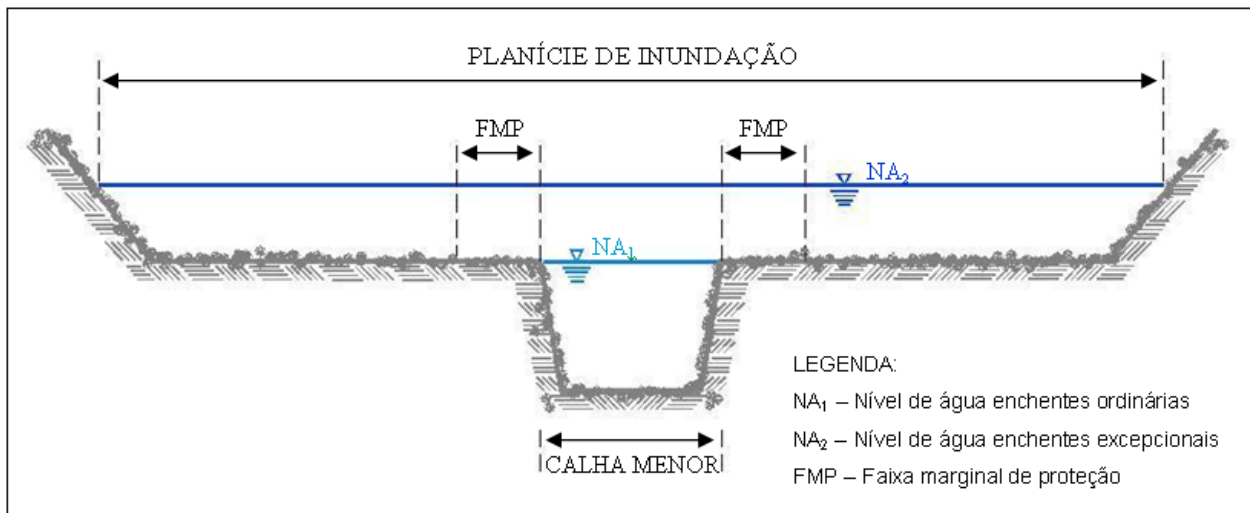


Figura A3.4 – Características da morfologia fluvial dos cursos de água.

A modelação da calha menor para escoar as enchentes ordinárias não ocorre necessariamente nos cursos de água localizados na Zona de Deposição, onde predomina a ação do controle hidráulico de jusante. Assim, pode acontecer de uma enchente ordinária transbordar para a planície de inundação, sob o efeito de remanso do rio de jusante ou da influência das marés.

Qualquer que seja a posição relativa dos rios que escoam pelas planícies aluviais, ao longo das margens forma-se uma linha de diques naturais, conferindo um contorno peculiar à geometria da calha menor. Essa linha de cotas mais elevadas em relação aos terrenos da planície de inundação é denominada diques marginais, que é quebrada somente nas seções onde entram os cursos de água afluentes ou os canais de ligação com as lagoas adjacentes.

Em qualquer intervenção antrópica ou alteração natural que possa modificar uma das quatro variáveis da equação de equilíbrio de Lane, instala-se uma nova condição morfodinâmica, aonde as outras variáveis irão se alterar de maneira a se restabelecer o equilíbrio.

Assim, caso seja instalado um barramento em uma seção de um rio, os níveis de água irão se elevar, reduzindo a declividade do escoamento. Alterado o equilíbrio, deverá haver deposição de sedimentos a montante de maneira a se restabelecer a declividade original. Em contrapartida, a jusante do barramento, devido à redução do volume de sedimento disponível para ser transportado, deverá se estabelecer um cenário de erosão do leito, formando um leito mais sinuoso do que o original (Chang, 1979).

Em outra situação, uma significativa redução da vazão de um curso de água, juntamente com o material sólido presente no escoamento, também poderá resultar na redução da declividade do escoamento exigindo que haja deposição no trecho afetado de maneira a restabelecer a declividade original.

As relações acima descritas são explicadas por Shumm (1969) através das seguintes relações qualitativas:

Aumento da vazão:

$$\uparrow Q \sim \uparrow B \uparrow D \uparrow F \uparrow \lambda \downarrow S$$

Redução da vazão:

$$\downarrow Q \sim \downarrow B \downarrow D \downarrow F \downarrow \lambda \uparrow S$$

Aumento na descarga sólida:

$$\uparrow Q_s \sim \uparrow B \downarrow D \uparrow F \uparrow \lambda \uparrow S \downarrow P$$

Redução na descarga sólida:

$$\downarrow Q_s \sim \downarrow B \uparrow D \downarrow F \downarrow \lambda \downarrow S \uparrow P$$

Vazão e descarga sólida aumentam (exemplo: durante um processo de urbanização):

$$\uparrow Q \uparrow Q_s \sim \uparrow B \uparrow \downarrow D \uparrow F \uparrow \lambda \uparrow \downarrow S \downarrow P$$

Vazão e descarga sólida reduzem (exemplo: a jusante de uma barragem):

$$\downarrow Q \downarrow Q_s \sim \downarrow B \uparrow \downarrow D \downarrow F \downarrow \lambda \uparrow \downarrow S \uparrow P$$

Vazão aumenta e descarga sólida reduz (exemplo: aumento da umidade em uma zona antes pouco úmida):

$$\uparrow Q \downarrow Q_s \sim \uparrow \downarrow B \uparrow D \downarrow F \uparrow \downarrow \lambda \downarrow S \uparrow P$$

Vazão reduz e descarga sólida aumenta (exemplo: aumento no consumo de água combinado com aumento da ocupação da bacia):

$$\downarrow Q \uparrow Q_s \sim \uparrow \downarrow B \downarrow D \uparrow F \uparrow \downarrow \lambda \uparrow S \downarrow P$$

As variáveis que figuram nas equações acima são definidas como: Q – descarga líquida; Q_s – descarga sólida; B – largura da calha; D – profundidade; F – raio hidráulico; λ – comprimento de onda dos meandros; S – declividade; P – sinuosidade.

No esquema da Figura A3.1, a Zona de Deposição apresenta-se como um cone de dejeção, com tendência de formação de depósitos. Para os cursos de água com foz diretamente nos mares e oceanos, os depósitos ocorrem em forma de leque (delta), normalmente representando formações recentes, do período Quaternário. Os canais fluviais que entalham na área do delta apresentam elevada dinâmica morfogenética, passando por alterações e desvios em curtos intervalos de tempo, dependendo de pulsos naturais ou de modificações induzidas pela ocupação antrópica. No trecho final do delta, de contato dos depósitos de sedimentos com a linha de praia, tem-se uma maior dinâmica nas formas do entalhe fluvial, com o controle dependendo da ação conjugada da vazão afluente, da descarga sólida, dos ventos e ondas.

A relação de Lane aplica-se essencialmente para rios em leitos aluviais e em equilíbrio morfodinâmico. Esse equilíbrio é entendido como aquele no qual a geometria da calha (seção transversal) não se altera por fenômenos de erosão e deposição, visto que o curso de água atingiu uma condição de capacidade de transportar toda a carga de sedimentos gerada na bacia hidrográfica.

Retornando ao tema da construção de uma barragem, a condição de equilíbrio pode ser alterada pelo remanso induzido no reservatório. A tendência inicial é a de retenção dos sedimentos, principalmente na faixa de granulometria mais grossa, formando depósitos de assoreamento que avançam de forma progressiva das cabeceiras do reservatório em direção ao corpo da barragem. O assoreamento progride até um determinado limite de estabilidade da calha, antes de estabelecer uma nova condição de equilíbrio, pela equalização das entradas e saídas de sedimentos (Figura A3.5).

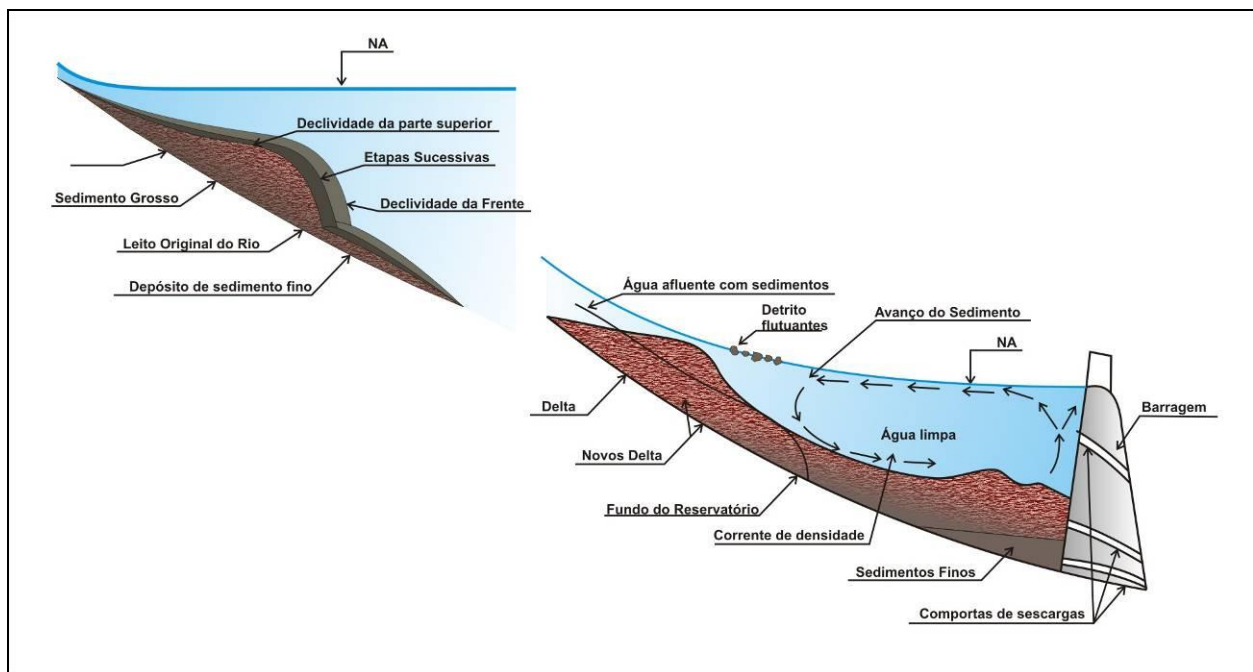


Figura A3.5 – Representação esquemática do processo de assoreamento de reservatórios.

O tempo gasto para a retomada da condição de equilíbrio depende do tamanho do reservatório. A magnitude do reservatório pode ser medida pela relação entre o volume total acumulado e o volume médio anual de vazão líquida escoado pelo curso de água. Essa relação fornece um indicador denominado **eficiência de retenção** do reservatório, que pode ser calculado com base em gráficos como o da Figura A3.6. Um reservatório pode ser classificado como de pequeno porte se apresentar baixa eficiência de retenção. Uma característica dos pequenos reservatórios é a redução acentuada da eficiência de retenção no início da operação, com tendência rápida para o ponto zero em função da perda de volume pelo assoreamento do volume morto.

Em qualquer tipo de reservatório, mesmo aqueles de pequeno porte, há uma tendência inicial de retenção de toda a fração da descarga sólida de arraste (material mais grosso do leito). O alcance da condição de equilíbrio e a estabilização dos depósitos junto ao paramento da barragem dependerão das estruturas hidráulicas de extravasamento, nas formas dos arranjos das comportas e descarregadores de fundo.

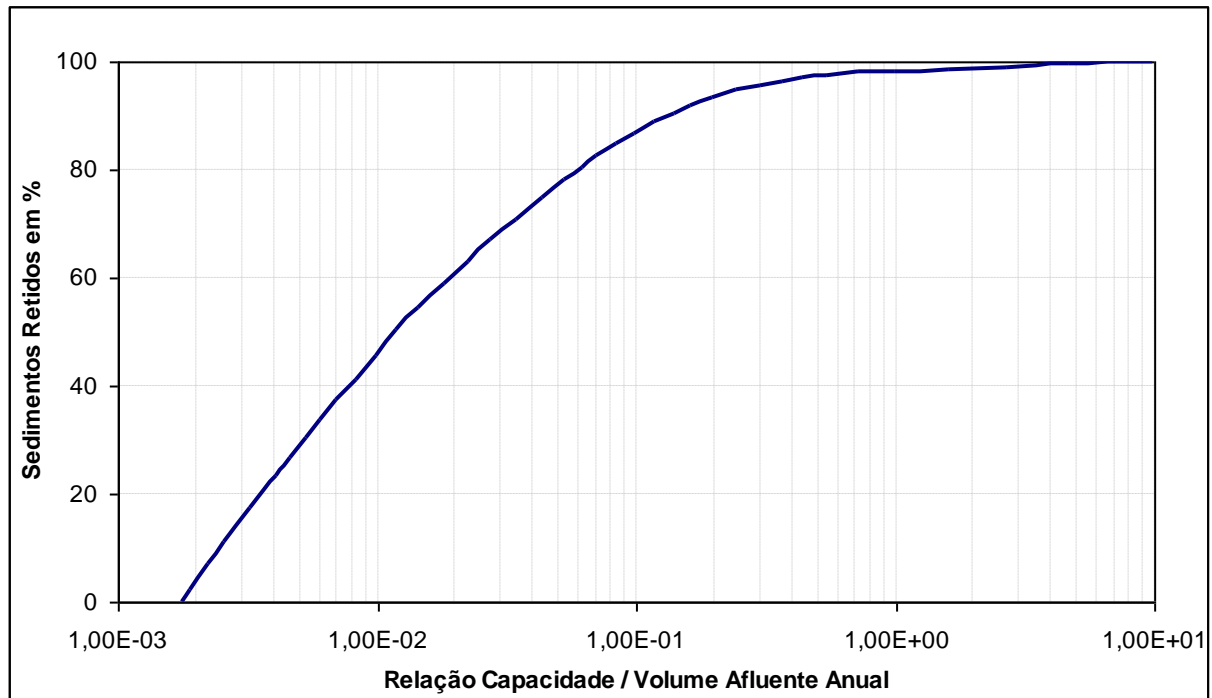


Figura A3.6 – Curva de eficiência de retenção de sedimentos em reservatórios.

A4. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL

Nesse Item é apresentado o **Diagnóstico Sedimentológico** da bacia do rio Paraíba do Sul, caracterizando as condições atuais de geração de sedimentos e de transporte na calha principal, em conexão à gênese do delta, junto à foz no oceano Atlântico. Precedendo o prognóstico, são descritos os elementos subsidiários relativos à rede hidrográfica, às obras hidráulicas implantadas na bacia e aos estudos hidrossedimentológicos clássicos que foram elaborados.

A4.1. REDE HIDROGRÁFICA

A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul desenvolve-se sobre os territórios de 3 estados da Região Sudeste do Brasil, com 55.400 km² de área de drenagem total (Figura A4.1), subdivididos, por ordem de importância, entre Rio de Janeiro no quadrante SE a E (21.000 km²), Minas Gerais no quadrante N a NW (20.900 km²) e São Paulo no quadrante W a SW (13.500 km²). Sua nascente é situada a, aproximadamente, 1800 m de altitude, na serra da Bocaina, no estado de São Paulo, enquanto sua desembocadura encontra-se no município de São João da Barra, norte fluminense.

A bacia se alonga na direção WSW-ENE, entre as escarpas e vertentes das duas serras mais imponentes da Região Sudeste: a serra do Mar, ao sul, e a serra da Mantiqueira, ao norte. Esta última abriga o ponto culminante na bacia: o Pico das Agulhas Negras, no Maciço do Itatiaia, com 2787 m de altitude.

O curso principal do rio Paraíba do Sul se forma a partir da confluência dos rios Paraitinga e Paraibuna, no estado de São Paulo, desenvolvendo-se, na seqüência, numa extensão longitudinal de 1120 km. As principais sub-bacias são: afluentes da margem esquerda (rios Paraibuna, Pomba e Muriaé), afluentes da margem direita (rios Dois Rios, Piabanha e Grande), além de sub-bacias menores que contribuem para as porções médias e altas do curso principal.

A Tabela A4.1 apresenta algumas características físicas e hidrológicas dessas bacias, as quais podem ser vistas pelas suas delimitações na Figura A4.1. Na Figura A4.2 está mostrado o perfil longitudinal do rio Paraíba do Sul, indicando a posição dos principais reservatórios, cidades e estações sedimentométricas. Nessa figura também se encontram indicados os trechos que se identificam com a morfogênese dos sedimentos (Figura A3.1), delimitados em conformidade com as quebras de relevo do perfil longitudinal, referenciados somente em função do curso de água principal. Como essa caracterização pode ser estendida para qualquer afluente, têm-se aportes de sedimentos em qualquer trecho do rio, em todas as confluências.

Considerou-se como Zona de Produção o trecho superior da bacia, até o eixo da UHE Funil, considerando que a Zona de Transporte compreende todo o estirão de jusante, até a altura da cidade de São Fidélis, onde ocorre a última soleira rochosa de controle geológico estrutural na bacia e iniciam os depósitos do Quaternário, na Zona de Deposição.

No contexto da rede hidrográfica, observa-se nos dados da Tabela A4.1 que as bacias dos rios Paraibuna, Pomba e Muriaé abrangem quase 50% da totalidade da área de drenagem da bacia do rio Paraíba do Sul, tendo assim papel relevante na geração de descargas sólidas.

Em termos de uso e ocupação do solo, fatores condicionantes da produção de sedimentos, a bacia vem experimentando uma alteração crescente na sua cobertura original, desde o auge do Ciclo do Café, na primeira metade do Século XIX. A partir de 1880, houve a implantação e uma grande expansão da malha ferroviária, principalmente na Zona da Mata Mineira (cabeceiras dos rios Pomba e Muriaé), quando se intensificou o processo de desmatamento para gerar o combustível das locomotivas. Nas últimas décadas, a bacia passou por um notável crescimento industrial, acompanhado por uma intensa expansão demográfica.

A qualidade dos recursos hídricos da bacia encontra-se fortemente alterada por poluições de origem doméstica, industrial e agropecuária, bem como por sobrecarga sedimentar devido à intensa erosão instalada em partes de suas sub-bacias afluentes, caso mais evidente nas áreas mais intensamente desmatadas das sub-bacias mineiras dos rios Pomba e Muriaé.

No trecho fluminense da bacia, da mesma forma, são efluentes de esgotos sanitários e despejos industriais a avolumar a carga poluente e chegar diretamente aos cursos de água. Agrava-se o problema, ainda, com a contribuição dos lixões, do desmatamento nas áreas de cabeceiras e a conseqüente erosão, a extração de recursos minerais em áreas de empréstimo, para a construção civil.

Tabela A4.1 - Características dos principais afluentes do rio Paraíba do Sul.

| Sub-Bacia | Área de Drenagem (km ²) | Percentual da Área de Drenagem Total (%) | Q _{MLT} (m ³ /s) |
|---------------------------|-------------------------------------|--|--------------------------------------|
| Foz do rio Piabanha | 2065 | 3,6 | 35,0 |
| Foz do rio Grande | 3169 | 5,6 | 38,9 |
| Foz do rio Muriaé | 8162 | 14,4 | 128 |
| Foz do rio Paraibuna | 8558 | 15,1 | 184 |
| Foz do rio Pomba | 8616 | 15,2 | 135 |
| Foz do rio Paraíba do Sul | 56.600 | 100,0 | 753 |

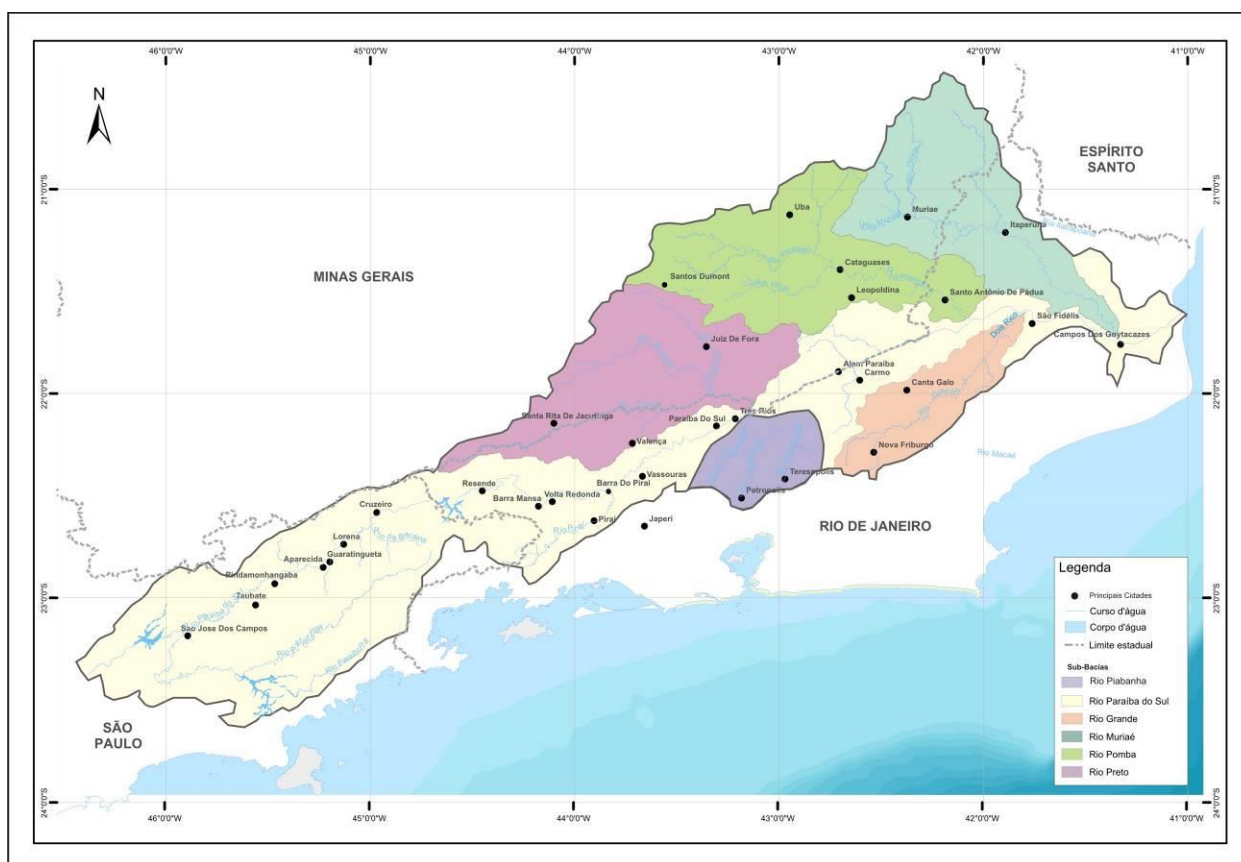


Figura A4.1 - Divisão das principais sub-bacias formadoras do rio Paraíba do Sul.

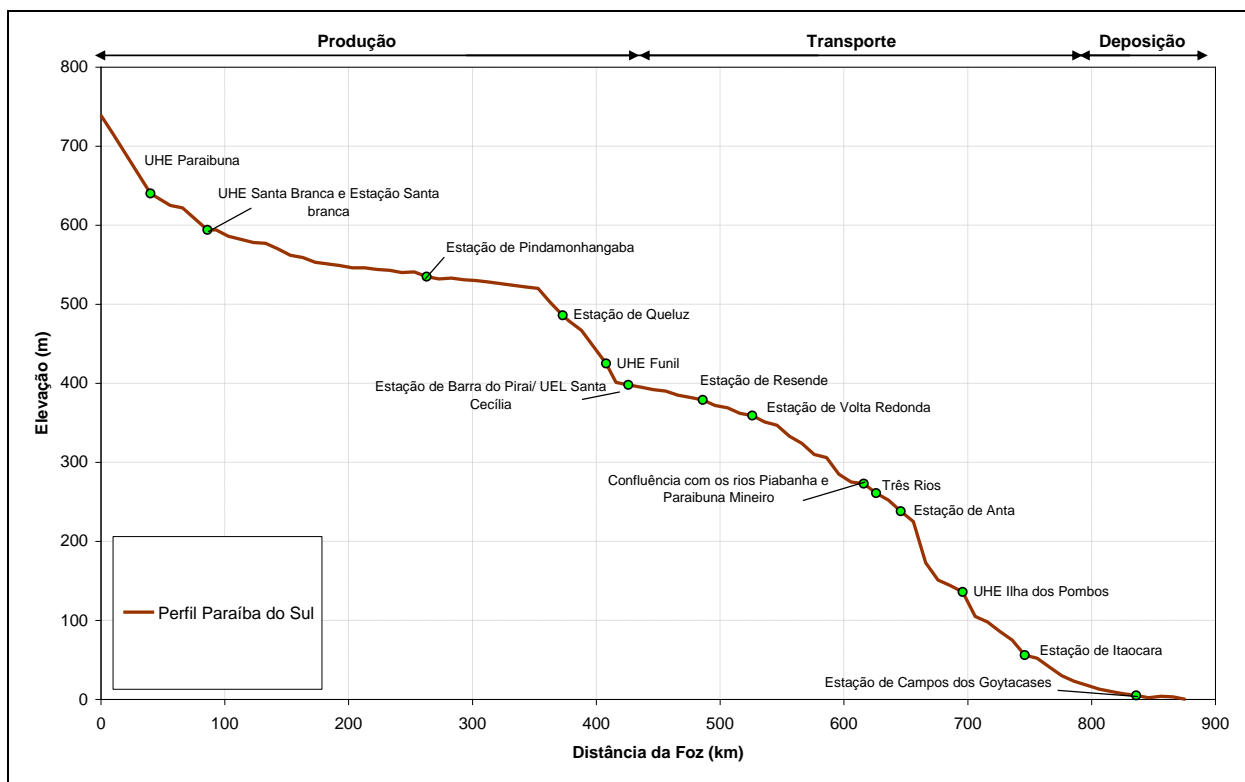


Figura A4.2 - Perfil longitudinal do rio Paraíba do Sul.

A4.2. EMPREENDIMENTOS HIDRÁULICOS

A bacia do rio Paraíba do Sul possui diversas obras hidráulicas que modificam **(i)** sua dinâmica de regime hidrológico (regularização de vazões de estiagem e derivações com transposição de bacias), **(ii)** o transporte de sedimentos (retenção em reservatórios) e a **(iii)** dinâmica de migração do leito fluvial (retificações e estabilização de margens). Todas essas obras interferem, em algum grau, nas condições de equilíbrio morfodinâmico, principalmente nos aspectos relacionados ao regime sedimentológico. A localização das principais obras hidráulicas está mostrada na Figura A4.3.

Tabela A4.2 - Características das principais intervenções hidráulicas da bacia do Paraíba do Sul.

| Nome | Curso de água | Área de Drenagem | Volume do Reservatório |
|--------------------------|--------------------------|------------------|------------------------|
| | | km ² | hm ³ |
| Barragem Chapéu D'Uvas | Rio Paraibuna | 309 | 153 |
| PCH Homero Junqueira | Rio Glória | 1040 | 2,6 |
| UHE Glória | Rio Glória | 1120 | 0,01 |
| PHC Ivan Botelho I | Rio Pomba | 1771 | 17,0 |
| PCH Ivan Botelho II | Rio Pomba | 1796 | 5,2 |
| PCH Ivan Botelho III | Rio Pomba | 2318 | 19,3 |
| UHE Barra do Braúna | Rio Pomba | 7180 | 33,7 |
| PCH Ituerê | Rio Pomba | 787 | 0,30 |
| UHE Areal | Rio Preto | 510 | 10,0 |
| UHE Jaguari | Rio Parateí | 1340 | 1396 |
| UHE Maurício | Rio Novo | 1745 | 22,0 |
| UHE Ilha dos Pombos | Rio Paraíba do Sul | 32.516 | 9,0 |
| UHE Funil | Rio Paraíba do Sul | 13.410 | 890 |
| UHE Santa Branca | Rio Paraíba do Sul | 5030 | 434 |
| UHE Paraibuna | Rio Paraibuna (Paulista) | 4000 | 2463 |
| Estação de Santa Cecília | Rio Paraíba do Sul | 16.947 | 4,4 |

A vazão média bombeada na Estação Elevatória de Santa Cecília é de 149 m³/s, totalizando 66% da vazão média de longo termo do rio Paraíba do Sul naquela seção e cerca de 20% da vazão média gerada em toda a bacia. Em termos qualitativos, a combinação dessa derivação com a retenção de sedimentos nos reservatórios pode até resultar em um balanço de equilíbrio, embora exista a possibilidade de ocorrerem alterações na geometria da calha fluvial. Além disso, pode-se estimar, através da vazão média e concentração média de sedimentos em suspensão, que a Estação Elevatória de Santa Cecília retire do rio Paraíba do Sul, anualmente, cerca de 680.000 toneladas de sedimento em suspensão, intensificando a supressão de sedimento imposta pelos reservatórios presentes na bacia.

No trecho do rio Paraíba do Sul inserido na Zona de Transporte de sedimentos, chama a atenção o fato de não haver indícios de assoreamento nas cabeceiras do reservatório da UHE Ilha dos Pombos, nas proximidades da cidade de Além Paraíba. Essa característica pode estar associada com a reduzida descarga sólida no trecho, em consequência das retenções nos reservatórios de montante.

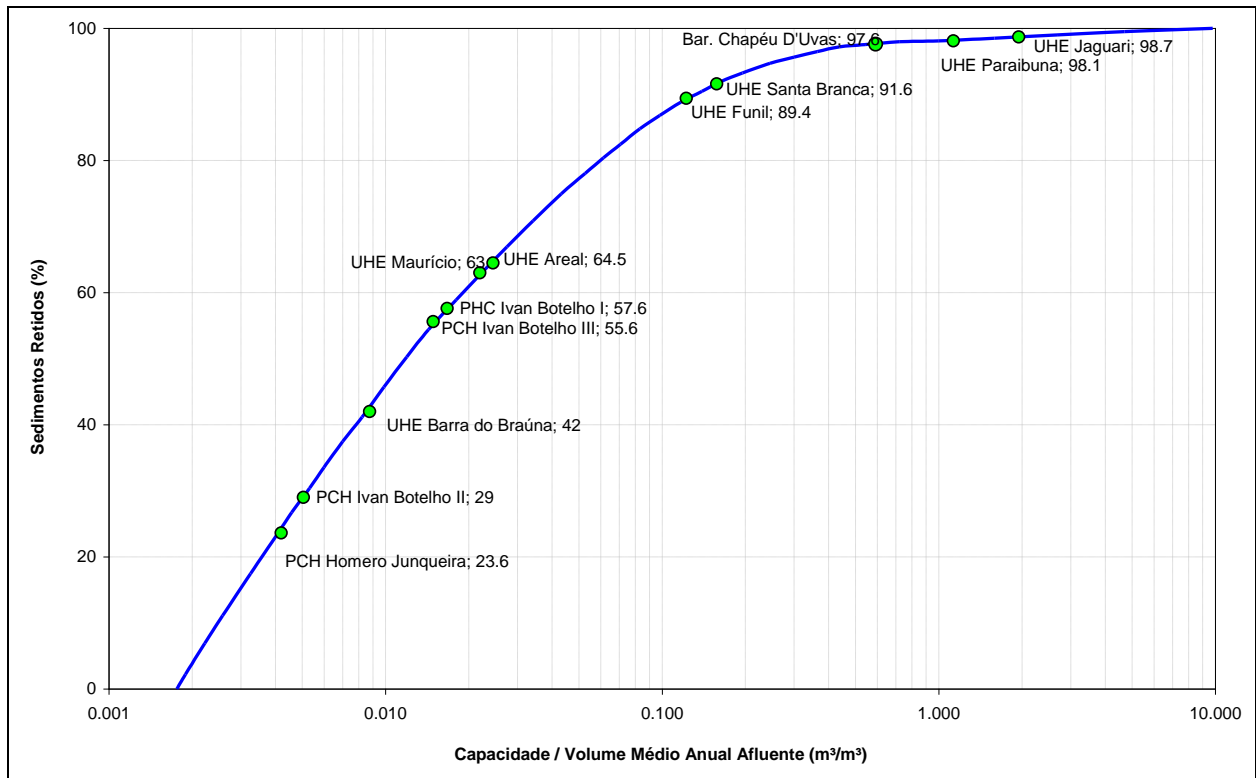


Figura A4.4 - Eficiência de retenção de sedimentos dos principais reservatórios da bacia do rio Paraíba do Sul.

Conforme destacado na Figura A4.3, foram implantadas várias obras de retificação do canal fluvial do rio Paraíba do Sul, no trecho paulista a montante da UHE Funil (Figura A4.5). Essas obras não interferem no regime hidrossedimentológico do rio, na escala da análise feita nesse estudo. Já as obras dos diques de proteção contra cheias, na altura da cidade de Campos dos Goitacazes, podem ter algum impacto na morfologia do delta, na medida que direciona o fluxo diretamente para NE, impedindo a deriva natural que ocorre nas desembocaduras dos deltas (Figura A4.6).

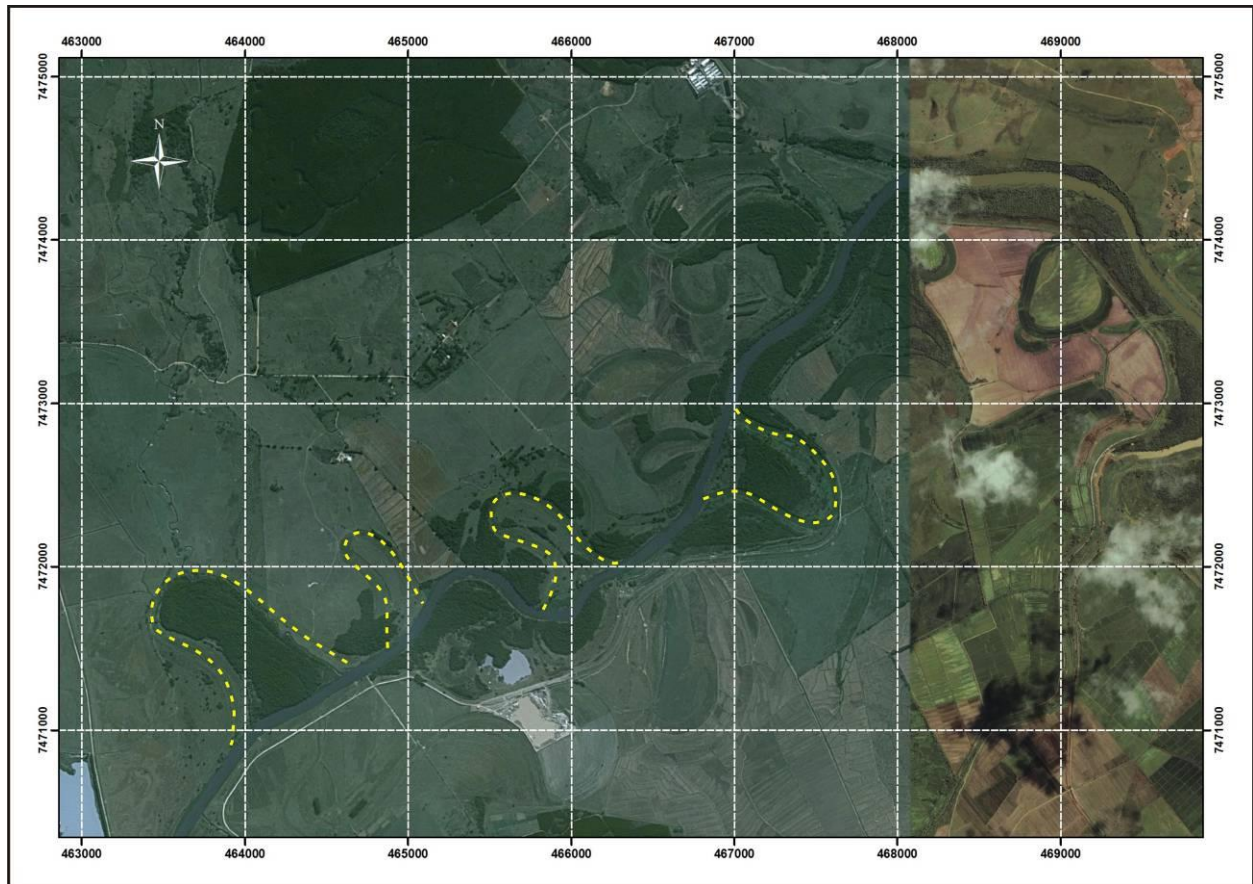


Figura A4.5 – Identificação dos meandros cortados devido à obra de retificação do leito do rio Paraíba do Sul, na altura da cidade de Roseira-SP.

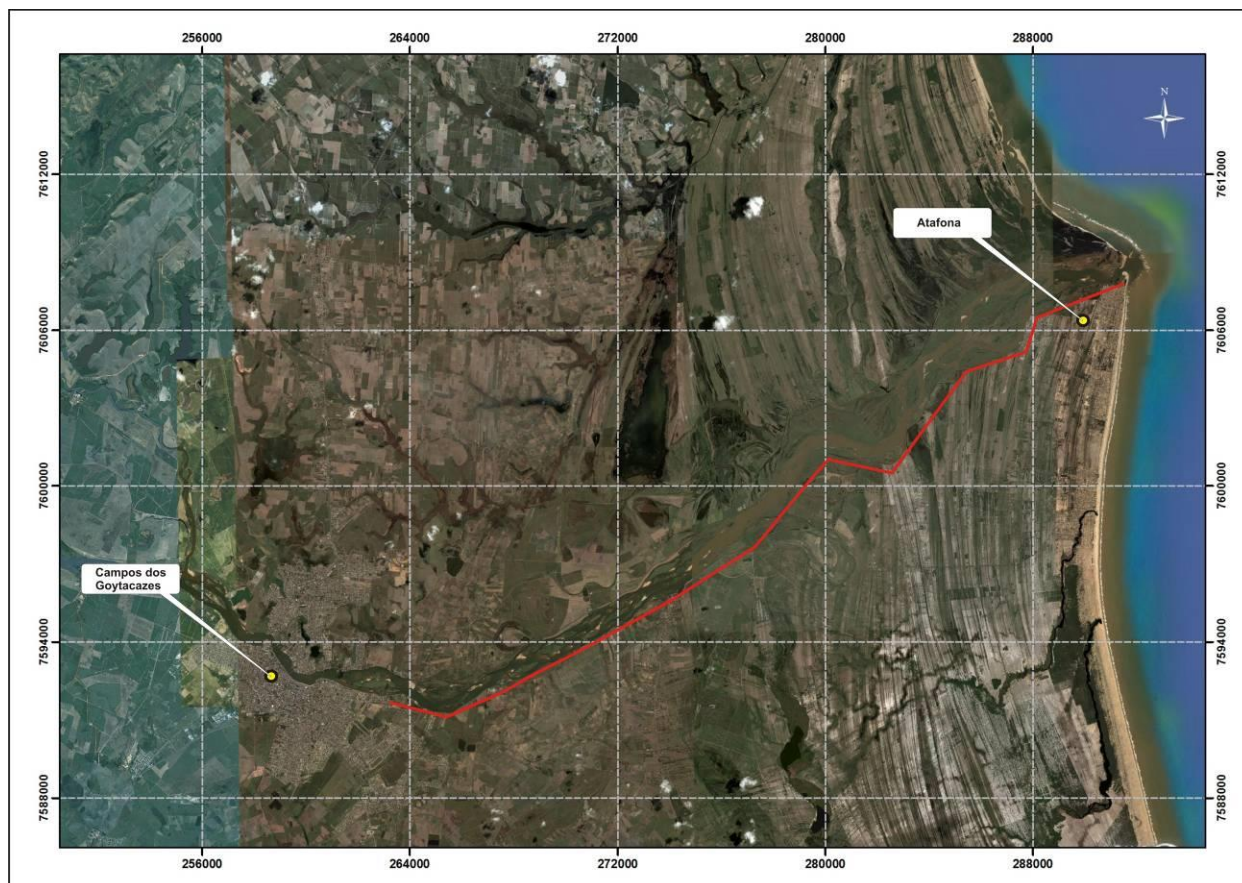


Figura A4.6 – Localização da linha de diques de contenção de cheias na região do delta do rio Paraíba do Sul.

A4.3. GEOMORFOLOGIA FLUVIAL

A análise feita no presente Item tem a finalidade de caracterizar a gênese dos sedimentos e da capacidade de transporte ao longo de diversos trechos da bacia do rio Paraíba do Sul, sob a ótica da geologia e geomorfologia. Nos Itens seqüentes serão abordados os aspectos específicos da região do estuário e da hidrossedimentologia clássica, que associa dados quantitativos ao transporte sólido na bacia.

A4.3.1. ASPECTOS GEOLÓGICOS E GEOMORFOLÓGICOS GERAIS

A bacia do rio Paraíba do Sul é situada, do ponto de vista geológico, no Cinturão Atlântico, constituído por zonas de cisalhamento brasileiras intrudidas por corpos magmáticos cretácicos e cenozóicos, que acompanharam os movimentos tectônicos tardios resultantes da abertura do Oceano Atlântico.

O mapa da Figura A4.7 mostra uma bacia constituída, predominantemente, por faixas WSW-ENE de rochas ígneo-metamórficas e ígneas, principalmente graníticas. As rochas intrusivas tardias encontram-se sob forma de pequenos corpos alinhados NW-SE ou ainda ao longo da borda sul da serra da Mantiqueira (maciços do Itatiaia e Passa Quatro). Em meio ao eixo central da bacia encontram-se áreas alveolares preenchidas por sedimentos cenozóicos, nas bacias de Taubaté, Resende e Volta Redonda, principalmente.

O relevo da bacia é, de modo geral, de caráter montanhoso, pois é composto, em sua maior parte, de geofomas pertencentes a dois maciços montanhosos dos mais altos da Região Sudeste do Brasil. As serras do Mar, ao sul, e da Mantiqueira, ao norte, atingem, frequentemente, altitudes superiores a 2000 metros e encerram, entre ambas, um vale estreito sob forma de corredor onde o rio Paraíba do Sul estica seu curso em altitudes situadas até 1500 metros mais baixo.

Esta configuração é o resultado, principalmente, de um rifteamento (abortado?) ocorrido no início do período terciário (aproximadamente 65 milhões de anos). Provavelmente como reflexo de intumescimento crustal surgido em consequência da abertura do Oceano Atlântico, ao final do período cretácico, intrusões magmáticas soergueram a crosta sob a forma de forte elevação convexa que, mais tarde, daria origem aos maciços montanhosos do Itatiaia e Passa Quatro. O conjunto da região, situada em torno desta elevação, acompanhou o movimento ascendente que resultou num grande abaulamento topográfico, mas cuja parte central sofreu abatimento tectônico, do qual resultou o corredor abrigando o eixo principal do rio Paraíba do Sul. Neste corredor, encontram-se depressões alargadas, hoje ligeiramente afirmadas, onde se alojam as áreas de Taubaté, Resende e Volta Redonda. Essas depressões resultam de controle tectônico terciário e, provavelmente, ainda ativo.

Deste modo, geraram-se as condições iniciais para a gênese da bacia hidrográfica que, ainda, incorporaram, por processo de captura, uma das antigas cabeceiras do rio Tietê, que escoava em direção a NW, inserindo-a na bacia, constituindo a atual cabeceira da bacia, representada pelos rios Paraitinga-Paraibuna-SP.

Este processo geológico, tardio na escala geológica, explica as grandes linhas da organização atual da bacia hidrográfica e deve ainda influenciar sua segmentação hidrodinâmica e seu comportamento morfodinâmico.

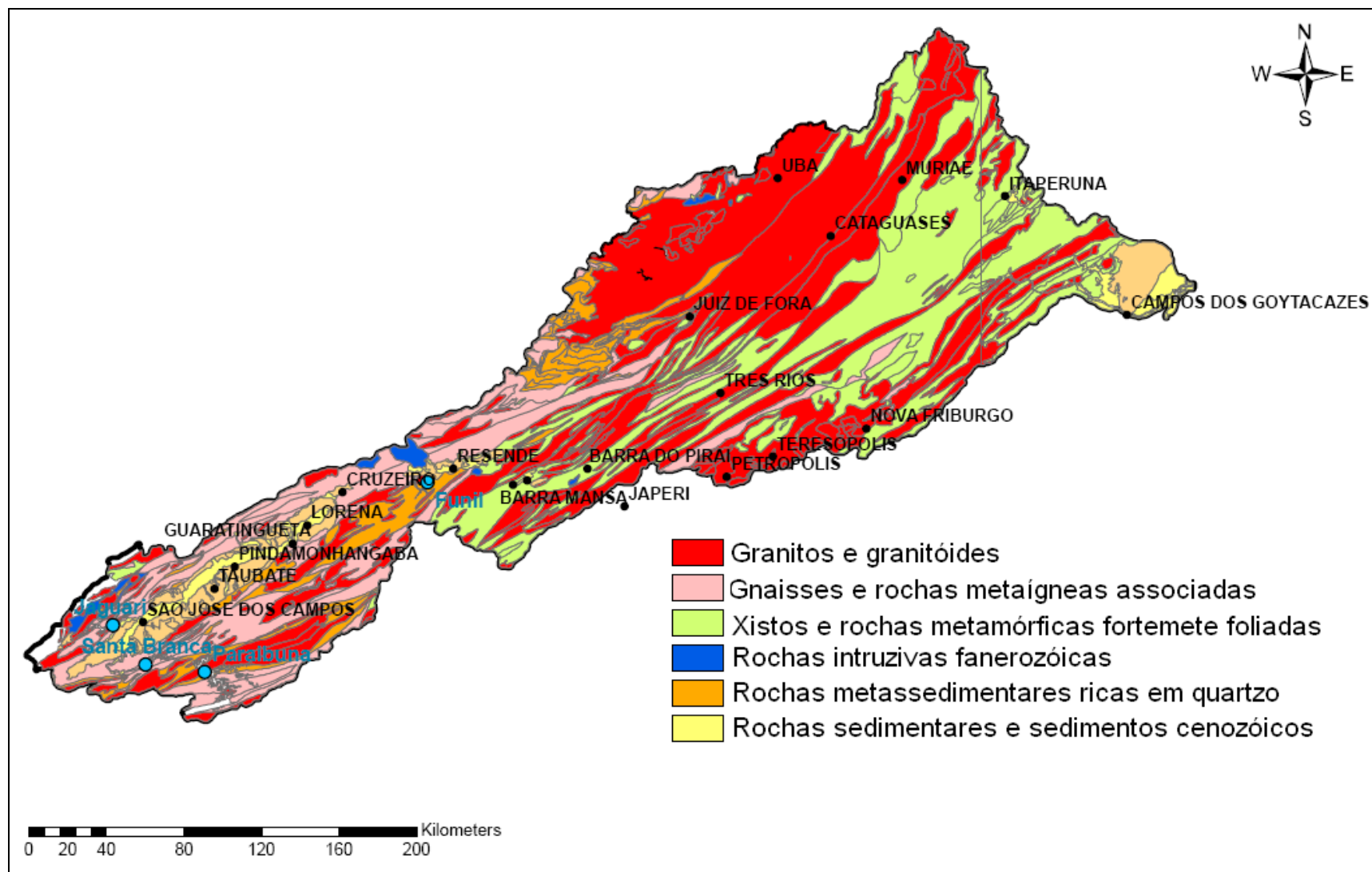


Figura A4.7 – Mapa geológico da bacia do rio Paraíba do Sul.

A4.3.2. POTENCIAL EROSIVO DA BACIA

A qualificação do relevo nas classes que seguem (Muito Fraco, Fraco, Moderado, Forte, Muito Forte e Extremamente Forte) procura expressar sua energia global, com base na associação de dois critérios morfológicos e semi-quantitativos: o grau de dissecação que caracteriza a amplitude de relevo através do aprofundamento das calhas de drenagem com relação aos topos, e a densidade de drenagem que representa a relação entre a quantidade de canais por unidade de superfície.

Esta qualificação, enquanto abordagem preliminar do potencial erosivo e, conseqüentemente, gerador de sedimentos das diversas partes da bacia hidrográfica, foi montada com base em interpretação das informações reunidas nos trabalhos do Projeto Radam Brasil (1983).

RELEVO FRACO

Formas de relevo: Relevo composto por colinas com encostas convexas e topos arredondados ou tabulares com aprofundamento da drenagem entre 44 m e 92 m e declividades variando entre 5° e 24°. As colinas alternam com alvéolos fluviais e são cobertas por formações superficiais argilosas e areno-argilosas.

Comportamento morfodinâmico: A densidade de drenagem fina caracteriza um equilíbrio entre processos erosivos e pedogenéticos, a muito fina indica um potencial de maior concentração dos processos erosivos (principalmente em áreas de culturas cíclicas e criação extensiva em pastagens naturais) formando sulcos, ravinas e voçorocas.

Sub-bacias envolvidas: Um conjunto de sub-bacias com densidade de drenagem Muito Fina: rio do Pinho, rio Grão-Mongol, rio Paraopeba, rio Xopotó, rio Gavião, ribeirão dos Monos, médio curso do rio Pomba. Um conjunto de sub-bacias com densidade de drenagem Extremamente Fina: rio Jacuí/rio Paraitinga, rio Lourenço Velho /Paraibuna, rio Itagaçaba, trecho do eixo central entre Funil e Santa Cecília, rio Barreiro de Baixo, rio do Bananal, rio Piraí, rio Piabanha e ribeirão das Aréias.

RELEVO MODERADO

Formas de relevo: Relevo gerado por processos de dissecação controlados pela estrutura, portanto orientados pela mesma, apresentando-se sob a forma de cristas assimétricas e escarpas que - na base - se fundem com rampas de colúvio, além de "mares de morros" e colinas convexas. O aprofundamento da drenagem atinge valores entre 98 m e 155 m, em meio a encostas inclinadas entre 11° e 24° e cobertas por formações superficiais espessas, de textura areno-argilosa.

Comportamento morfodinâmico: Dominam processos de desagregação mecânica, escoamento difuso, movimentos de massa e escoamento superficial gerando ravinas. Estes se acentuam quando as encostas íngremes são ocupadas por pastagens. Por outro lado, a cobertura coluvial espessa e com textura argilosa e areno-argilosa contribui fortemente para o avanço dos processos erosivos.

Sub-bacias envolvidas: Um conjunto de bacias caracterizadas por densidade de drenagem Muito fina, o que constitui fator de manutenção e acentuação dos processos de erosão por ravinamento: rio São Fernando, rio Bonito, rio das Flores, rio Angu, rio Pirapetinga, trecho do eixo central entre Três Rios e Itaocara.

RELEVO FORTE

Formas de relevo: Relevo constituído por conjunto de serras alongadas, escarpas e esporões proeminentes, onde o aprofundamento da drenagem atinge 158 m a 201 m, em meio a encostas com declividades variando entre 24° e 37°, e cobertas por formações superficiais pouco espessas, de textura argilosa e areno-argilosa.

Comportamento morfodinâmico: Existem condições propícias a processos erosivos intensos, incluindo movimentos de massa expressos por deslizamentos e rastejos. Este forte grau de instabilidade é, também, o resultado de uma intensa desagregação mecânica que dá origem à formação de talus de blocos no sopé das encostas. Por outro lado, as condições favoráveis ao escoamento superficial difuso, bem como concentrado, aceleram os movimentos de massa nas encostas onde a cobertura vegetal foi retirada.

Sub-bacias envolvidas: Conjunto de sub-bacias com densidade de drenagem Muito Fina: sub-bacias Paraitinga/Paraibuna SP, Peixe (Jaguari SP), Peixe (Paraibuna MG), divisores do trecho médio Pomba/Muriaé e curso final dos rios Grande e Dois Rios. Conjunto de sub-bacias com densidade de drenagem Fina: rio Carangola e alto curso do rio Pomba, tais como ribeirão Lontra e rio Formoso.

RELEVO MUITO FORTE

Formas de relevo: Dominam formas de relevo estruturais representadas por cristas de topos aguçados, “pães-de-açúcar”, morros e escarpas subparalelas e patamares escalonados, com aprofundamento da drenagem situada entre 212 m e 312 m. As encostas rochosas nas partes altas e cobertas por formações superficiais argilosas, em suas partes baixas, apresentam declividades que atingem 24° a 37°.

Comportamento morfodinâmico: Os processos de escoamento difuso e concentrado encontram situação favorável à gênese de ravinas, assim como diversos tipos de movimentos de massa, ocorrendo, freqüentemente desmoronamentos de blocos rochosos e escorregamentos de terra, agravados principalmente nos períodos de maior concentração de chuvas.

Sub-bacias envolvidas: Conjunto de sub-bacias com densidade de drenagem Muito Fina: rio Macuco, e alto curso dos rios Negro e Grande.

RELEVO EXTREMAMENTE FORTE

Formas de relevo: As formas de relevo são fortemente controladas pelas características estruturais, expressando feições de escarpas íngremes, cristas e esporões. As declividades

das encostas, que raramente apresentam notáveis espessuras de formações superficiais com textura argilosa e areno-argilosa, superam 37° e a drenagem se encaixa em profundidades de 344 m a 446 m.

Comportamento morfodinâmico: Com as fortes declividades, os movimentos de massa encontram um meio favorável e ocorrem constantemente, por processos de deslizamentos e quedas de blocos, mesmo com a presença da cobertura vegetal.

Sub-bacias envolvidas: Conjunto de sub-bacias com densidade de drenagem Muito Fina: rio Passa Vinte, e trechos paulistas do eixo central até Funil e de Funil até Santa Cecília. Conjunto de sub-bacias com densidade de drenagem Fina: alto curso dos rios Barreiro de Baixo, do Bananal e Pirai.

RELEVO EXTREMAMENTE FORTE (densidade de drenagem Muito Fina) graduando para **RELEVO MUITO FORTE** (densidade de drenagem Fina)

Formas de relevo: As formas de relevo apresentam notável controle estrutural e são representadas por “pães-de-açúcar”, cristas, escarpas íngremes e subparalelas e patamares escalonados. As declividades das encostas, que não apresentam boas espessuras de formações superficiais com textura argilosa a areno-argilosa, atingem 24° a 37° e a drenagem se encaixa em profundidades de 212 m a 446 m.

Comportamento morfodinâmico: Os processos de escoamento difuso e concentrado encontram situação favorável ao desenvolvimento de ravinas, assim como diversos tipos de movimentos de massa, tais como deslizamentos, desmoronamentos e quedas de blocos rochosos e escorregamentos de terra, agravados principalmente nos períodos de maior concentração de chuvas.

Sub-bacias envolvidas: Conjunto de sub-bacias dos rios Paquequer, Preto e Piabanha.

A4.3.3. DINÂMICA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS

Em complemento às informações regionais citadas nos itens anteriores, este Item objetiva detalhar as causas e modalidades da produção e transferência dos sedimentos ao longo da bacia hidrográfica. Ênfase especial é dada ao potencial de produção de areias como insumo básico das cargas de fundo dos sistemas hidroerosivos. Para facilitar o entendimento do texto descritivo, foram montadas as figuras listadas abaixo, servindo para ilustrar a compartimentação espacial adotada, bem como os parâmetros observados que serviram a esta finalidade:

- ❑ Figura A4.8: perfil longitudinal ao longo do curso principal do rio Paraíba do Sul;
- ❑ Figura A4.9: esboço hipsométrico da bacia, sem escala de altitude real, elaborada com base em cartografia com equidistância de 100 m entre curvas de nível;
- ❑ Figura A4.10: mapa litológico da bacia com ênfase no potencial de produção de areias;
- ❑ Figura A4.11: mapa morfoestrutural, com localização das soleiras, bacias sedimentares e compartimentação estrutural da bacia.

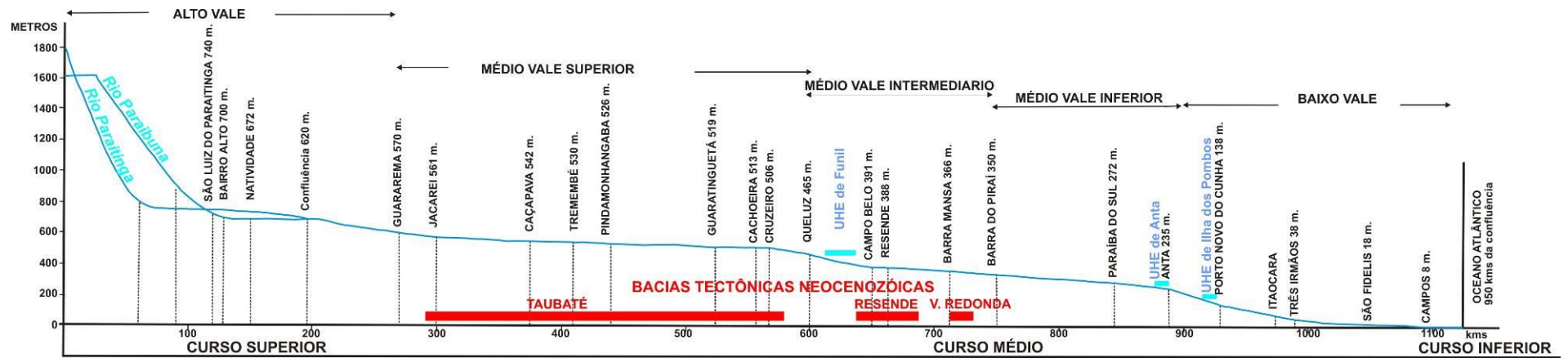


Figura A4.8: Perfil longitudinal ao longo do curso principal do rio Paraíba do Sul.

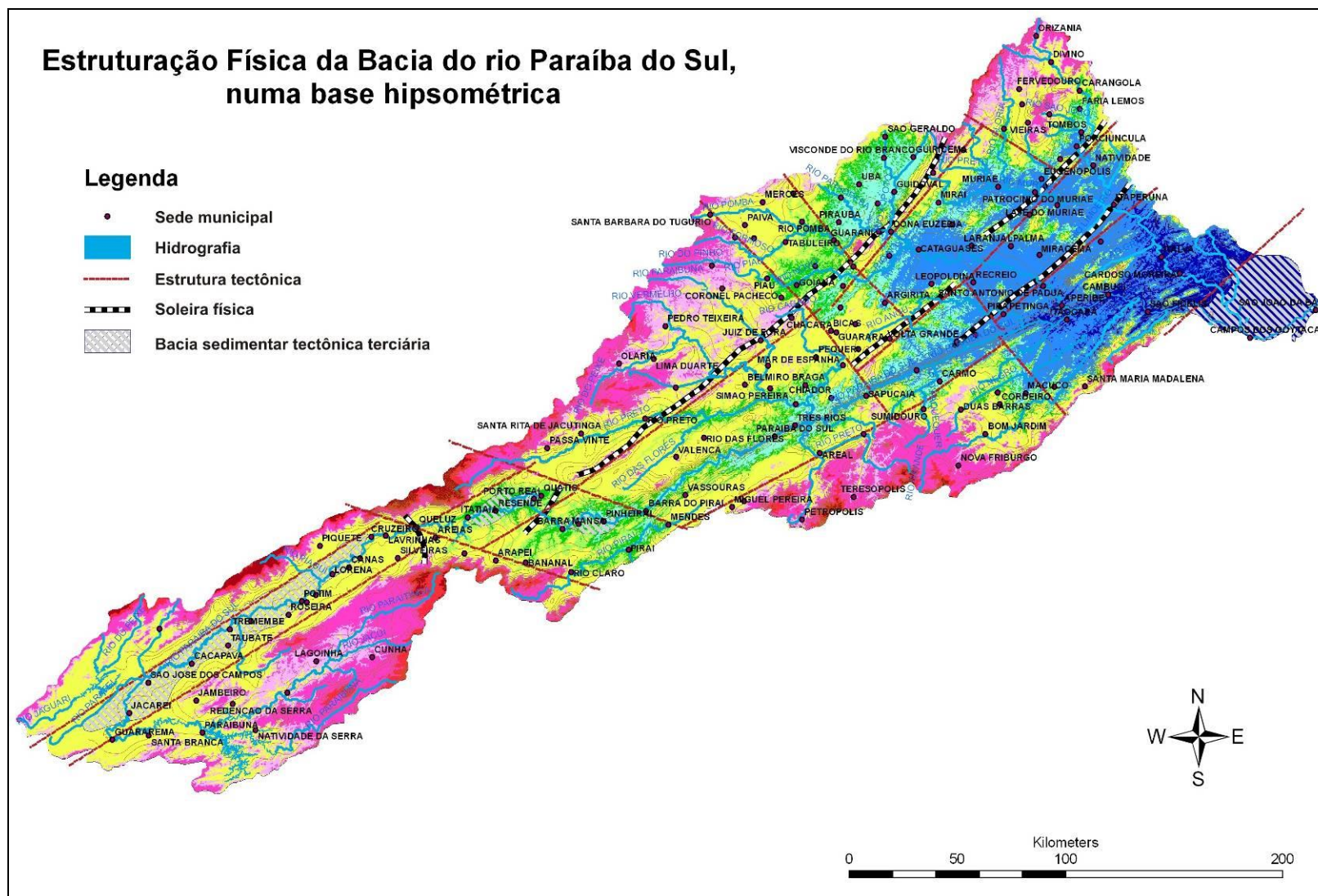


Figura A4.9: Esboço hipsométrico da bacia, sem escala de altitude real, elaborado com base em cartografia com equidistância de 100 m entre curvas de nível;

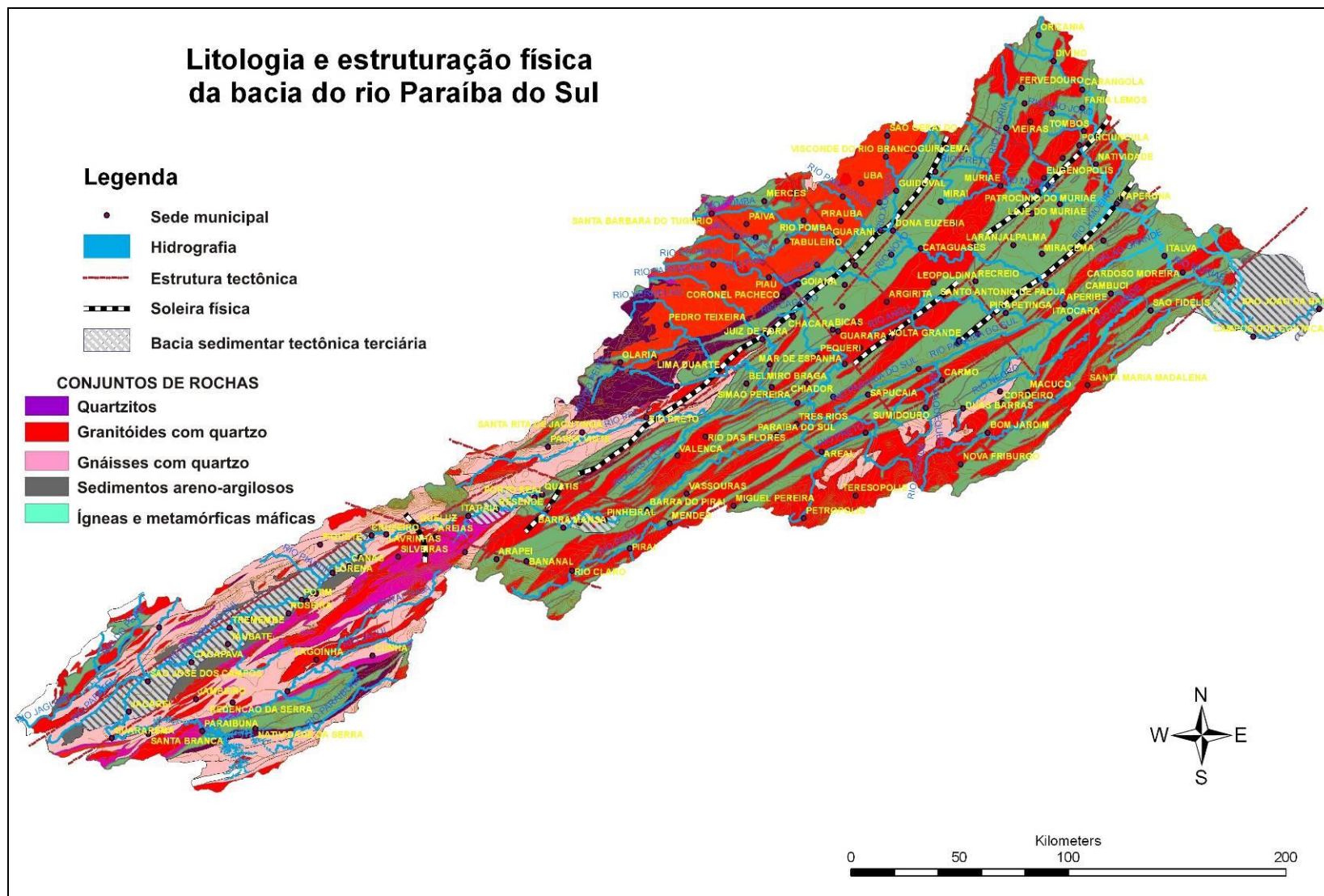


Figura A4.10: Mapa litológico da bacia com ênfase no potencial de produção de areias.

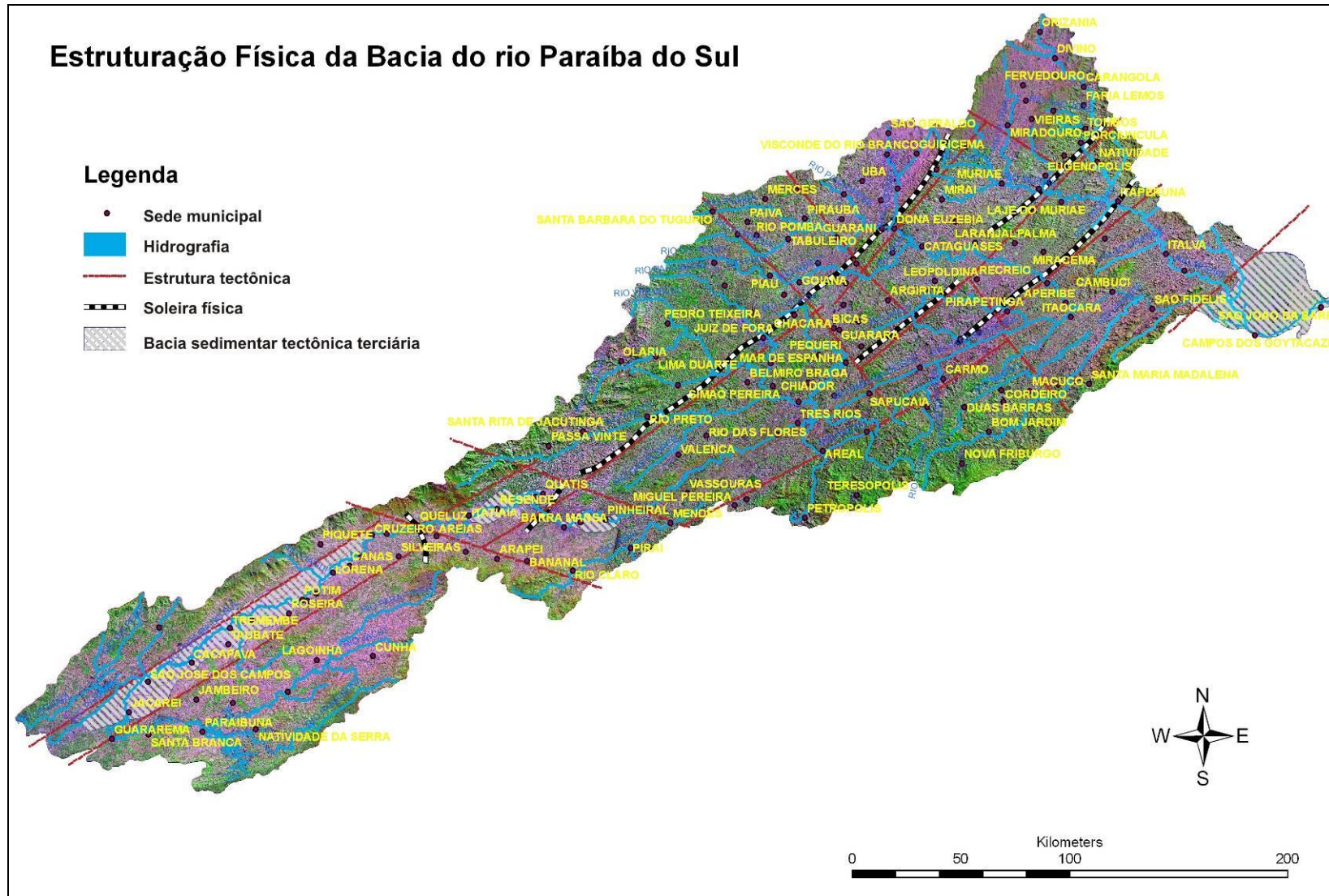


Figura A4.11: Mapa morfoestrutural, com localização das soleiras, bacias sedimentares e compartimentação estrutural da bacia.

A bacia foi subdividida em Alto, Médio e Baixo Vale com referência ao rio principal. Subdivisões são introduzidas, tanto no sentido de montante para jusante, quanto no sentido transversal destas porções.

ALTO VALE (Paraibuna-Paraitinga/SP)

O Alto Vale do rio Paraíba do Sul é composto pelas bacias dos rios Paraibuna-SP e Paraitinga, encaixadas, no estado de São Paulo, entre as serras do Mar ao sul e da Quebra-Cangalha (linha de crista avançada da serra do Mar), ao norte. O rio Paraitinga, o mais comprido dos dois, tem sua nascente localizada em altitude de 1800 metros, no Planalto da Bocaina, enquanto a nascente do rio Paraibuna se limita a uma altitude de 1600 metros.

Ambos correm paralelamente, de nordeste para sudoeste, entre rígidas linhas de crista talhadas em rochas predominantemente graníticas e gnáissicas. Esta direção é duramente imposta pela estrutura geológica representada por zona de cisalhamento brasileira que empinou o mergulho da foliação regional.

Seus vales superiores, relativamente estreitos em seus segmentos superiores, inclinam-se em mais de 1%, abrem progressivamente a jusante de Cunha/Lagoinha até a confluência em Paraibuna (Represa da CESP de Paraibuna), na altitude aproximada de 620 metros, conservando, no entanto um percurso recheado de corredeiras e soleiras de rochas duras. Neste trecho, os cursos de água correm encaixados no substrato granítico, seja em curtos segmentos retilíneos NE-SW, ou, mais freqüentemente, em meandros encaixados na rocha e sob controle de fraturas e falhas sub-perpendiculares à direção regional da foliação.

O baixo curso, já constituído por canal único, que se estende deste ponto até o limite inferior do Alto Vale do RPS, no local denominado “Cotovelo de Guararema”, na altitude de 570 metros. Este cotovelo que conduz o rio Paraíba do Sul a adotar, a partir deste ponto, um rumo totalmente oposto ao anterior é uma anomalia de drenagem que representa a expressão mais contundente de uma captura de um “paleo-Alto Tietê”, operada na passagem do Cretáceo para o Terciário.

Com estas características morfoestruturais, é lógico encontrar uma morfologia do “mares de morros” constituídos por colinas e morros convexo-côncavos, às vezes com topos ligeiramente arredondados, entre os quais divagam os cursos de água em curtos trechos que alternam pequenos alvéolos preenchidos por produtos da erosão, sob forma de pequenas planícies brejosas, e estreitamentos com corredeiras ou pequenas cachoeiras.

A alteração das rochas granitóides sob condições climáticas intertropicais úmidas, catalisada pelo denso fraturamento, permitiu a gênese de coberturas superficiais espessas e friáveis. Resultou disto a implantação de um sistema de erosão que associa processo de movimentos de massa (deslizamentos, escorregamentos, fluidizações) com voçorocas, algumas estabilizadas, mas apresentando sinais de reativação. Os produtos desta erosão parecem exceder a capacidade de transporte dos cursos de água e ficam entulhando os alvéolos fluviais, apesar da alta densidade da rede de drenagem e da aparente energia elevada do relevo. O eixo central da bacia do rio Paraibuna é, quanto a ele, ocupado por litotipos

caracterizados por conteúdo mineralógico máfico, mas são parcialmente cercados por conjuntos quartzíticos que suprem o sistema em areias quartzosas.

MÉDIO VALE SUPERIOR

O Médio Vale Superior do rio Paraíba do Sul é representado pelo trecho do médio vale bordejado pela serra da Quebra-Cangalha (1300 metros), em toda a extensão do Alto Vale, ao sul, e a alta escarpa da serra da Mantiqueira que, ao norte, ergue-se com o Planalto de Campos do Jordão (1200 metros) e o conjunto dos maciços de Passa Quatro e do Itatiaia (2800 metros).

O fundo do vale se mantém entre as cotas de 600 m e 500 m, sendo que o rio Paraíba do Sul escoava entre as cotas 570 m, no cotovelo de Guararema, e 513 m, em Cachoeira Paulista, perfazendo um desnível de apenas 57 m em uma distância de aproximadamente 250 km. Entre Jacareí e Cachoeira Paulista, a declividade do canal é de apenas 0,000186 m/m, menor que os 0,000387 m/m do curso inferior do rio na área de sua foz.

Isto explica sua seqüência morfológica que articula planícies aluviais submersíveis (várzeas), com largura oscilando entre 2,5 km e 4,0 km, onde a drenagem apresenta aspectos labirínticos e forte meandramento, indicando caráter de área claramente deprimida no contexto local, ou provavelmente subsidente. Em torno dessas várzeas, e mais freqüentemente à margem direita (sul), extensas áreas de colinas suaves se desenvolvem sobre distâncias de 15 km a 20 km. Esta fisionomia resulta de sua característica de vale tectônico, gerado pelo afundamento deste bloco relativamente ao soerguimento dos conjuntos serranos que o bordejam, durante o Período Terciário. Com este fenômeno, a depressão assim formada foi preenchida por depósitos sedimentares fluviais e lacustres, constituintes da Bacia Neocenozóica de Taubaté, largamente denunciada pelo aspecto de planície ligeiramente retocada exibido pela região situada entre Jacareí e Cachoeira Paulista.

Este processo de afundamento relativo parece não ter cessado, considerando o contato ainda brusco e anguloso que persiste em vários trechos do contato entre esta planície e a serra da Mantiqueira, à margem esquerda (norte). Há indícios de que aquela borda poderia estar ainda sob efeito de basculamento de bloco e, ao modo de um hemigraben, funcionar como borda de ângulo de falha ativa.

A litologia é composta por um embasamento organizado em lascas de direção ENE-SSW, onde predominam litotipos graníticos e gnáissicos, cuja alteração é potencialmente fornecedora de areias quartzosas, ao lado de argilas e siltes. Em meio ao conjunto, ficam espremidas manchas lenticulares de rochas metamórficas, principalmente xistosas com conteúdo quartzoso.

O centro da bacia apresenta uma espessa cobertura sedimentar de argilas e areias terciárias (Bacia de Taubaté) sobrepostas por camadas aluviais quaternárias, formando uma grande mancha que se estende de Guararema a Cruzeiro.

A dinâmica erosiva deste médio vale é notável pelas freqüentes voçorocas que rasgam as encostas das colinas, bem como as formas de conchas que tanto podem corresponder a

voçorocas estabilizadas, mas sempre em condição de estabilidade relativa, quanto sinalizam processos de movimentos de massa que trazem lenta, mas seguramente, os materiais friáveis dos mantos de alteração aos fundos de vales. Na realidade, os dois tipos de processos são complementares, ocorrendo em sistemas de recíproca catalisação.

As freqüências das voçorocas e dos derretimentos de solos nas encostas sinalizam o funcionamento de um sistema erosivo em materiais porosos, ou seja, bastante arenosos. Até a toponímia local assumiu esta característica com a denominação à localidade de Areias, que se situa a SSE de Queluz, no limite oriental de um enorme campo de voçorocas associadas a movimentos de massa.

Esta parte da bacia é isolada da porção de jusante por uma soleira composta pela elevação topográfica de um conjunto de morros gnáissicos. Esta larga e maciça soleira em rochas cristalinas da região de Queluz (aproximadamente 40 km), interliga as fraldas do maciço do Itatiaia, ao norte, às do Planalto da Bocaina, ao sul, e funciona como um travessão que mantém suspensa a depressão do Médio Vale Superior.

MÉDIO VALE INTERMEDIÁRIO

O Médio Vale Intermediário é o trecho da bacia delimitado, a oeste, pela soleira de Queluz e, a leste, pelo estreitamento do vale do Paraíba do Sul em Barra do Piraí. É constituído por duas depressões fluviais instaladas sobre as áreas de bacias sedimentares tectônicas terciárias, contemporâneas da Bacia de Taubaté – Bacia de Resende e Bacia de Volta Redonda -, separadas por uma ligeira soleira na direção da foliação regional ENE-WSW, situada entre Quatis/Porto Real e Barra Mansa. O rio Paraíba do Sul impôs a esta soleira um curso de direção NW-SE, cavado em estreito canal afunilado na direção NW-SE adaptada às falhas e fraturas que cortam perpendicularmente o *trend* regional. Essas últimas estruturas, de idade provavelmente mesozóica, interagem com a maior parte da rede de drenagem em todo o trecho da bacia em análise, controlando uma geometria fluvial em baioneta que pode ser observada até no desenho da represa da UHE Funil que se encontra localizada na extremidade ocidental da porção de vale.

A morfologia desta porção do vale do rio Paraíba do Sul repete a do Alto Vale Superior, com as serras que cercam as extremidades sul e norte, as colinas tabulares talhadas em rochas gnáissicas e graníticas, intercaladas com charnokitos de composição mineralo-química mais máfica e, ao centro, as planícies onde o rio Paraíba do Sul serpenteia em meio a um canal encaixado no assoalho litológico formado ocasionalmente de sedimentos terciários. Não se observa aqui o aspecto hidromórfico das planícies da Bacia de Taubaté. A dinâmica geomorfológica conserva o mesmo modelo, no entanto com intensidade amenizada.

Esta unidade territorial assume importante papel no fornecimento de sedimentos à rede hidrográfica, pois abriga uma região caracterizada por um desenvolvimento impressionante da erosão por voçorocas, a região de Bananal-SP, localizada na sub-bacia homônima. Este tipo de sistema de erosão, que alia ravinamentos a movimentos de massa, é estreitamente ligado à existência de lençóis de água subterrânea suspensos em encostas a componente arenosa e, conforme o caso, fortemente fraturadas.

MÉDIO VALE INFERIOR

O trecho que deve representar o Médio Vale Inferior é de maior complexidade, pois ocupa uma parte muito grande da bacia e dá início às partes desta que incorporam sub-bacias hidrográficas bastante diversificadas. Também, deve-se considerar o fato dessas alargarem-se em ambas as margens, incorporando maiores espaços serranos do que nas partes do sistema hidrográfico situadas mais a montante. Este trecho inclui as sub-bacias do sistema hidrográfico que contribui ao segmento do rio Paraíba do Sul situado entre Barra do Piraí, a oeste, e o barramento da UHE Anta, a leste. Trata-se, portanto, de um conjunto hidrográfico que, além de integrar o referido segmento do rio principal, inclui a bacia do rio Paraibuna-MG à margem esquerda (norte) e as dos rios Preto e Calçado à margem direita (sul).

O rio Paraibuna-MG busca suas nascentes na serra da Mantiqueira, mais especialmente nas serras quartzíticas do atual Parque Estadual do Ibitipoca, em altitude de aproximadamente 1500 metros, para juntar suas águas às do rio Paraíba do Sul, na cota aproximada de 264 metros, perfazendo um desnível de 1236 metros. Este percurso é realizado, numa distância reta de 90 km, através de vários pequenos degraus controlados pelas inúmeras soleiras impostas pela alternância de faixas litoestruturais de direção NE-SW. No entanto, uma delas assume um papel de segmentação fundamental, ao sustentar um degrau superior que abriga todos os altos cursos desta bacia, como também do rio Pomba. Passando pelas cidades de Juiz de Fora e Rio Preto, ele se conecta à soleira que separa as bacias sedimentares de Resende e Volta Redonda. Este degrau é ainda realçado, no caso da bacia do rio Paraibuna, pelo caráter predominantemente quartzítico do conjunto de serras, dentro das quais a do Ibitipoca, de Lima Duarte e do Chora. Este litotipo se altera em saprolito essencialmente arenoso, conforme se pode observar nas trilhas da região, bem como nas manchas claras que aparecem nitidamente nas imagens de satélite. O fornecimento de areias é ainda reforçado, nesta área, pelo embasamento granítico com notável componente quartzosa, cujos mantos de alteração estão sendo mobilizados por movimentos de massa, onde o fenômeno de fluidização parece assumir um papel muito importante.

No entanto, o transporte dessas áreas em direção a jusante deve ser realizado por processos de substituição de carga muito freqüentes, devido à forte segmentação da bacia pelas inúmeras soleiras, como também devido à presença de dois barramentos: Picada e em Levy Gasparian. Este último se antecede a uma segunda soleira importante, antes que o baixo curso adentre a faixa central da bacia do rio Paraíba do Sul, com sua faixa de rochas granito-gnáissicas extremamente cisalhadas por estruturas verticais. Entre as duas soleiras principais, a litologia incorpora faixas de rochas com notável componente máfica, aptas a fornecer uma carga sedimentar mais fina, com siltes e argilas.

Os rios de margem direita, quanto a eles se alimentam das águas da Serra do Mar, no conjunto serrano de Terosópolis e Petrópolis, em altitude que aproxima os 2000 metros. A organização morfológica é, neste caso, mais simples, pois composta do elemento montanhoso compacto da serra do Mar que domina um conjunto de mares de morros. As referidas serras abrigam os altos cursos dos formadores do rio Preto, sobre um embasamento essencialmente granitóide a componente quartzosa, onde são freqüentes as corridas de lama envolvendo massas

terrígenas arrancadas aos profundos mantos de intemperismo. Esta mobilização resulta no afloramento da rocha em altos morros em forma de pão de açúcar, muito freqüentes na região. Quanto aos mares de morros da parte baixa, eles são moldados sobre litotipos organizados em faixas de direção ENE-WSW (direção do *trend* regional da Zona de Cisalhamento Paraíba do Sul) alternadamente de caráter predominantemente máfico ou félsico. As encostas dessas morrarias são, também, palco de intensa erosão por movimentos de massa e voçorocas, resultando em transferência de massas terrígenas argilo-arenosas aos cursos de água, na ocasião dos fortes aguaceiros.

Em meio aos aportes das bacias das duas margens, o eixo central do vale realça o comportamento absolutamente original do traçado do rio Paraíba do Sul, no contexto da hidrografia de toda Região Sudeste. Traçado retilíneo sob estreitíssimo controle da Zona de Cisalhamento Paraíba do Sul, cujos efeitos se propagam às margens, numa faixa de até 10 km de largura, nos arredores das cidades de Paraíba do Sul e Três Rios. Neste contexto, as rochas graníticas se encontram praticamente “moídas” e sua alteração fornece materiais arenosos em abundância, fornecimento favorecido pela indução dos processos de voçorocamento.

BAIXO VALE

O Baixo Vale do rio Paraíba do Sul, do modo como concebido aqui, apresenta uma organização em blocos justapostos de NW para SE, incluindo o eixo central da bacia até a foz e duas bacias afluentes da Zona da Mata mineira, as bacias dos rios Pomba e Muriaé.

A porção ocupando o eixo central a jusante de Anta é caracterizada por alternâncias de lentes rochosas a dominante máfica (charnokitos e enderbitos, principalmente) ou félsica (granitos quartzosos), em continuidade à área de montante. A morfologia é semelhante, com mares de morros fortemente controlados pela foliação regional e a interposição de fraturas e falhas de direção NW-SE. As condições são, portanto, também, propícias à erosão por voçorocas e movimentos de massa associados, com produção volumosa de sedimentos argilo-arenosos, conforme está ocorrendo na realidade observada em imagens de satélite e relatada pela literatura geomorfológica.

Entre esta área e a foz, se interpõe uma área de acumulação e retenção sedimentar que foi tratada na parte do relatório sobre a evolução do delta. A morfodinâmica desta área foi alterada já nas Décadas de 1940 e 1950 com a consolidação dos diques objetivando a proteção da região de Campos.

Quanto às bacias afluentes da Zona da Mata mineira, deve-se ressaltar, de antemão, que a forte semelhança entre ambas induz a tratá-las como um conjunto, considerando a diferenciação espacial ligada mais ao escalonamento do relevo e à segmentação das bacias pelos efeitos da estrutura geológica.

De fato, a composição litológica do substrato geológico é semelhante, sendo constituída por faixas de rochas de direção NE-SW, alternadamente caracterizadas por composição predominantemente máfica ou félsica. Essas alternâncias petrográficas influenciam a

morfologia, pois as faixas mais resistentes impõem uma série de soleiras, com variadas ordens de imponentia, enquanto as faixas menos resistentes abrigam depressões fluviais relativas e/ou pequenos alvéolos, onde ocorrem retenções sedimentares denunciadas por forte entulhamento dos fundos de vales. A morfologia de detalhe é constituído por infinitos mares de morros, com alturas variadas, mas a mesma exposição a voçorocas e movimentos de massa, estreitamente associados. Esses processos são facilitados pelas elevadas declividades sobre mantos de alteração à forte componente arenosa. A influência das estruturas geológicas é, neste caso, também, evidente, sendo visíveis zonas de saprolitos e solos marcados por falhas quaternárias. Todos esses parâmetros associados constituem a receita ideal para a propagação da erosão por movimentos de massa e voçorocas, fato comprovado pela forte disseminação espacial de paleoformas ocorridas em períodos em que não havia tido ainda ocupação humana da região. Essas formas que permaneciam estabilizadas debaixo de uma densa cobertura florestal, estão sendo, hoje, integralmente reativadas após a completa destruição da mata.

A distinção espacial fica, portanto, por conta do papel das duas soleiras principais de direção NE-SW que devem assumir a função de bloqueio o retardamento do fluxo de sedimentos, pelo enfraquecimento da energia dos cursos de água.

A primeira soleira, já referida no caso da bacia do rio Paraibuna, percorre a área entre as cidades de Juiz de Fora, a SW, e São Sebastião da Vargem Alegre, a NE, controlando um alinhamento de cristas recortadas em gargantas pela travessia dos rios. Esta atinge somente a bacia do rio Pomba, isolando sua porção mais alta, a montante de Astolfo Dutra, em meio a um amplo anfiteatro que recebe a cidade de Ubá. Este anfiteatro é o palco de forte saída de sedimentos areno-argilosos, tanto por processo de voçorocas e movimentos de massa, como por erosão areolar ligada á impressionante destruição da cobertura florestal.

A segunda soleira, estirada entre Volta Grande a SW e Itaperuna a NE, interessa às duas bacias, isolando seus cursos médios em área sustentada por rochas da componente predominantemente máfica, o que permitiu o alargamento dos vales no sentido E-W e o enfraquecimento do controle estrutural pelo *trend* regional. Isto não significa que, internamente a essa porções de vales, não sobrem ainda alternâncias de alvéolos e soleiras, no entanto com efeitos menos drásticos. Observam-se, então, sucessões, de montante para jusante, de traçados em baioneta aos quais correspondem alvéolos com retenção sedimentar para os segmentos de direção NE-SW, e corredeiras ou cachoeiras em canais entrincheirados para os segmentos de direção NW-SE. É de notar que, nos alvéolos, ocorrem, lado a lado, erosão por voçorocas nas encostas e retenção sedimentar nas várzeas.

PEQUENO ADENDO ESPECÍFICO SOBRE A ZONA DA MATA

As bacias hidrográficas dos rios Paraibuna, Pomba e Muriaé apresentam características geológicas/geomorfológicas relativamente semelhantes. A diferença fundamental reside na “originalidade quartzítica” das serras que ocupam a alta bacia do rio Paraibuna.

O conjunto é estruturado em segmentos escalonados de bacias, de SE para NW, sob efeito do referido controle litoestrutural resultando da presença de zonas de cisalhamento precambrianas que alternam rochas ígneas e metamórficas com conteúdos variados em quartzo.

Por outro lado, fraturas e falhas compridas de direção NW-SE, perpendiculares ao *trend* regional, criam uma subdivisão no relevo e foram aproveitadas pela dissecação fluvial cenozóica. Alargadas por esses rios, elas só ainda aparecem nitidamente em rios pequenos como o Aventureiro e o Angu.

Duas abordagens devem ser ressaltadas para melhorar a compreensão do fenômeno erosivo na região:

☐ A – Organização morfológica regional

Com um enfoque que faz abstração da organização em bacias, já tratado anteriormente, pode-se dizer que a morfologia regional do conjunto se organiza em torno dos 3 níveis de superfícies escalonadas seguintes:

- Superfície Leopoldina, entre as cotas aproximadas de 300-400 metros, com relevo fortemente dissecado e ocorrência freqüente de várzeas com retenção sedimentar;
- Superfície Guaraní-Rio Novo, entre as cotas 450-500 metros, com relevo também fortemente dissecado, no entanto sem notável freqüência de várzeas;
- Superfície Ervália, entre as cotas 800-900 metros, com relevo fortemente dissecado, quase claramente montanhoso, com dinâmica predominante de produção terrígena por forte erosão.

☐ B – Sistema de erosão

Os processos de erosão observados na região exibem uma estreita relação entre processo de escavação linear, representados por voçorocas e movimentos coletivos de solos sob forma de deslizamento, desmoronamentos, corridas de lama, entre outros. Esses movimentos de massa ocorrem, também, no interior das voçorocas, enquanto processos que fazem parte de seu complexo erosivo.

Tem-se, portanto, a presença de processos geomorfológicos que necessitam da presença da água nas coberturas superficiais das encostas, sob a forma de lençóis freáticos suspensos. É, hoje, consenso que as voçorocas representam um processo que sinaliza uma tendência natural de escala regional, expressando, na realidade, um fenômeno de reajustamento da rede de drenagem. Elas correspondem a uma necessidade de expansão das cabeceiras motivada por desequilíbrio estrutural regional. A degradação antrópica tem o papel de, tão somente, catalizar e/ou acelerar seu desenvolvimento.

O fundamental papel da água subterrânea na ocorrência e desenvolvimento das voçorocas questiona as intervenções em bacias hidrográficas que resultam em elevação dos níveis freáticos regionais. Se, num primeiro período, após a implantação dos represamentos, parece se observar um processo de retenção sedimentar, a análise dos casos em longo período de

tempo mostra que neste tipo de regiões a tendência de longo prazo é a de retomada de voçorocas com maior intensidade do entulhamento das várzeas.

A4.3.5. COMPLEMENTOS DA GEOMORFOLOGIA FLUVIAL

A bacia do rio Paraíba do Sul inicia-se na serra da Bocaina, com talvegue em direção a sudoeste até a cidade de Guararema, SP. Nesse ponto a serra do Mar, que segue de sudeste para noroeste, desvia o curso do Paraíba do Sul direcionando-o, juntamente com a serra da Mantiqueira, para nordeste. Todo esse trecho, que se estende por quase 200 km, possui talvegue pouco sinuoso e encostas bastante íngremes, com elevado potencial de geração de sedimento.

Após esse trecho de elevada inclinação, o rio Paraíba do Sul segue por uma porção de aproximadamente 170 km com talvegue de baixa declividade, mas encostas ainda íngremes, até as proximidades da cidade de Cruzeiro. Esse trecho caracteriza-se pela elevada densidade urbana e, conseqüentemente, elevado potencial de geração de sedimento. Além disso, os leitos fluviais nas proximidades das cidades de Pindamonhangaba e Lorena, que possuíam uma longa seqüência de meandros, foram retificados com o intuito de controlar as cheias na região. Esse tipo de intervenção atua localmente na dinâmica de sedimento, não gerando prejuízos ao equilíbrio global da bacia do Paraíba do Sul.

A partir da cidade de Cruzeiro, nota-se uma mudança na morfologia da calha do rio Paraíba do Sul, que passa a possuir um talvegue pouco sinuoso, apresentando elevada declividade até o reservatório da UHE Funil, quando eleva seu grau de sinuosidade devido à redução da declividade, no entanto, não suficiente para torná-lo meândrico, ponto no qual a bacia inicia sua porção média.

A partir da cidade de Barra do Piraí, o rio Paraíba do Sul, ainda em sua porção média, entalha-se em um forte controle geológico estrutural, encaixando-se a calha menor diretamente sobre o nível de base regional, sem evidência de depósitos aluviais significativos.

Mesmo assim, nota-se que a calha menor do rio apresenta uma morfologia regular, limitada pelo controle geológico na base e por margens modeladas em depósitos aluviais pouco espessos. A Figura A4.12 ilustra o conceito do entalhe fluvial típico do rio a jusante da UHE Ilha dos Pombos, destacando a morfologia da calha menor, modelada pelas enchentes ordinárias, com baixos períodos de retorno. Esse tipo de morfologia, com a planície de inundação adjacente, é um indicativo de que todas as ocupações ribeirinhas, como casas e vias de acesso, apresentam uma elevada vulnerabilidade à ocorrência de cheias freqüentes.

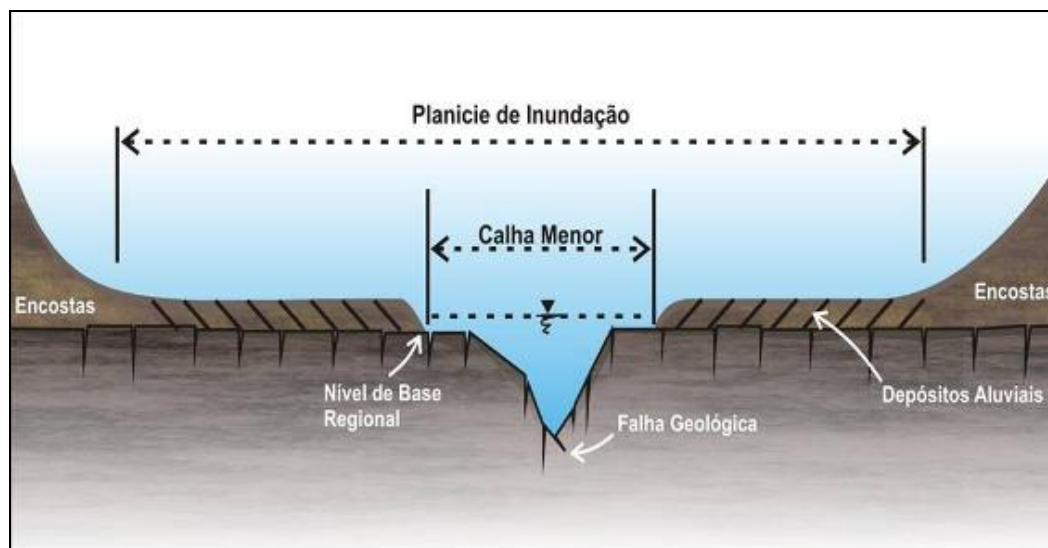


Figura A4.12 – Entalhe típico da morfologia fluvial do rio Paraíba do Sul no trecho de implantação dos empreendimentos entre as cidades de Piraí do Sul e Itaocara.

Pode-se esperar que o nível de água freático nas áreas adjacentes à planície de inundação, de formação aluvial, seja controlado pelas vazões médias e baixas (Figura A4.13). Durante as grandes cheias, a permanência de níveis mais altos na calha menor não deve ter duração suficiente para estabelecer um fluxo inverso influente, a ponto de elevar o nível freático em toda a extensão da planície.

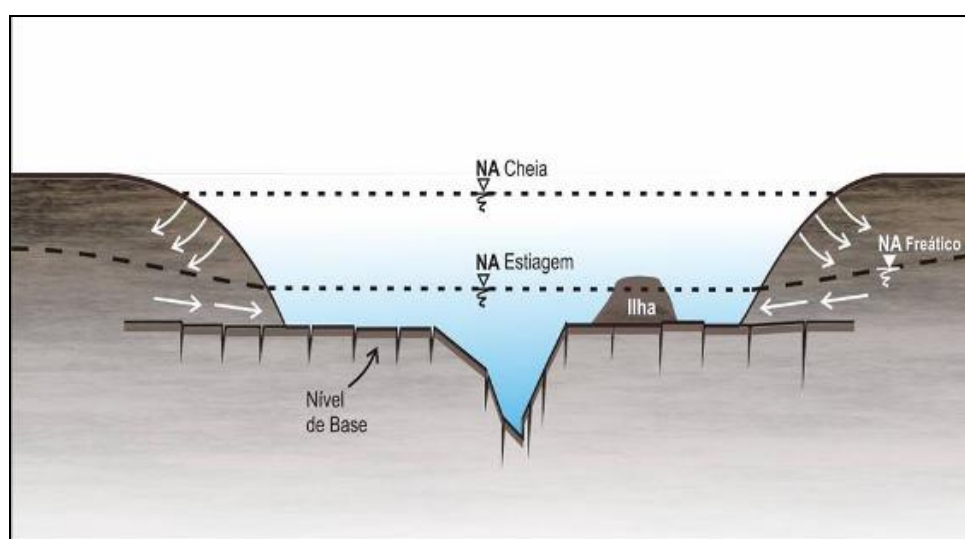


Figura A4.13 – Esquema da relação do nível de água freático na planície de inundação e os perfis de escoamento do rio Paraíba do Sul.

A partir da cidade de São Fidelis, até onde se observavam apenas formações rochosas no leito do rio Paraíba do Sul, nota-se a ocorrência de significativos depósitos de areia no leito do rio, como pode ser observado na Figura A4.14. Esta característica estende-se até a foz, caracterizando o trecho, em relação à dinâmica de sedimento, como de deposição. Essa característica é confirmada ao se analisar redução da declividade do leito a partir dessa cidade.

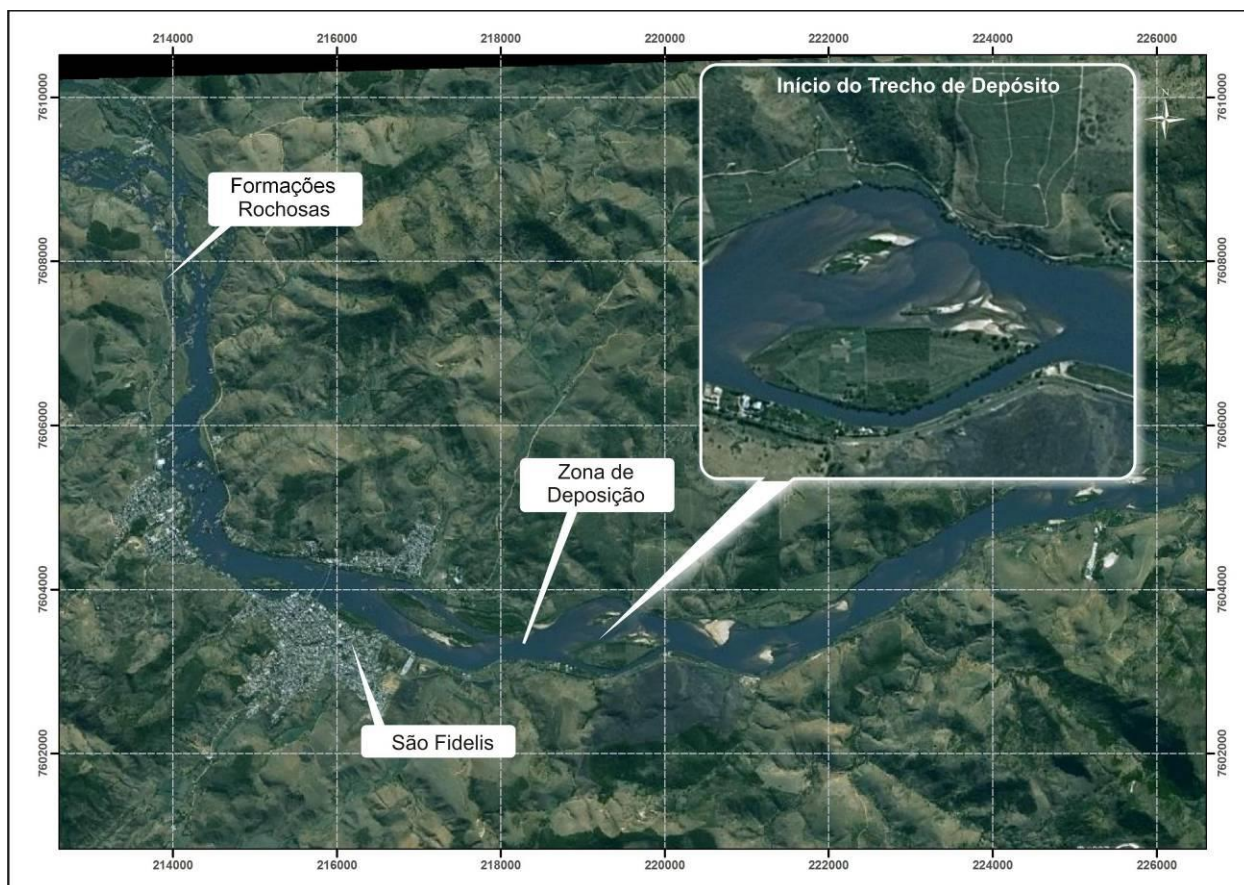


Figura A4.14 – Imagem de satélite indicando o início do trecho de deposição da bacia do rio Paraíba do Sul.

No entanto, apesar de apresentar diversos bancos de areia em todo o trecho de deposição, indícios apontam que o material aportado na foz é insuficiente para a manutenção da geometria atual, pois a barra vem sofrendo processos erosivos de elevada intensidade.

Esses processos se intensificam quando o volume de sedimento presente no escoamento é inferior à sua capacidade de transporte, culminando em uma maior capacidade erosiva do escoamento. Além disso, a supressão da vazão na bacia também pode agravar os processos erosivos na foz do rio, pois reduz a capacidade do curso de água de proteger o litoral do avanço do mar.

Essas duas características estão presentes no rio Paraíba do Sul, fazendo com que a barra deste rio sofra com a perda do volume dos depósitos.

A4.4. CARACTERÍSTICA DO DELTA DO RIO PARAÍBA DO SUL

A desembocadura do rio Paraíba do Sul compõe um delta que resulta do embate entre uma corrente fluvial carregada de sedimentos arenosos e uma dinâmica costeira num trecho de litoral onde as variações das marés são pequenas, o que obriga o rio a depositar os produtos da erosão ocorrida nas terras ribeirinhas. Deste modo, a extensão do delta aumenta paulatinamente com o passar do tempo, caso não sofra impedimento gerado por correntes marinhas. Em situações diferentes, areias, lama e outros sedimentos se acumulam em posição subparalela à linha de costa, formando *barra* de rio, que acabam obstruindo sua foz e cercando lagunas litorâneas.

O delta do rio Paraíba do Sul se formou em posição intralagunar, ou seja, foi construído no interior de extensas paleolagunas (Martin *et al.* 1993). Na Figura A4.15, pode-se observar que, durante o Quaternário Superior, o rio Paraíba do Sul não possuía foz no oceano e construía um delta intralagunar ao abrigo dos cordões litorâneos que se estenderam entre o Cabo São Tomé, ao sul, e a vila de Guarindiba ao norte. Do ponto de vista morfodinâmico, é um delta do tipo dominado por ondas, ou seja, um delta de forma triangular construído em local caracterizado por forte atuação das ondas e correntes litorâneas, com acumulação de sedimentos essencialmente arenosos.

No trecho de interesse deste estudo, ao norte do Cabo São Tomé, os autores identificaram, para o período dos 2500 últimos anos, a ocorrência de uma dinâmica de erosão da linha de costa em torno da proeminência do Cabo São Tomé, que teria sido compensada por uma sedimentação ao norte do mesmo, conforme mostrado pelas áreas delimitadas pela linha identificada na Figura A4.15.

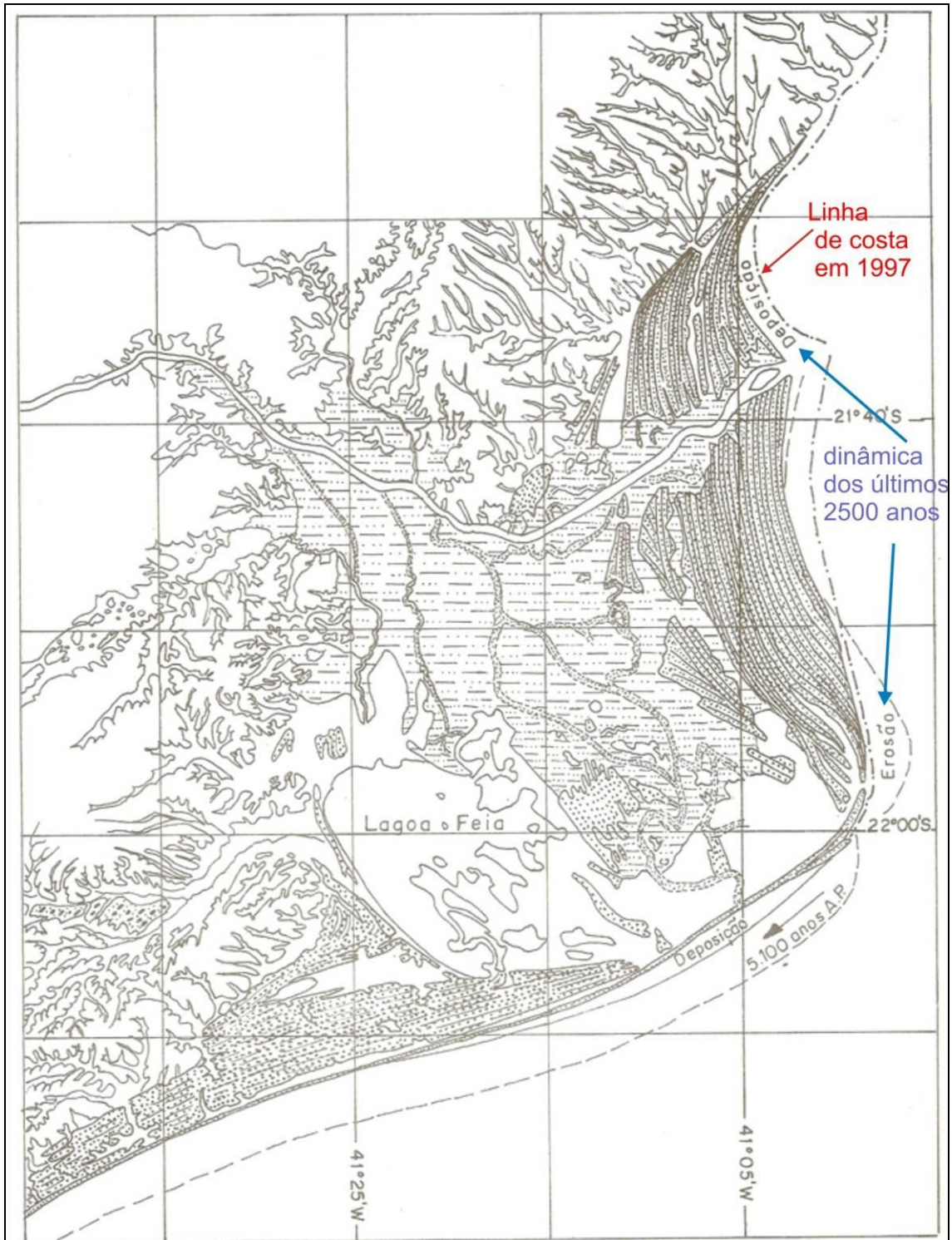


Figura A4.15 – Última fase geologicamente documentada da construção do delta do rio Paraíba do Sul, com os processos ocorrendo no período de 2500 anos até hoje. (segundo Martin et al. 1997).

Este processo de avanço da sedimentação na embocadura do rio Paraíba do Sul foi observado por vários geógrafos das décadas de 1940 e 1950, conforme relato de Cavalcanti Bernardes (1957):

“Na barra do Paraíba vêem-se hoje dois pontais cuja progressão testemunha a luta constante da corrente fluvial com a sedimentação marinha. O do Norte, separado do oceano por um braço de mar, é conhecido como ilha da Convivência. É formado por aluviões recentíssimas e seus contornos são irregulares e instáveis. Apresenta sua extremidade encurvada para oeste, denotando a influência dominante dos alísios, como, aliás, o da margem direita. Esse é o que tem revelado avanço mais rápido nos últimos anos, desviando para o norte a embocadura do grande rio. Segundo Raimundo Ribeiro Filho (1948), parece haver forte tendência atual para a obstrução da barra sul, procurando o rio reabrir passagem maior pelo lado norte da embocadura, destruindo um lado da ilha da Convivência”.

“Não apenas o pontal da barra tem crescido de modo sensível. A própria restinga tem-se alargado, avançando sobre o mar, como foi assinalado por Lamego (1957) que observou em quinze (15) anos uma progressão da praia da ordem de 100 metros. Comparando a situação atual da barra com as descrições do século passado, verifica-se que o avanço da sedimentação está se processando muito rapidamente.”

Os sedimentos trazidos à ponta de Atafona eram o resultado da erosão que resultou da destruição da floresta que cobria os relevos situados a montante e sua transformação em áreas de cultivo e pastoreio, principalmente daquilo que era realmente uma Zona da Mata, em Minas Gerais. De fato, uma abundante literatura relativa ao fenômeno de ocupação humana da bacia do rio Paraíba do Sul, faz relato de um processo de completa degradação da cobertura vegetal de regiões inteiras. O cultivo do café e da cana de açúcar, aliados à criação de gado bovino, sem nenhum cuidado com a proteção das encostas desencadeou vagas erosivas expressas por: remoção dos horizontes superficiais dos solos pela erosão laminar, incisão de profundas ravinas em vertentes antes florestadas, reativação de campos de voçorocas antes estabilizadas, mobilização de massas terrosas por movimentos de massa diversificados. Como conseqüências diretas, observou-se, ao mesmo tempo, um assoreamento generalizado dos fundos de vales em declividades fracas e um aporte de sedimentos excessivo à foz.

É este aporte que contribuiu ao referido avanço dos pontais e alargamento da praia. No entanto, conforme já tinha sido documentado por Cavalcanti Bernardes (1957), o rio mostrava já uma tendência a abrir um canal de comunicação com o oceano ao norte. Na Figura A4.16, além de conferir o avanço alcançado pelos pontais naquela época, pode-se observar que o pontal norte (margem esquerda) já apresentava sinais de dismantelamento - ele é mapeado como área alagada diferentemente do cordão arenoso do pontal sul – bem como o início de corte efetuado por um canal fluvial.

Pode-se indagar se esta tendência ao caminho para norte não foi, em boa parte, uma conseqüência da construção das obras de canalização e, principalmente, dos diques que foram implantados, já nos anos 1950, em proteção da Baixada dos Goitacazes constituída por toda a área do delta intralagunar ao sul da cidade de Campos. Consta também que foram implantadas

obras de guias-correntes, junto à foz, para facilitar a navegação, podendo ter contribuído assim para derivar o fluxo na direção norte.

Nota-se que a maior deposição em forma de delta ocorreu no pontal do Cabo de São Tomé, para onde corria o leito do rio Paraíba do Sul, em uma configuração que deve ter dominado em todo o Período Quaternário. Nessa configuração, o delta foi progredindo, com a distribuição simétrica dos sedimentos em ambas as direções, norte e sul. Em algum momento mais recente da atual era geológica, talvez ao final da última glaciação, o leito menor do rio derivou-se para nordeste, abandonando os canais que se dirigiam para a ponta do Cabo de São Tomé, iniciando-se assim a formação de um novo delta no pontal de Atafona.

Em uma hipótese meramente especulativa, pode-se conjecturar que a mudança na direção da calha menor do rio ocorreu em razão de um pulso morfogenético de curta duração (por exemplo, coincidência de um período chuvoso excepcional, com alto carreamento de material sólido em direção à foz, combinado com a elevação do nível do oceano, ao final do período de glaciação), conduzido ainda pelo efeito de deflexão da força de Coriolis, resultante do movimento de rotação da Terra.

Embora a corrente predominante na costa brasileira seja de nordeste, o que tenderia a carrear os sedimentos nas direções sul e sudoeste, formou-se uma corrente secundária de circulação, que também dirigiu os sedimentos para a direção norte, ao longo das praias de Santa Clara e do Sossego. O processo de desvio foi intensificado ao longo do Século XX, com abertura progressiva do canal norte e conseqüente redução dos sedimentos no desemboque do canal principal.

Com essa tendência de repartição do fluxo na foz, entre o canal principal e o canal norte, a erosão no pontal de Atafona deverá prosseguir, ao mesmo tempo em que haverá um aumento do assoreamento e espessamento dos sedimentos na região da lagoa e praia de Gargaú. Nota-se também que, embora a corrente dominante tenda a erodir o pontal do Cabo de São Tomé, a erosão imediata na praia de Atafona tende a aumentar a linha de praia imediatamente ao sul, na área da praia de Grussaí.

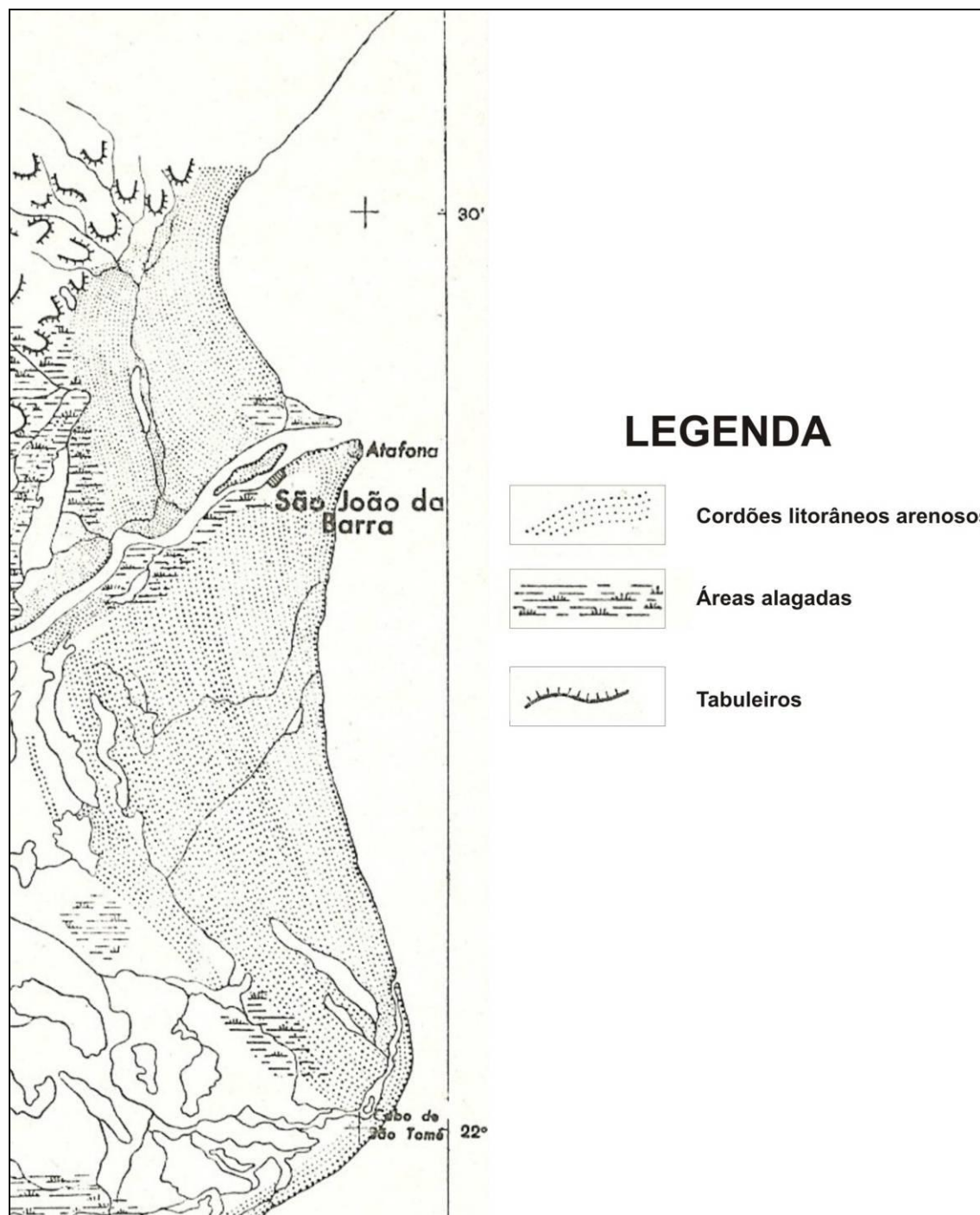


Figura A4.16 – Configuração geomorfológica da área do delta em 1957 (segundo Cavalcanti Bernardes 1957).

A consolidação do canal norte com o recorte do pontal norte é documentada pelo mapa geológico desta parte do litoral, conforme extrato inserido na Figura A4.17. Este mapa mostra que a ponta norte foi transformada em ilha (ou ilhas), enquanto o novo canal conduz águas e sedimentos na direção norte, diretamente para a área da vila de Gargaú. Enquanto isso, o pontal sul, ocupado pela cidade de Atafona mostra um encurvamento em direção norte, bem como um estreitamento.

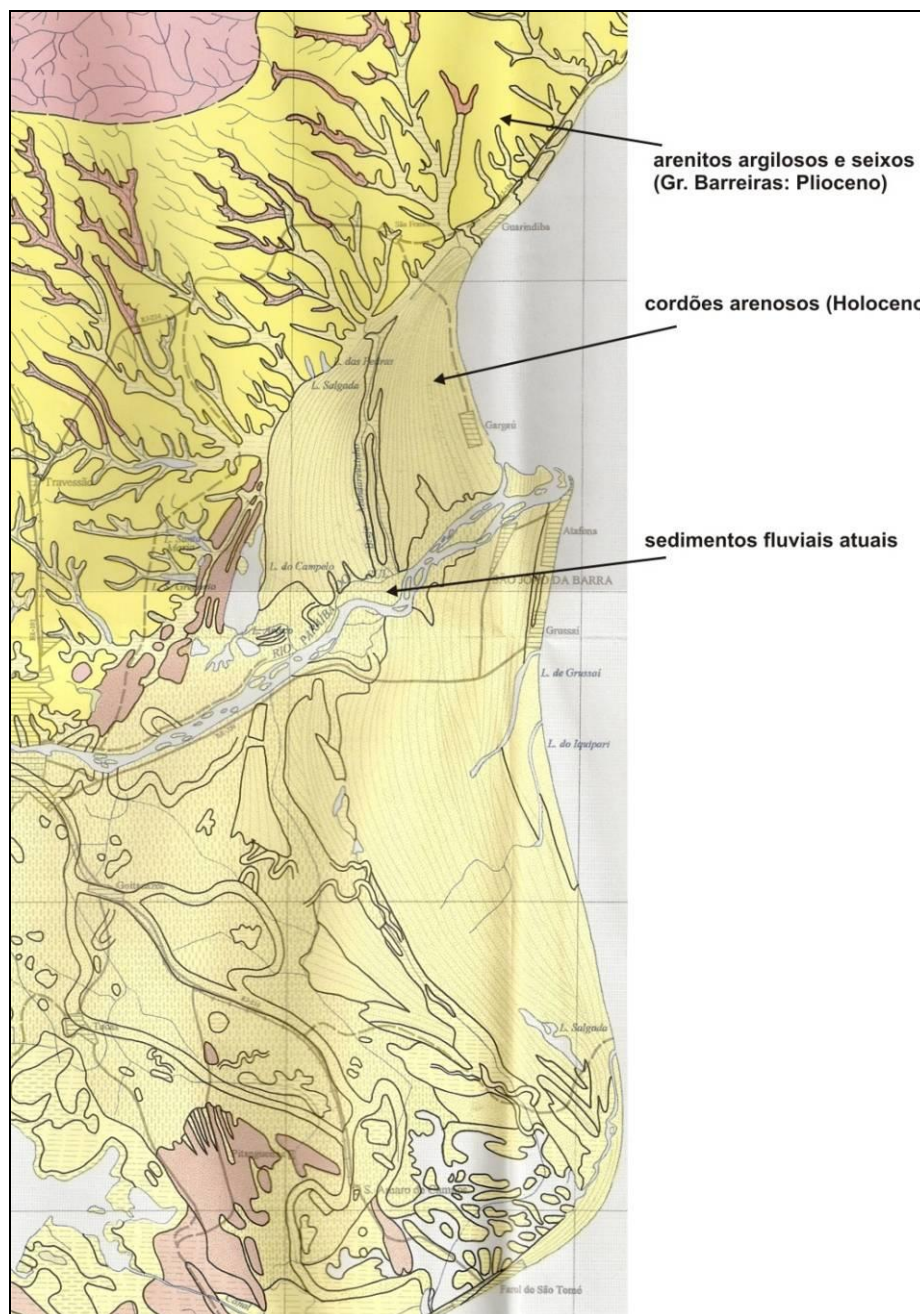


Figura A4.17 – Geologia recente do delta do rio Paraíba do Sul (segundo Martin *et al.* 1997).

No que diz respeito à época atual, deve-se considerar o seguinte relato de Noel 2009:

“Uma amostra do que pode ocorrer com ocupações humanas às margens das desembocaduras de grandes rios está no pontal de Atafona, município de São João da Barra, no norte fluminense. Encravado num banco de areia na foz do rio Paraíba do Sul, o povoado começou a ser engolido pelo mar há meio século, antes mesmo de os cientistas apresentarem ao mundo o fantasma do aquecimento global. Avançando metro a metro, as águas já tragaram ruas de 14 quarteirões e tomaram mais de 180 imóveis – casas, lojas, escola e posto de gasolina. Em ruínas ainda de pé, vivem famílias de sem-teto prontas a bater em retirada quando o mar ruga forte e ameaça lamber mais terra.”

Vários fatores naturais conjugam-se contra Atafona, onde a ocupação humana nunca preservou distância prudente do Atlântico e do Paraíba. "Não há como afirmar que a erosão tem causa única, como a elevação do nível do mar. Os motivos estão relacionados com ventos, ondas, marés e correntes litorâneas", resume o geógrafo Gilberto Pessanha Ribeiro. Professor das universidades Federal Fluminense (UFF) e do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), ele coordena o Projeto Atafona – uma parceria entre as duas instituições que realiza o mapeamento cartográfico e o levantamento evolutivo da erosão que leva o lugarejo a encolher."

A destruição da parte da cidade de Atafona (fotos da Figura A4.18) que avançou, de modo muito imprudente, sobre o pontal arenoso, nas últimas décadas, além de representar o resultado do processo natural de remodelação da linha de costa pelas ondas eficazes do setor sul da mesma (conforme ilustrado na Figura A4.15), deve ter sido facilitado pelo fato do alargamento e consolidação do canal norte (Figuras A4.16 e A4.17). Este funciona como canal de subtração de notável quantidade de sedimentos ao canal sul, facilitando deste modo o trabalho do sistema de ondas e correntes marinhas, pela diminuição da energia da corrente fluvial na área do pontal de Atafona.



Figura A4.18 – Exemplos de estragos da erosão da linha de costa em Atafona.

A rápida descrição feita da evolução morfodinâmica na área do delta do rio Paraíba do Sul, durante as últimas décadas mostra o seguinte:

- ❑ O delta do rio Paraíba do Sul é do tipo dominado por ondas, no caso ondas eficazes de sul;
- ❑ Existe uma tendência natural, em vigor desde, aproximadamente, 2500 anos, a um funcionamento da morfodinâmica deste trecho do litoral sob comando de ondas eficazes de sul que sustentam uma erosão da curva convexa do Cabo de São Tomé e conduzem os sedimentos resultantes para engordar as praias situadas ao norte;
- ❑ O aporte excessivo dos produtos da erosão das áreas desmatadas no interior da bacia, durante as primeiras décadas do século XX, induziu um forte avanço dos pontais na região de Atafona, expondo fortemente essas barras de areia à energia das ondas e correntes marinhas;
- ❑ É provável que a construção dos diques para proteger a margem direita do rio, na região de Campos, tenha contribuído ao direcionamento da corrente fluvial para norte, o que diminuiu a eficácia da corrente fluvial frente às ondas marinhas na embocadura do canal de Atafona;
- ❑ As características variáveis da dinâmica geomorfológica atual deste setor do litoral são ilustradas pela Figura A4.19 e mostram que: 1) o setor sul deste litoral está sob efeito de erosão das praias, com a do Açú, erosão que, com menor intensidade, tende a abrir canais de comunicação entre o oceano e as lagoas de Grussaí e Iquipari; 2) erosão intensa na Ponta de Atafona, cuja evolução caminha no sentido de uma forte laminação devido à sua exposição excessiva ao sistema de ondas de sul; 3) sedimentação na área da Praia de Santa Clara e de Gargaú, com tendência ao fechamento da comunicação entre o oceano e o canal norte do rio recentemente aberto, formando um complexo de lagoas; 4) retomada da erosão das praias com fraca intensidade no setor mais setentrional, a exemplo da Praia do Sossego.
- ❑ A implantação das obras hidráulicas projetadas na parte baixa da bacia do rio Paraíba do Sul terá, com toda evidência, conseqüências difíceis de prever, considerando a complexidade da dinâmica deltaica e a carência de informações precisas. Fazendo abstração da polêmica em curso sobre os efeitos adicionais de um “provável aquecimento global” na subida do nível do mar, é lógico pensar que a redução do volume de água e da carga sedimentar na foz terá por impacto um enfraquecimento da corrente fluvial frente ao trabalho das ondas e correntes marinhas e da maré, catalizando o processo de erosão na Ponta de Atafona. Nas últimas décadas, esse problema ficou agravado pela ramificação da foz do rio Paraíba do Sul, com derivação do canal norte e direcionamento de parcela substancial do fluxo de descargas líquidas e sólidas.
- ❑ Neste contexto, mesmo com o suprimento pelo rio sendo diminuído, o aporte sedimentar da deriva à região de Gargaú e Santa Clara deverá aumentar em termos relativos e, eventualmente, contribuir a acelerar o fechamento do canal norte, ele mesmo enfraquecido pela diminuição da vazão fluvial, e assim retornar à morfologia da década de 1940.

- ❑ Por fim, se tudo funcionar nesta direção, o aporte sedimentar pelas ondas marinhas deveria se espalhar para uma área maior na direção norte, vindo, provavelmente, a inverter a tendência em curso, e começar a engordar as praias como a do Sossego.
- ❑ Ainda, uma eventual erosão mais acentuada da ponta de Atafona, poderia conduzir a uma acentuação da deposição das praias do segmento sul (Grussaí, Iquipari), embora o Cabo do São Tomé tenda a ser fortemente erodido pelas correntes dominantes de nordeste.

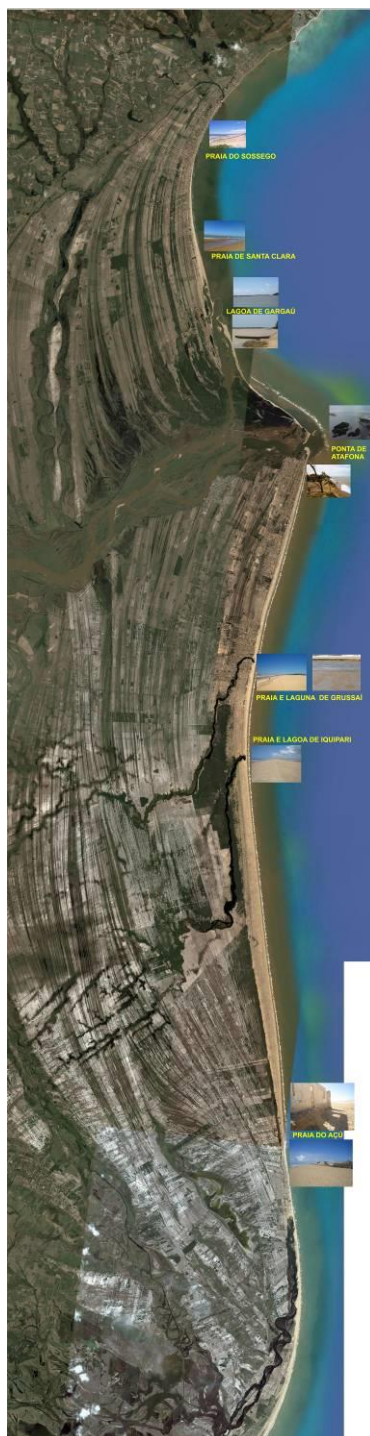


Figura A4.19 – Imagem de satélite do delta do rio Paraíba do Sul.

A4.5 CARACTERÍSTICAS DO REGIME SEDIMENTOLÓGICO

A finalidade desse Item é a de quantificar o regime sedimentológico do rio Paraíba do Sul, para facilitar os entendimentos do diagnóstico das condições atuais e dos prognósticos relativos aos impactos decorrentes da implantação dos aproveitamentos. Uma análise quantitativa do transporte sólido de uma bacia que apresenta um nível de antropização já bastante elevado e características geomorfológicas tão distintas, com presença abundante de rochas quartzíticas e, ao mesmo tempo, diversas soleiras que representam controles geológicos e hidráulicos, apresenta-se de maneira complexa, às vezes não apresentando continuidade de massas nos trechos fluviais, nos curtos intervalos de tempo abrangidos pelas séries de monitoramento. No entanto, essa caracterização de continuidade é importante no presente trabalho, por permitir uma visualização dos volumes associados e do comportamento geral da dinâmica dos sedimentos em uma bacia dessa natureza.

Dessa maneira, foram associados os dados medidos de concentração nas estações de monitoramento hidrossedimentológico ao transporte sólido total na bacia. A partir dessas informações de concentração de sedimentos, calculou-se a descarga sólida anual em suspensão através da equação A4.1.

$$Q_{ss} = 0,0864 \cdot Q_{liq} \cdot C \quad (\text{Equação A4.1})$$

sendo: Q_{ss} a descarga sólida em suspensão (ton/ano), Q_{liq} a vazão no instante da medição da concentração (m^3/s) e C a concentração de sedimentos em suspensão (mg/l).

Para o cálculo da descarga sólida total, utilizou-se a publicação “Diagnóstico das Condições Sedimentológicas dos Principais Rios Brasileiros”, elaborada pela ELETROBRÁS em 1992. Nesse documento, a partir da estação hidrossedimentométrica do rio Paraibuna em Juiz de Fora, os afluentes mineiros da margem esquerda do rio Paraíba do Sul foram enquadrados na Classe 2, na qual a relação entre a descarga sólida de arraste (Q_{SA}) e a descarga sólida em suspensão (Q_{SS}) está entre 1,0 e 0,5. Para efeito do presente diagnóstico, adotou-se o limite inferior desse intervalo, isto é, $Q_{SA}/Q_{SS}=0,5$. Essa relação foi generalizada para toda a bacia do rio Paraíba do Sul.

Considerando que a descarga sólida total (Q_{ST}) é calculada pela soma “ $Q_{SS} + Q_{SA}$ ”, têm-se as relações $Q_{ST}=1,50 \cdot Q_{SS}$ e $Q_{SA}=Q_{ST}/3$. Dessa maneira, os dados de descarga sólida em suspensão encontrados foram multiplicados pelo fator 1,5 para se encontrar a descarga sólida total.

A partir da dispersão dos pares de valores de descarga sólida total e correspondentes valores de vazão, foi possível gerar a curva-chave de sedimento para cada estação. A Figura A4.20 apresenta as curvas-chaves de sedimentos das estações de Anta, Itaocara e Campos. Observa-se que, conforme o comportamento natural de redução da produção de sedimento na direção de jusante (Figura A3.2), as curvas reduzem suas inclinações à medida que se aumenta a área de drenagem.

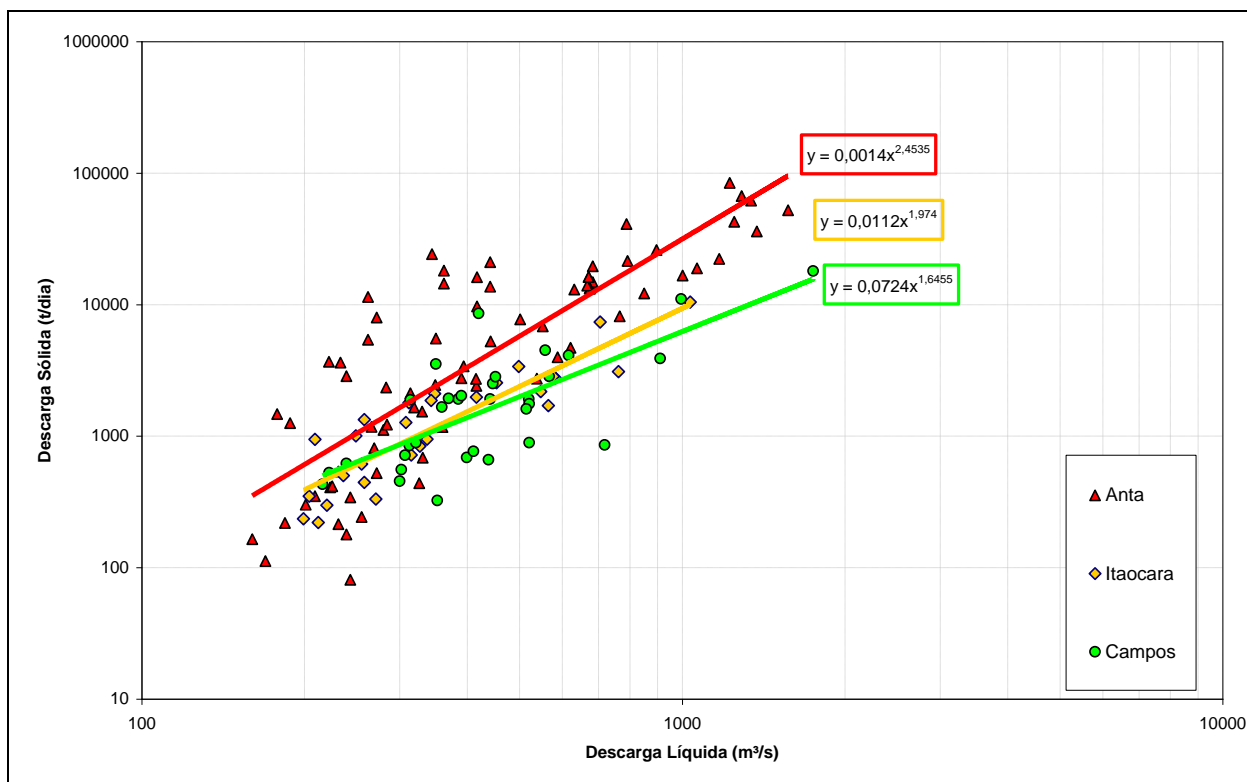


Figura A4.20 – Curvas-chaves de sedimento das estações de Anta, Itaocara e Campos.

As equações das curvas-chaves de sedimentos, assim determinadas, foram utilizadas para o cálculo da produção total anual, a partir dos dados de vazão média mensal. Para os rios Paraíba do Sul e Pomba, que apresentavam duas ou mais estações de monitoramento, foi possível avaliar a continuidade do transporte sólido ao longo do curso principal.

As bacias dos rios Muriaé, Dois Rios, rio Piabanha e Paraibuna não puderam ser avaliadas em termos de continuidade, devido à existência de apenas uma estação hidrossedimentológica com dados consistentes. A bacia do rio Dois Rios não possui monitoramento sedimentométrico.

A Tabela A4.3 e a Figura A4.21 apresentam os resultados dos estudos sedimentológicos realizados. O diagrama unifilar da bacia do Paraíba do Sul, apresentado na Figura A4.22, fornece em planta, a visualização da dinâmica sedimentar que é descrita na seqüência.

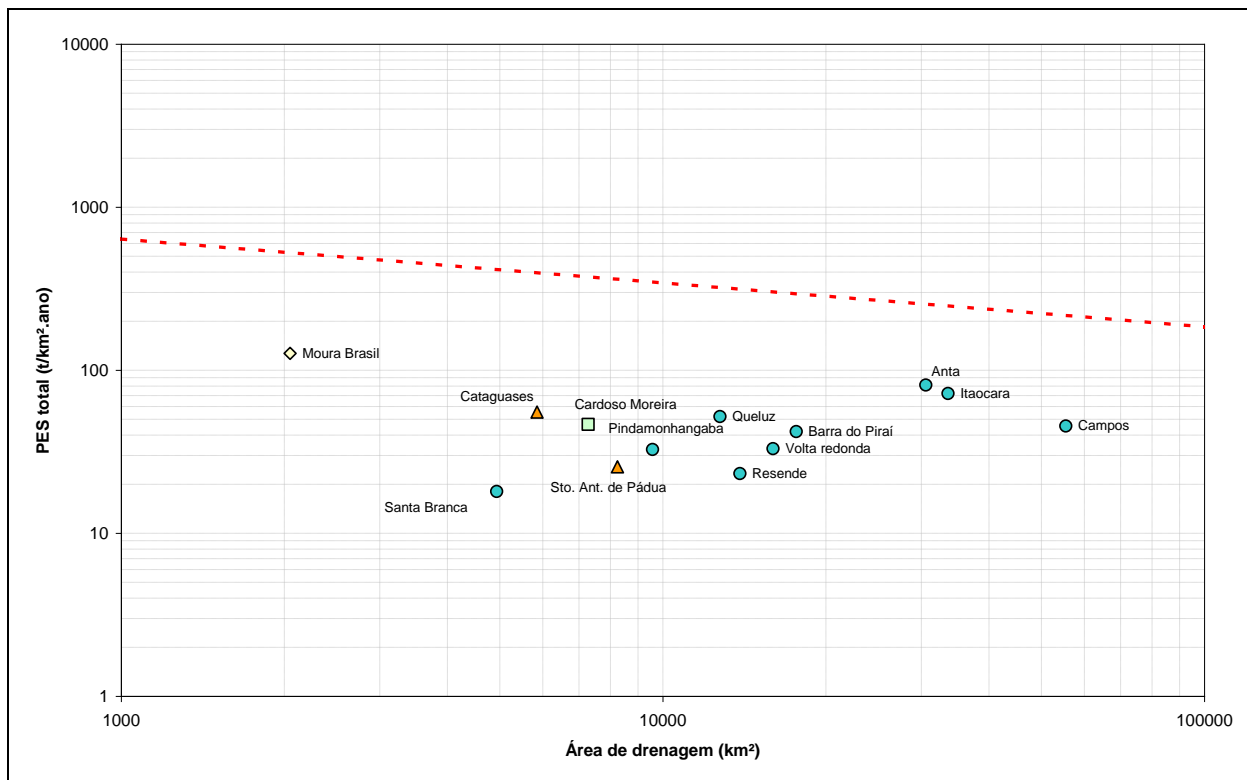


Figura A4.21 – Produção específica de sedimento total das estações utilizadas no estudo.

Tabela A4.3 – Resultado dos estudos sedimentológicos.

| Estação | Rio | Área (km²) | PES total (ton/km².ano) | Produção total sedimento (ton/ano) |
|------------------------|---|------------------------------|---|---|
| Cataguases | Pomba | 5858 | 55 | 324.752 |
| Santo Antônio de Pádua | Pomba | 8245 | 26 | 209.177 |
| Cardoso Moreira | Muriaé | 7283 | 47 | 330.642 |
| Juiz de Fora | Paraibuna (Mineiro) | 981 | 95 | 94.059 |
| Moura Brasil | Piabanha | 2049 | 127 | 260.210 |
| Santa Branca | Paraibuna (Paulista) OBS: Cabeceira do Paraíba do Sul. | 4935 | 18 | 89.249 |
| Pindamonhangaba | Paraíba do Sul | 9576 | 33 | 314.637 |
| Queluz | Paraíba do Sul | 12.749 | 50 | 639.174 |
| Resende | Paraíba do Sul | 13.882 | 23 | 325.137 |
| Volta Redonda | Paraíba do Sul | 15.980 | 33 | 523.602 |
| Barra do Pirai | Paraíba do Sul | 17.639 | 42 | 740.792 |
| Anta | Paraíba do Sul | 30.579 | 81 | 2.480.193 |
| Itaocara | Paraíba do Sul | 33.628 | 72 | 2.427.555 |
| Campos-Ponte Municipal | Paraíba do Sul | 55.500 | 45 | 2.512.487 |

Trecho entre a cabeceira da bacia e a estação Queluz:

Neste trecho existem três grandes reservatórios, com capacidade total de reservação de 4.293 hm³ e eficiência de retenção de sedimento superior a 90%. Dessa maneira, a PES a jusante dos reservatórios da UHE Paraibuna e UHE Santa Branca é de apenas 18 ton/km².ano, com produção média anual de 89.249 ton/ano, valores inferiores à produção média de bacias com esse porte, que não possuem reservatórios. Após a confluência com o rio Parateí, represado pela UHE Jaguari, na estação de Pindamonhangaba, a PES se eleva para 33 ton/km².ano, pois há um incremento de área de drenagem sem a influência de reservatório, a produção média anual se eleva para 314.637 ton/ano. O trecho entre Pindamonhangaba e Queluz possui alta densidade urbana, fato que eleva a taxa de produção de sedimento para 639.174 ton/ano e a PES para 50 ton/km².ano. Nesse trecho, fica nítida a influência dos reservatórios com elevada capacidade de retenção de sedimentos, refletida pela baixa PES em Santa Branca. No sentido de jusante, o aumento da produção de sedimentos pode ser notado pelo comportamento anômalo da curva de produção específica, que não segue a tendência de redução esperada.

Trecho entre as estações Queluz e Resende:

Neste trecho a UHE Funil exerce um importante papel reduzindo pela metade a produção média de sedimento, que alcança 325.137 ton/ano e PES de 23 ton/km².ano. A Figura A4.23 mostra o delta do reservatório da UHE Funil, que possui eficiência de retenção de quase 90% de todo o sedimento a ele aportado. A alta eficiência de retenção do reservatório pode ser notada pelos depósitos na cabeceira do reservatório, praticamente retendo toda a descarga de arraste. Embora não seja possível avaliar a distribuição entre as descargas por suspensão e por arraste, é provável que a primeira modalidade predomine no escoamento a jusante do aproveitamento.

Trecho entre as estações Resende e Barra do Piraí:

Entre as estações de Resende e Volta Redonda, há um incremento de produção média anual de sedimento e PES, atingindo 523.602 ton/ano e 33 ton/km².ano, respectivamente. Isso ocorre em razão do aumento na área de drenagem sem a influência de um grande reservatório. Pouco a montante da estação de Barra do Piraí, a Elevatória de Santa Cecília retira em média uma vazão de 140 m³/s do rio Paraíba do Sul (quase 60% da vazão média de longo termo). Esta supressão de vazão faz com que o incremento entre Volta Redonda e Barra do Piraí não siga a normalidade na produção de sedimento, pois a produção média se eleva de maneira significativa, totalizando 740.792 ton/ano, elevando a PES para 42 ton/km².ano.

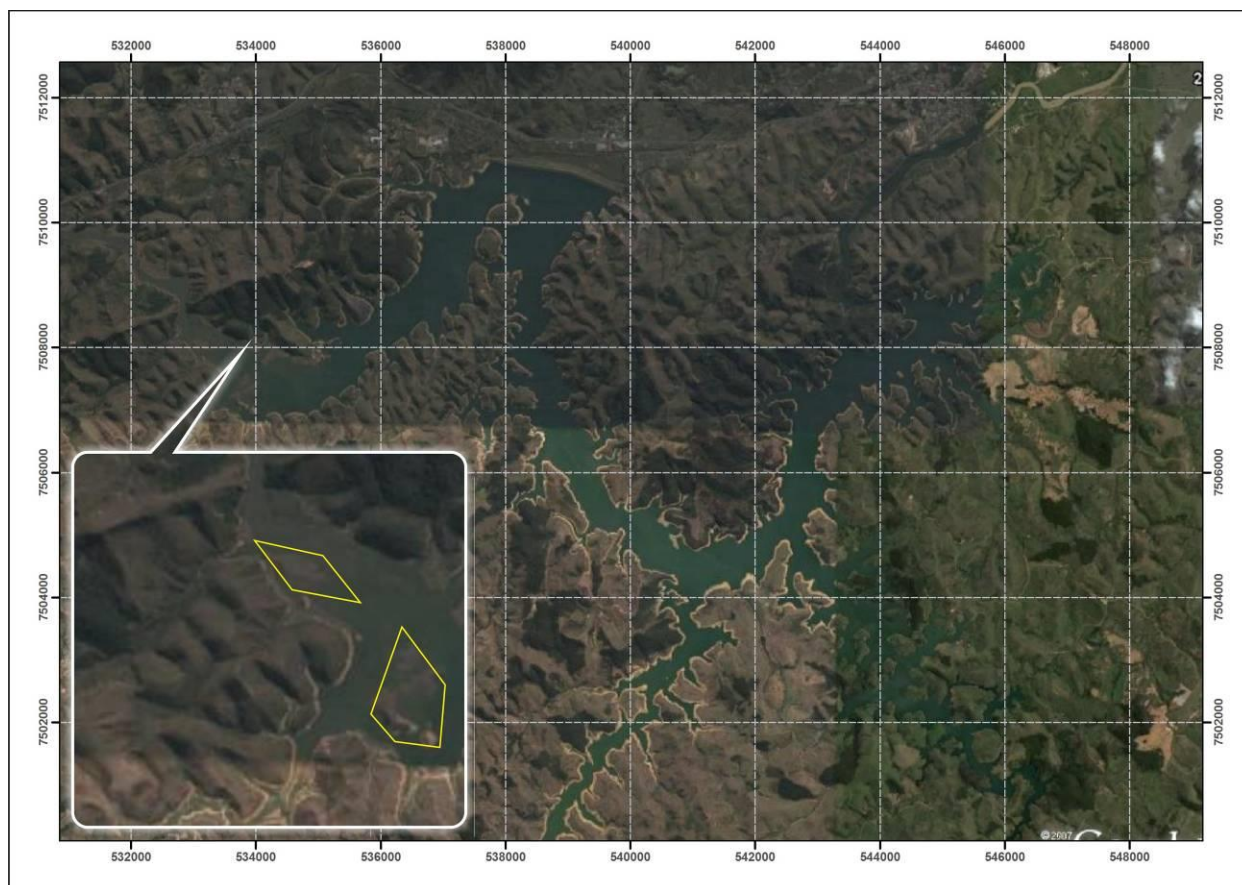


Figura A4.23 – Delta do reservatório da UHE Funil no rio Paraíba do Sul.

Trecho entre as estações Barra do Pirai e Anta:

Nesse trecho são introduzidas as contribuições de dois importantes tributários do rio Paraíba do Sul: rio Paraibuna (mineiro) e rio Piabanha. Ambos afluentes possuem reservatórios com elevada capacidade de retenção em suas bacias, embora localizados em sub-bacias relativamente pequenas. Assim, há um substancial incremento de produção média anual de sedimento e de PES, atingindo 2.480.193 ton/ano e 81 ton/km².ano, respectivamente. O aumento ocorre, mais uma vez, devido ao incremento de área de drenagem sem a intervenção de reservatórios, pois os reservatórios que possuem elevada eficiência de retenção, como pode ser observado na Figura A4.24, não estão localizados nos cursos de água principais dessas sub-bacias, restringindo sua área de atuação a uma superfície que contribui em menor escala na dinâmica de sedimento da bacia do Paraíba do Sul.

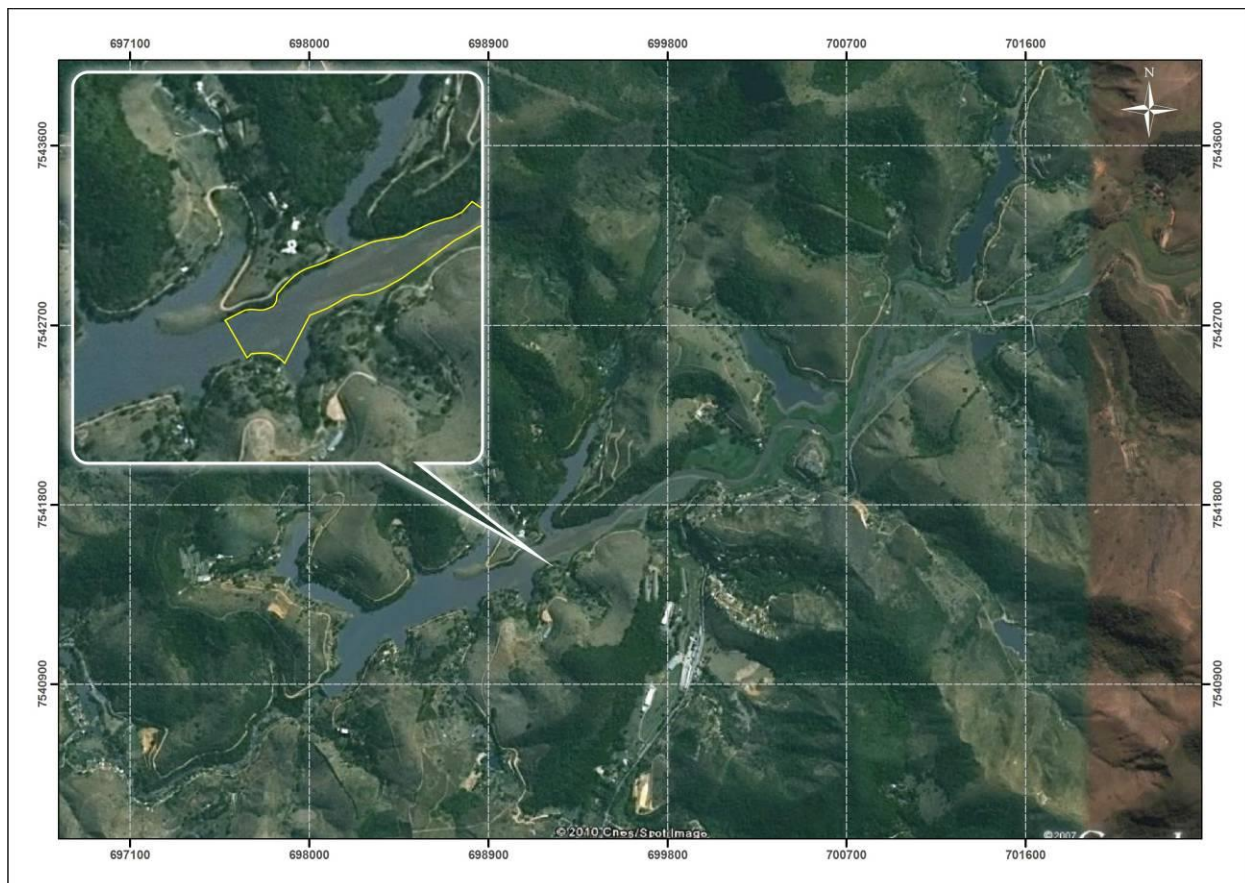


Figura A4.24 – Delta do reservatório da UHE Areal na bacia do rio Piabanha.

Trecho entre as estações Anta e Itaocara:

Esse trecho, devido ao seu posicionamento na bacia e à declividade de seu leito (a maior da bacia), pode ser caracterizado como de transporte. De fato, com pequeno incremento percentual na área de drenagem da bacia, o volume do aporte de sedimento a montante é praticamente igual ao volume de saída a jusante, indicando um equilíbrio no balanço de massas. Além disso, a ausência de depósitos de sedimentos nas cabeceiras do reservatório da UHE Ilha dos Pombos, construída na década de 1920 (Figura A4.25), sugere que a componente de descarga em suspensão deve prevalecer sobre a descarga por arraste. Destaca-se que a eficiência de retenção desse reservatório é praticamente nula, além de que o arranjo geral da barragem e da tomada de água facilita o fluxo de sedimentos para jusante. Mesmo assim, caso a componente de descarga de arraste fosse significativa, haveria algum depósito em forma de delta na cabeceira do reservatório, com o acúmulo do material de granulometria mais grossa.

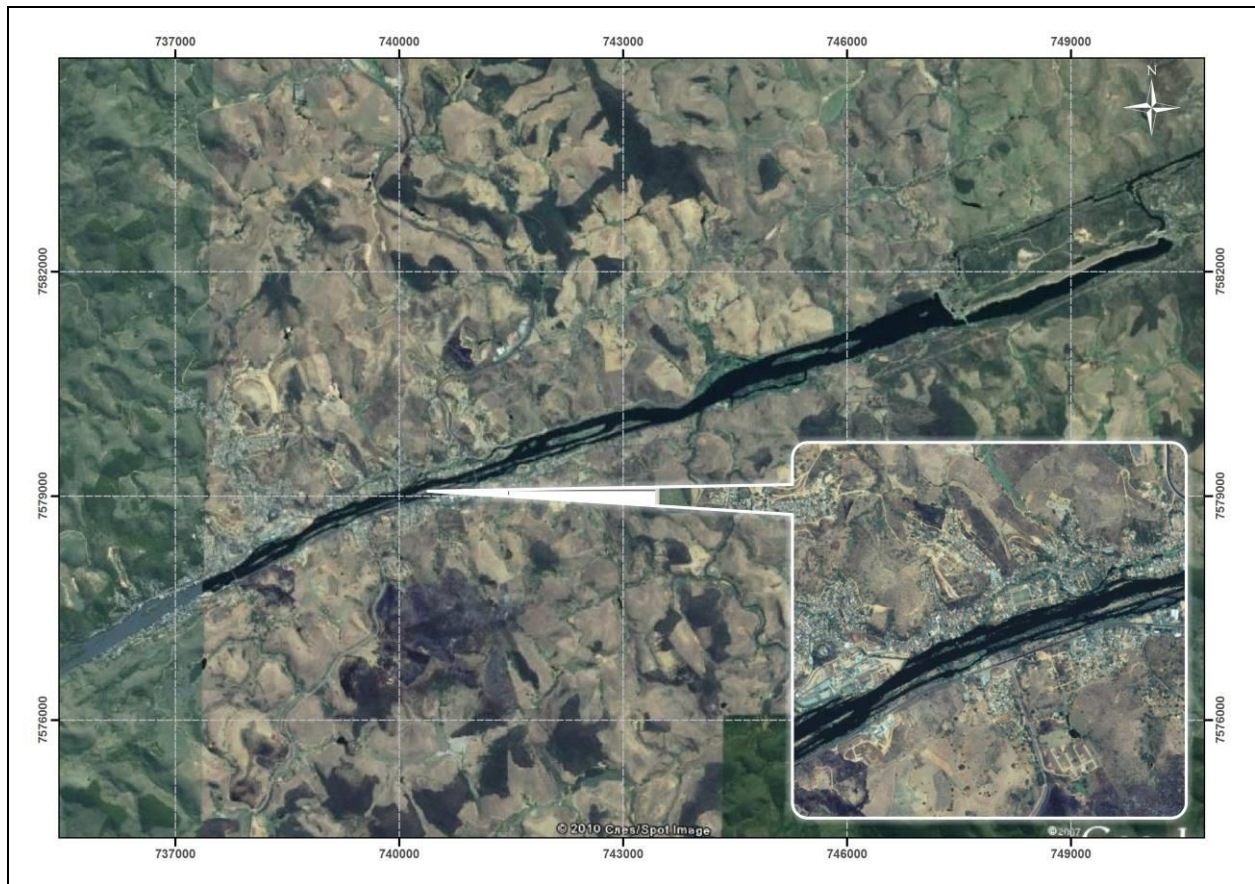


Figura A4.25 – Ausência de delta no reservatório da UHE Ilha dos Pombos, no rio Paraíba do Sul.

Trecho entre as estações Itaocara e Campos:

Nesse trecho deságuam os dois maiores afluentes do rio Paraíba do Sul: rios Pomba e Muriaé. Também nesse trecho ocorre a transição do médio curso do rio Paraíba do Sul para o baixo curso, na altura da cidade de São Fidélis, iniciando uma franca zona de deposição.

O aporte médio anual de descarga sólida dos dois afluentes é da ordem de 600.000 ton, embora a estação de monitoramento de jusante (Campos) não registre o aumento. De fato, o aumento diferencial com a estação de montante (Itaocara) é inferior a 100.000 ton/ano, podendo indicar: **(i)** inconsistência nos dados ou **(ii)** desequilíbrio causado pela zona de deposição.

Também ao longo da calha do rio Pomba aparece uma inconsistência, com significativa redução da descarga sólida entre os pontos de monitoramento de montante (Cataguases) e o de jusante (Santo Antônio de Pádua). Em parte, a diferença pode estar associada aos portos de extração de areia existentes no trecho, na divisa dos municípios de Leopoldina e Laranjal. Eventualmente, o problema pode ser devido aos distintos comprimentos de histórico de medição de sedimentos entre as duas estações de monitoramento. Caso os dados estejam consistentes, o não fechamento da continuidade da descarga sólida no trecho (maior aporte entrando a montante em relação à saída, a jusante) pode indicar que, no período de monitoramento, houve uma efetiva deposição de sedimentos no baixo curso do rio Paraíba do

Sul. Observando a Figura A4.14, fica evidente a formação de depósitos de sedimentos a jusante de São Fidélis.

Ao longo da calha do rio Pomba, há uma tendência de redução do transporte sólido, em razão das usinas hidrelétricas implantadas na bacia terem reservatórios com eficiência de retenção acima de 50%. Na Figura A4.26 pode ser visualizado o depósito de sedimentos na cabeceira do reservatório da UHE Maurício, implantada no rio Novo.

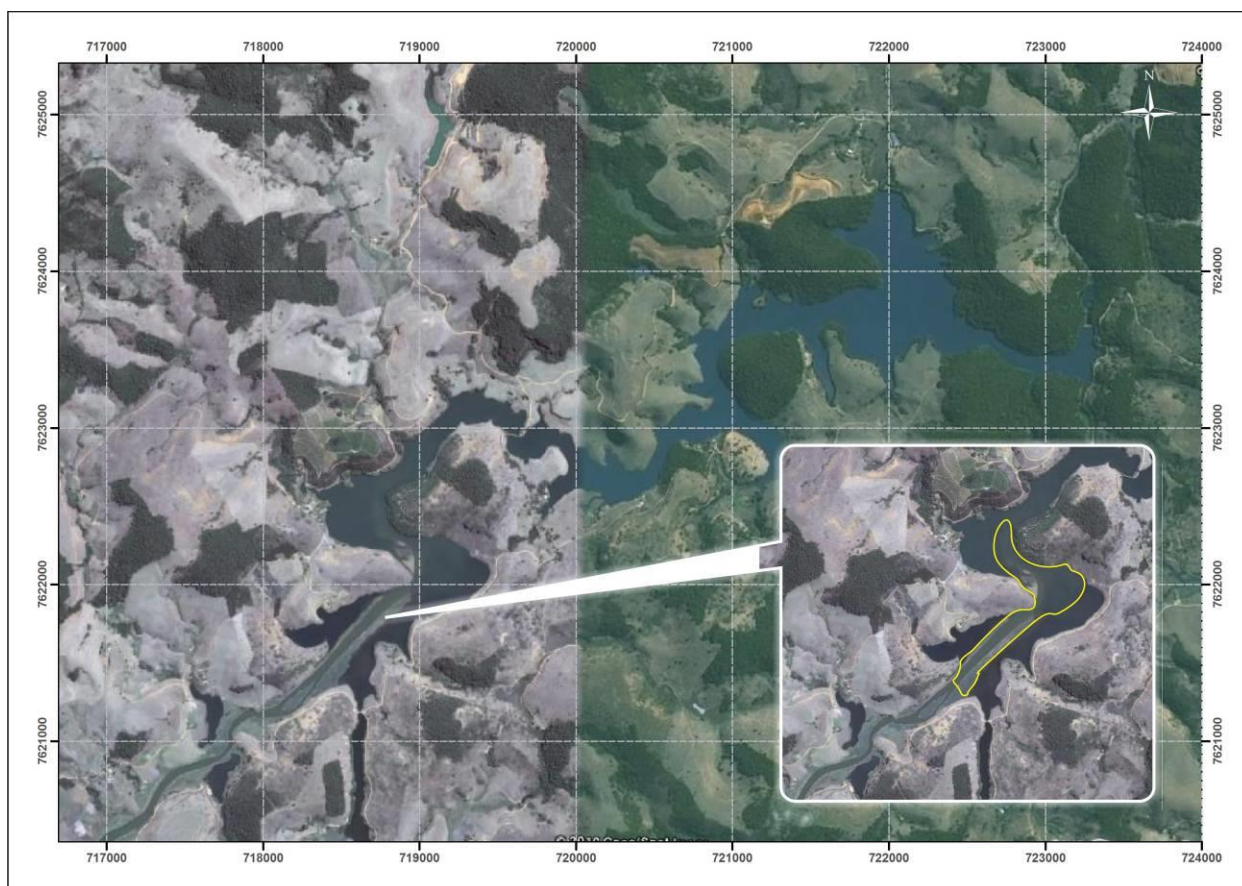


Figura A4.26 – Depósito de sedimentos no reservatório da PCH Nova Maurício, na bacia do rio Pomba.

A.4.6. CONCLUSÕES

As conclusões sintetizadas nesse Item permitem elaborar o efetivo diagnóstico do transporte sólido na bacia do rio Paraíba do Sul. Obviamente, o diagnóstico fica limitado pela disponibilidade dos dados de monitoramento de sedimentos, baseados apenas nas medições da concentração do material em suspensão. Não existem dados de medições de descarga de fundo (arraste), tendo sido adotada a relação determinada para a estação de monitoramento do rio Paraíba em Juiz de Fora, com extrapolação para toda a bacia (Referência: “Diagnóstico Sedimentológico dos Principais Rios Brasileiros”, ELETROBRÁS, 1992). A relação básica estabelece que $Q_{SA}=Q_{ST}/3$, ou seja, a descarga sólida por arraste corresponde a 1/3 da descarga sólida total.

Em termos qualitativos, a bacia do rio Paraíba do Sul apresenta um potencial de geração de sedimentos relativamente elevado, função das características geológicas, de relevo e dos fatores de uso e ocupação do solo. Particularmente, as bacias dos afluentes da margem esquerda (rios Paraibuna, Pomba e Muriaé) apresentam domínios de rochas granitóides com quartzo, em encostas íngremes, bastante favoráveis à geração de sedimentos arenosos (Figura A4.10).

A distribuição longitudinal dos sedimentos pode ser analisada a partir das informações sintetizadas nas Figuras A4.21 e A4.22 e na Tabela A4.3. Observa-se que os reservatórios implantados na bacia, com elevada capacidade de retenção, alteram o comportamento esperado de produção específica de sedimentos, ocorrendo um aumento dos valores unitários no sentido de montante para jusante. Em termos globais, comparativamente com outras bacias brasileiras e mesmo com valores médios mundiais, a bacia do rio Paraíba do Sul apresenta baixas taxas médias de transporte de sedimentos, principalmente ao longo do eixo do curso principal.

O trecho de rio onde serão implantados os empreendimentos AHE Itaocara I e AHE Itaocara II pode ser caracterizado como de transporte, com pouco aporte lateral de sedimentos. Aparentemente, prevalece nesse trecho a modalidade de transporte por suspensão, em vista da ausência de depósitos nas cabeceiras do reservatório da UHE Ilha dos Pombos. Essa constatação poderá alterar para maior as estimativas de vida útil dos reservatórios dos futuros aproveitamentos, além de indicar baixos impactos para jusante, devido à pouca ocorrência de material de leito. Valendo essa hipótese, pode-se adicionar a conclusão de que os sedimentos de fundo que, atualmente, modelam a morfologia do baixo curso do rio Paraíba do Sul, a jusante de São Fidélis, assim como o balanço na região da foz, são provenientes, em sua maioria, das bacias dos rios Pomba e Muriaé.

Na distribuição longitudinal dos sedimentos, não existe continuidade dos volumes transportados a jusante da cidade de Itaocara, pois a soma das descargas sólidas totais pelo rio Paraíba do Sul com as descargas dos principais afluentes no trecho (rios Pomba e Muriaé) apresenta-se inferior ao aporte na área do delta, registrado na estação de Campos. O volume total de sedimentos lançado pelo rio no oceano, com base nos dados de monitoramento e premissas de divisão das modalidades de transporte, foi calculado em cerca de 2.500.000 ton/ano.

Por meio da distribuição dos sedimentos ao longo do perfil longitudinal (Figuras A4.21 e A4.22), fica nítido o impacto da retenção exercida pelos reservatórios das cabeceiras da bacia (Barragens de Paraibuna/Paraitinga, Jaguari e Santa Branca), com o baixo valor da PES total calculado em 18,0 ton/km².ano. No sentido de jusante, após atravessar a região altamente urbanizada e industrializada entre São José dos Campos e Queluz, a PES total aumenta para 50,0 ton/km².ano, vindo a reduzir-se substancialmente para 23,0 ton/km².ano a jusante do reservatório da UHE Funil. A PES total volta a subir novamente, no sentido de jusante, até alcançar os valores máximos específicos no trecho de entrada dos afluentes rio Paraibuna (margem esquerda) e rio Piabanha (margem direita). Entretanto, mesmo a jusante do deságüe desses afluentes, na altura da cidade de Três Rios, não se nota a formação de depósitos de sedimentos na calha do rio Paraíba do Sul. Em todo o trecho de jusante, até a cidade de São

Fidélis, não são formados cones de dejeção nas estruturas geológicas de controle do escoamento, com depósitos de material arenoso.

No ponto de monitoramento existente a jusante da Estação Elevatória Santa Cecília (estação Piraí), não existe impacto aparente devido à derivação das descargas para abastecimento do sistema de reservatórios do Sistema LIGHT.

As análises focadas no delta do rio Paraíba do Sul indicaram que a morfologia da foz é controlada, em maior escala, pela deriva das ondas de sul e pela corrente dominante de nordeste, que provocam erosão na direção do Cabo de São Tomé (ao sul da foz), e pela bifurcação da calha menor, abrindo um canal recente na direção norte. Nesse diagnóstico, as erosões no pontal de Atafona estariam mais associadas a esse processo morfológico natural, antes de ser apenas consequência das intervenções promovidas pelas obras hidráulicas implantadas na bacia do rio Paraíba do Sul. Em grande parte, a descarga sólida do rio está sendo desviada pelo canal norte, dirigindo os depósitos de sedimentos em direção à praia de Gargaú.

Estudos anteriores relacionados à morfologia do delta do rio Paraíba do Sul indicaram que houve um aumento do pontal na foz na primeira metade do Século XX, causado pela intensa ocupação da bacia no período do Ciclo do Café e expansão da malha ferroviária na Zona da Mata Mineira. Além disso, a margem esquerda do pontal foi erodida e abriu-se um braço do rio na direção norte, a partir da década de 1940, reduzindo o aporte de sedimentos ao longo da margem direita, junto ao pontal de Atafona.

Nos últimos 40 anos, a implantação de grandes reservatórios de regularização na bacia reduziu o aporte de sedimentos na foz. Mesmo assim, fica nítida a deriva das águas do rio em direção ao norte, carreando parte da descarga sólida para a praia de Gargaú, podendo inclusive, no futuro, obstruir a saída do canal norte do rio Paraíba do Sul.

Como conclusão geral, os estudos geomorfológicos indicam que o processo de erosão na Praia de Atafona está mais relacionado aos fenômenos naturais da deriva das ondas de sul, potencializado pelo fato de uma parcela substancial da descarga sólida carregada pelo rio estar sendo direcionada na direção oposta, ao longo do eixo do canal norte, aberto naturalmente nos últimos 50 anos. Assim, o processo de erosão é irreversível e natural, não se devendo, exclusivamente, à retenção de sedimentos nos reservatórios e à derivação de vazões da bacia.

B. CÁLCULO DA VIDA ÚTIL DOS RESERVATÓRIOS

B1. INTRODUÇÃO

Esse capítulo tem a finalidade de apresentar o cálculo da vida útil dos reservatórios dos AHEs Itaocara I e Itaocara II, reproduzindo, na íntegra, os estudos de assoreamento feitos na etapa de Projeto Básico, que resultaram nos cálculos da capacidade de retenção de sedimentos dos reservatórios e na evolução dos depósitos ao longo do reservatório. Os estudos foram feitos com aplicação do Método de Redução Empírica de Área, recomendado pelo U.S. Bureau of Reclamation do Estados Unidos e adotado amplamente como critério de projeto, pelo setor elétrico brasileiro.

Os estudos levaram em consideração a criação do reservatório do AHE Simplício, com incorporação da respectiva capacidade de retenção de sedimentos. Desprezou-se, contudo, a influência do reservatório da UHE Ilha dos Pombos, em virtude de um presumido equilíbrio sedimentológico.

Ressalta-se que, para a determinação das descargas sólidas retidas nos reservatórios dos AHEs Simplício, Itaocara II e Itaocara I, foram realizadas simulações do assoreamento dos seus reservatórios utilizando o método de Churchill. Os resultados obtidos mostram que a retenção de sedimentos nesses reservatórios se dá a uma taxa aproximadamente constante ao longo das primeiras décadas. Dessa forma, para o cálculo da vida útil do AHE Itaocara I, localizado mais a jusante, assumiu-se que as eficiências de retenção do AHE Simplício e do AHE Itaocara II, iguais a 55% 16%, respectivamente.

Além disso, na determinação da granulometria do sedimento total, considerou-se o sedimento de arrasto como 5% do sedimento em suspensão. Este percentual é inferior ao valor adotado anteriormente nas análises feitas para o presente estudo, embora possa ser perfeitamente plausível, em razão da existência dos reservatórios a montante, que retêm grande parcela do material de fundo.

B2. CÁLCULO DO VOLUME DE ASSOAREAMENTO E DA VIDA ÚTIL DO RESERVATÓRIO DO AHE ITAOCARA I

A análise granulométrica dos sedimentos transportados em suspensão e arrasto pelo rio Paraíba do Sul, realizada pela Cohidro e pela LIGHT, a partir de medições de descarga sólida executadas no posto Itaocara II Formiga Montante e Itaocara Jusante, apresentou os valores médios mostrados na Tabela B2.1.

Tabela B2.1 – Granulometria média dos sedimentos

| Sedimento | Argila (%) | Silte (%) | Areia (%) |
|-----------------|------------|-----------|-----------|
| Suspensão | 44,93 | 50,67 | 4,40 |
| Fundo (arrasto) | 0,00 | 0,00 | 100,00 |

| | | | |
|-------|-------|-------|------|
| Total | 42,68 | 48,14 | 9,18 |
|-------|-------|-------|------|

O peso específico aparente inicial do sedimento foi calculado segundo as equações B2.1 e B2.2 (Lara e Pemberton apresentado por Strand, 1974):

$$\gamma_i = W_c \cdot p_c + W_m \cdot p_m + W_s \cdot p_s \quad (\text{Equação B2.1})$$

$$K = K_c \cdot p_c + K_m \cdot p_m + K_s \cdot p_s \quad (\text{Equação B2.2})$$

onde:

- γ_i = peso específico aparente inicial do depósito de sedimentos (ton/m³);
- c, m, s = índices representativos das faixas granulométricas correspondentes a silte, argila e areia, respectivamente;
- W = peso específico inicial, tabelado segundo a faixa granulométrica e o tipo de operação do reservatório;
- K = constante de compactação tabelada (Tabela B2.2);
- p = frações médias de argila, silte e areia presentes no depósito de sedimento;

Considerando que o reservatório do AHE Itaocara I terá uma operação do “Tipo 1 – Sedimento sempre ou quase sempre submerso”, segundo os critérios de Strand, 1974, e que para este tipo de reservatório os valores de W_i e K_i são os indicados na Tabela B2.2, a seguir, essas equações resultam em:

$$\gamma_i = 0,86 \text{ ton/m}^3;$$

$$K = 0,15334$$

Tabela B2.2 – Constantes W_i e K_i para cálculo do peso específico aparente (Strand, 1974).

| Argila | | Silte | | Areia | |
|--------|--------|-------|--------|-------|----|
| Wc | Kc | Wm | Km | Ws | Ks |
| 0,416 | 0,2563 | 1,121 | 0,0913 | 1,554 | 0 |

Nota: Reservatórios com operação do “Tipo 1 – Sedimento sempre ou quase sempre submerso”.

O peso específico médio das várias camadas de sedimentos depositadas ao longo do tempo (γ_T) varia conforme as idades dessas camadas e pode ser estimado pela equação B2.3, apresentada a seguir:

$$\gamma_T = \gamma_i + 0,4343 \cdot K \left(\frac{T}{T-1} \cdot \ln T \right) \quad (\text{Equação B2.3})$$

onde:

T = tempo de operação do reservatório (anos).

Na simulação do assoreamento dos reservatórios em estudo foi empregada a equação B2.4, apresentada a seguir:

$$S = \frac{365 \cdot Q_{st} \cdot E_r}{y_t} \quad (\text{Equação B2.4})$$

onde:

- S = Volume de sedimento retido no reservatório (m³/ano);
- Q_{ST} = Descarga sólida total média afluyente ao reservatório (ton/dia);
- E_r = Eficiência de retenção do reservatório;
- γ_T = Peso específico aparente médio dos depósitos (ton/m³);

Para a obtenção dos valores da eficiência de retenção E_r utilizou-se a curva de Churchill, em decorrência dos resultados dos estudos de Borland ("River Mechanics", Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, 1971), que indicaram que essa curva conduz a melhores resultados que a Curva de Brune.

A Figura B2.1 representa essa curva, adaptada para unidades métricas.

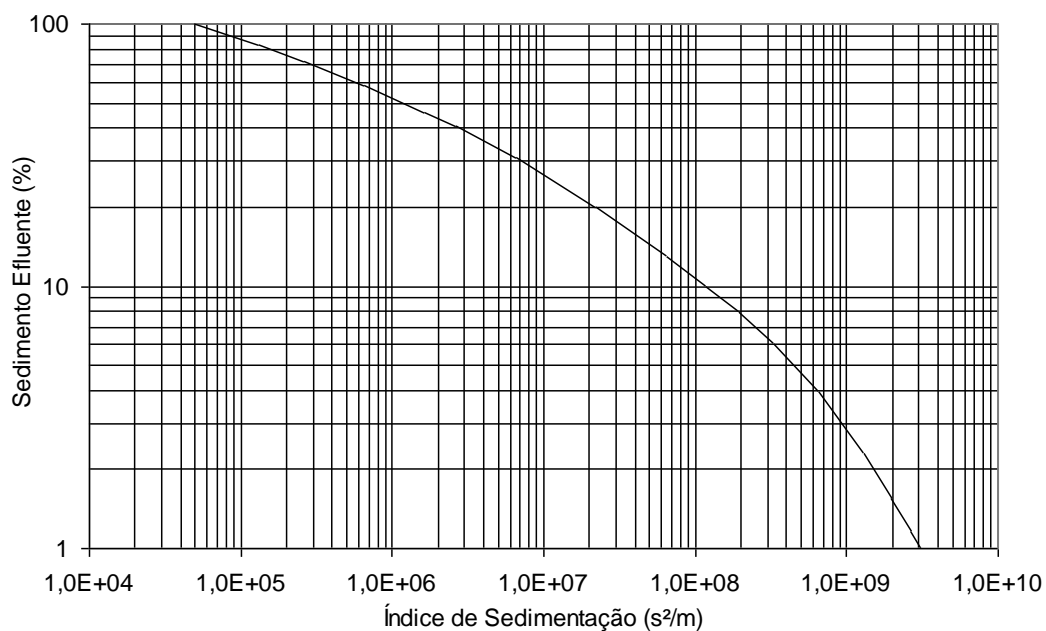


Figura B2.1 – Curva de Churchill.

Dessa forma, foram determinados os índices de sedimentação (IS), empregando-se a equação B2.5, apresentada a seguir:

$$IS = \frac{V^2}{Q^2 \cdot L} \quad \text{(Equação B2.5)}$$

onde:

V = volume do reservatório = variável com o tempo;

Q = vazão média afluente;

L = comprimento do reservatório.

Esses dados, relativos aos reservatórios considerados, são apresentados na Tabela B2.3.

Tabela B2.3 – Dados para a simulação do assoreamento.

| Reservatório | Volume inicial do Reservatório (m ³) | Vazão média Afluente (m ³ /s) | Comprimento (m) |
|-----------------|--|--|-----------------|
| AHE Simplício | 83,8 x 10 ⁶ | 395 | 17.500 |
| AHE Itaipara II | 28,6 x 10 ⁶ | 432 | 22.248 |
| AHE Itaipara I | 412,8 x 10 ⁶ | 448 | 23.759 |

Nota: Dados do AHE Simplício extraídos do relatório do respectivo Projeto Básico (FURNAS, 2006).

A Tabela B2.4 apresenta as estimativas das variáveis envolvidas no processo de simulação do assoreamento para diversos anos de operação do reservatório do AHE Itaipara I.

A Figura B2.2 permite visualizar a diminuição da capacidade do reservatório devido ao processo de assoreamento.

Tabela B2.4 – Simulação do assoreamento do reservatório do AHE Itaocara I

| Ano | | Índice de Sedimentação (s ² /m) | Sedimento Efluente (%) | Sedimento retido (ton) | Sedimento retido acumulado (ton) | Peso específico (ton/m ³) | Volume final (hm ³) | |
|--------|------|---|---------------------------|---------------------------|-------------------------------------|--|---------------------------------|------------|
| Início | Fim | | | | | | Assoreado | Disponível |
| 0 | 10 | 3,60E+07 | 16,93 | 11.573.392 | 11.573.392 | 1,040 | 11,13 | 401,63 |
| 10 | 20 | 3,41E+07 | 17,17 | 11.539.787 | 23.113.179 | 1,075 | 21,51 | 391,25 |
| 20 | 30 | 3,23E+07 | 17,40 | 11.508.355 | 34.621.534 | 1,096 | 31,58 | 381,18 |
| 30 | 40 | 3,07E+07 | 17,62 | 11.477.774 | 46.099.308 | 1,112 | 41,46 | 371,30 |
| 40 | 50 | 2,91E+07 | 17,83 | 11.447.772 | 57.547.080 | 1,124 | 51,18 | 361,58 |
| 50 | 60 | 2,76E+07 | 18,04 | 11.418.236 | 68.965.316 | 1,135 | 60,78 | 351,98 |
| 60 | 70 | 2,62E+07 | 18,25 | 11.389.112 | 80.354.428 | 1,144 | 70,27 | 342,49 |
| 70 | 80 | 2,48E+07 | 18,46 | 11.360.374 | 91.714.802 | 1,151 | 79,66 | 333,10 |
| 80 | 90 | 2,34E+07 | 18,66 | 11.332.012 | 103.046.813 | 1,158 | 88,98 | 323,78 |
| 90 | 100 | 2,22E+07 | 18,86 | 11.304.024 | 114.350.837 | 1,164 | 98,21 | 314,55 |
| 100 | 110 | 2,09E+07 | 19,13 | 11.266.975 | 125.617.812 | 1,170 | 107,36 | 305,40 |
| 110 | 120 | 1,97E+07 | 19,52 | 11.212.166 | 136.829.978 | 1,175 | 116,42 | 296,34 |
| 120 | 130 | 1,86E+07 | 19,93 | 11.155.155 | 147.985.133 | 1,180 | 125,38 | 287,38 |
| 130 | 140 | 1,75E+07 | 20,36 | 11.095.790 | 159.080.923 | 1,185 | 134,25 | 278,51 |
| 140 | 150 | 1,64E+07 | 20,80 | 11.033.909 | 170.114.832 | 1,189 | 143,03 | 269,73 |
| 150 | 160 | 1,54E+07 | 21,27 | 10.969.341 | 181.084.173 | 1,194 | 151,72 | 261,04 |
| 160 | 170 | 1,44E+07 | 21,75 | 10.901.903 | 191.986.076 | 1,198 | 160,31 | 252,45 |
| 170 | 180 | 1,35E+07 | 22,26 | 10.831.397 | 202.817.473 | 1,201 | 168,81 | 243,95 |
| 180 | 190 | 1,26E+07 | 22,79 | 10.757.613 | 213.575.085 | 1,205 | 177,21 | 235,55 |
| 190 | 200 | 1,17E+07 | 23,34 | 10.680.323 | 224.255.408 | 1,209 | 185,52 | 227,24 |
| 290 | 300 | 5,23E+06 | 30,73 | 9.650.877 | 325.836.183 | 1,241 | 262,55 | 150,21 |
| 390 | 400 | 1,84E+06 | 43,43 | 7.880.979 | 413.395.134 | 1,273 | 324,68 | 88,08 |
| 490 | 500 | 5,14E+05 | 63,89 | 5.030.490 | 477.373.413 | 1,302 | 366,55 | 46,21 |
| 590 | 600 | 1,73E+05 | 82,71 | 2.409.380 | 511.911.232 | 1,329 | 385,19 | 27,57 |
| 690 | 700 | 1,11E+05 | 89,34 | 1.484.735 | 529.900.337 | 1,358 | 390,10 | 22,66 |
| 790 | 800 | 9,51E+04 | 91,40 | 1.197.810 | 543.013.291 | 1,386 | 391,69 | 21,07 |
| 890 | 900 | 8,29E+04 | 93,13 | 956.798 | 553.646.533 | 1,408 | 393,09 | 19,67 |
| 990 | 1000 | 7,35E+04 | 94,55 | 758.801 | 562.082.306 | 1,426 | 394,21 | 18,55 |
| 1990 | 2000 | 4,79E+04 | 98,91 | 152.258 | 596.270.869 | 1,499 | 397,72 | 15,04 |
| 2990 | 3000 | 4,43E+04 | 99,57 | 60.033 | 605.824.688 | 1,521 | 398,28 | 14,48 |
| 3990 | 4000 | 4,33E+04 | 99,78 | 31.100 | 610.140.510 | 1,531 | 398,45 | 14,31 |

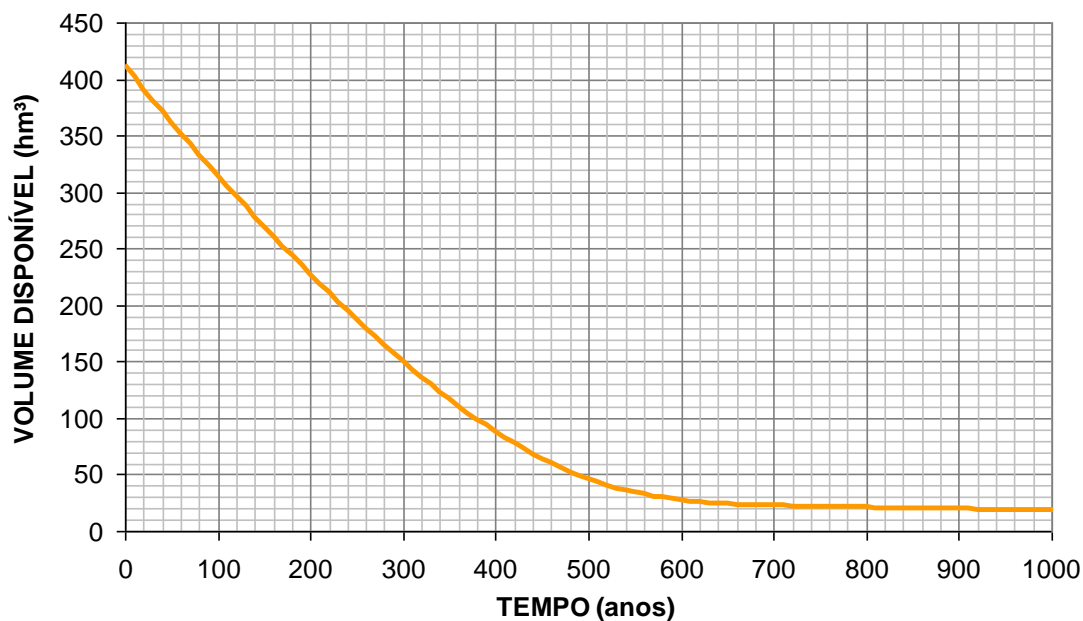


Figura B2.2 – Redução do volume do reservatório do AHE Itaipava I pelo assoreamento.

Para estimar a evolução dos depósitos de sedimentos no pé da barragem, foram realizadas simulações matemáticas de transporte de sedimentos pelo reservatório do empreendimento, a partir do programa HEC-6, desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos. A Tabela B2.5 reúne as alturas desses depósitos para diversos tempos de operação do empreendimento, enquanto a Figura B2.3 relaciona esses dados.

Tabela B2.5 – Altura dos depósitos no pé da barragem.

| Tempo de Operação (anos) | Altura do Depósito (m) |
|--------------------------|------------------------|
| 0 | 0,00 |
| 5 | 0,12 |
| 10 | 0,34 |
| 15 | 0,46 |
| 20 | 0,58 |
| 25 | 0,64 |
| 30 | 0,75 |

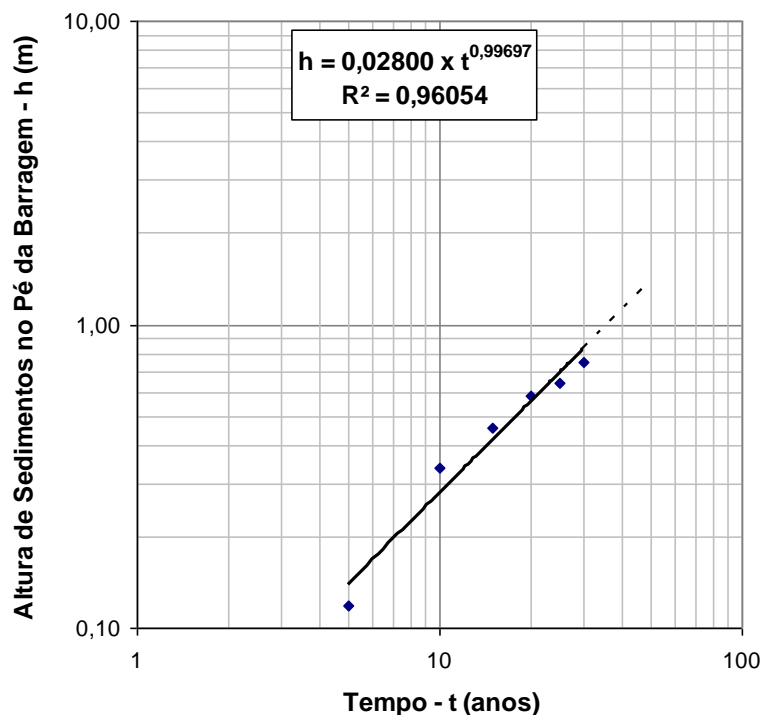


Figura B2.3 – Evolução da altura de sedimentos no pé da barragem do AHE Itaipara I

A partir da relação estabelecida na Figura B2.3 foi estimada a altura de sedimentos no pé da barragem, para um assoreamento de 50 anos e sua correspondente altitude, para o reservatório estudado. A Tabela B2.6 apresenta esse resultado e outros dados de interesse.

Tabela B2.6 – Dados e resultados do estudo de distribuição dos sedimentos no reservatório.

| Discriminação | Valor |
|---|-------|
| Cota do pé da barragem (m) | 60,00 |
| Altura de sedimentos (m) | 1,38 |
| Cota dos sedimentos no pé da barragem (m) | 61,38 |
| Cota da Soleira do Canal de Aproximação da Tomada de Água (m) | 73,00 |

A análise conjugada da cota de sedimentos no pé da barragem após 50 anos de operação com a cota da soleira do canal de aproximação da Tomada d'Água permite concluir que o AHE Itaipara I deverá operar sem problemas sedimentológicos durante mais de 50 anos.

Conseqüentemente, não é de se esperar que o processo de sedimentação do reservatório venha a ocasionar problemas operacionais para a Tomada d'Água do aproveitamento, durante sua vida útil. Apesar disso, recomenda-se a realização de levantamentos topobatimétricos após decorridos cerca de 10 anos da implantação do reservatório. Em função dos resultados obtidos, deverão ser programados novos levantamentos, tudo visando o monitoramento da real evolução do assoreamento.

B3. CÁLCULO DO VOLUME DE ASSOAREAMENTO E DA VIDA ÚTIL DO RESERVATÓRIO DA AHE ITACARA II

A metodologia e os parâmetros empregados no cálculo do volume de assoreamento e da vida útil do reservatório da AHE Itacara II foram os mesmos adotados para o AHE Itacara I, apresentado no item anterior. A seguir são apresentados apenas os resultados obtidos.

A Tabela B3.1 apresenta as estimativas das variáveis envolvidas no processo de simulação do assoreamento para diversos anos de operação do reservatório do AHE Itacara II. A Figura B3.1 permite visualizar a diminuição da capacidade do reservatório devido ao processo de assoreamento.

Tabela B3.1 – Simulação do assoreamento do reservatório do AHE Itacara II.

| Ano | | Índice de Sedimentação (s ² /m) | Sedimento Efluente (%) | Sedimento retido (ton) | Sedimento retido acumulado (ton) | Peso específico (ton/m ³) | Volume final (hm ³) | |
|--------|-----|---|---------------------------|---------------------------|-------------------------------------|--|---------------------------------|------------|
| Início | Fim | | | | | | Assoreado | Disponível |
| 0 | 10 | 1,96E+05 | 80,61 | 3.036.737 | 3.036.737 | 1,359 | 2,24 | 26,32 |
| 10 | 20 | 1,67E+05 | 83,24 | 2.623.818 | 5.660.555 | 1,384 | 4,09 | 24,47 |
| 20 | 30 | 1,44E+05 | 85,52 | 2.268.104 | 7.928.659 | 1,405 | 5,64 | 22,92 |
| 30 | 40 | 1,26E+05 | 87,47 | 1.961.989 | 9.890.649 | 1,424 | 6,95 | 21,61 |
| 40 | 50 | 1,12E+05 | 89,14 | 1.700.932 | 11.591.581 | 1,443 | 8,03 | 20,53 |
| 50 | 60 | 1,01E+05 | 90,55 | 1.480.094 | 13.071.674 | 1,462 | 8,94 | 19,62 |
| 60 | 70 | 9,27E+04 | 91,73 | 1.294.452 | 14.366.127 | 1,477 | 9,73 | 18,83 |
| 70 | 80 | 8,54E+04 | 92,77 | 1.132.679 | 15.498.806 | 1,487 | 10,42 | 18,14 |
| 80 | 90 | 7,92E+04 | 93,67 | 990.661 | 16.489.467 | 1,496 | 11,02 | 17,54 |
| 90 | 100 | 7,40E+04 | 94,47 | 866.422 | 17.355.889 | 1,502 | 11,55 | 17,01 |
| 100 | 110 | 6,96E+04 | 95,16 | 757.968 | 18.113.856 | 1,508 | 12,02 | 16,54 |
| 110 | 120 | 6,59E+04 | 95,76 | 663.406 | 18.777.263 | 1,512 | 12,42 | 16,14 |
| 120 | 130 | 6,27E+04 | 96,29 | 581.002 | 19.358.265 | 1,516 | 12,77 | 15,79 |
| 130 | 140 | 6,00E+04 | 96,75 | 509.198 | 19.867.463 | 1,519 | 13,08 | 15,48 |
| 140 | 150 | 5,77E+04 | 97,15 | 446.613 | 20.314.076 | 1,521 | 13,35 | 15,21 |
| 150 | 160 | 5,57E+04 | 97,50 | 392.039 | 20.706.115 | 1,524 | 13,59 | 14,97 |
| 160 | 170 | 5,40E+04 | 97,80 | 344.419 | 21.050.533 | 1,526 | 13,80 | 14,76 |
| 170 | 180 | 5,25E+04 | 98,07 | 302.838 | 21.353.371 | 1,528 | 13,98 | 14,58 |
| 180 | 190 | 5,12E+04 | 98,30 | 266.501 | 21.619.872 | 1,529 | 14,14 | 14,42 |
| 190 | 200 | 5,01E+04 | 98,50 | 234.723 | 21.854.595 | 1,531 | 14,28 | 14,28 |
| 200 | 210 | 4,91E+04 | 98,68 | 206.909 | 22.061.504 | 1,532 | 14,40 | 14,16 |
| 210 | 220 | 4,83E+04 | 98,83 | 182.545 | 22.244.049 | 1,533 | 14,51 | 14,05 |
| 220 | 230 | 4,75E+04 | 98,97 | 161.187 | 22.405.235 | 1,534 | 14,61 | 13,95 |
| 230 | 240 | 4,69E+04 | 99,09 | 142.450 | 22.547.685 | 1,535 | 14,69 | 13,87 |
| 240 | 250 | 4,63E+04 | 99,20 | 126.000 | 22.673.685 | 1,536 | 14,76 | 13,80 |
| 250 | 260 | 4,58E+04 | 99,29 | 111.548 | 22.785.233 | 1,537 | 14,83 | 13,73 |
| 260 | 270 | 4,54E+04 | 99,37 | 98.843 | 22.884.075 | 1,537 | 14,89 | 13,67 |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|----------|--------|--------|------------|-------|-------|-------|
| 270 | 280 | 4,50E+04 | 99,44 | 87.666 | 22.971.741 | 1,538 | 14,94 | 13,62 |
| 280 | 290 | 4,47E+04 | 99,50 | 77.827 | 23.049.568 | 1,539 | 14,98 | 13,58 |
| 290 | 300 | 4,44E+04 | 99,56 | 69.160 | 23.118.728 | 1,539 | 15,02 | 13,54 |
| 300 | 310 | 4,41E+04 | 99,61 | 61.521 | 23.180.249 | 1,540 | 15,05 | 13,51 |
| 310 | 320 | 4,39E+04 | 99,65 | 54.784 | 23.235.032 | 1,540 | 15,08 | 13,48 |
| 320 | 330 | 4,37E+04 | 99,69 | 48.838 | 23.283.871 | 1,541 | 15,11 | 13,45 |
| 330 | 340 | 4,35E+04 | 99,72 | 43.588 | 23.327.459 | 1,541 | 15,14 | 13,42 |
| 340 | 350 | 4,34E+04 | 99,75 | 38.949 | 23.366.409 | 1,542 | 15,16 | 13,40 |
| 350 | 360 | 4,33E+04 | 99,78 | 34.848 | 23.401.257 | 1,542 | 15,17 | 13,39 |
| 360 | 370 | 4,31E+04 | 99,80 | 31.219 | 23.432.476 | 1,542 | 15,19 | 13,37 |
| 370 | 380 | 4,30E+04 | 99,82 | 28.007 | 23.460.482 | 1,543 | 15,21 | 13,35 |
| 380 | 390 | 4,29E+04 | 100,00 | 0 | 23.460.482 | 1,543 | 15,21 | 13,35 |

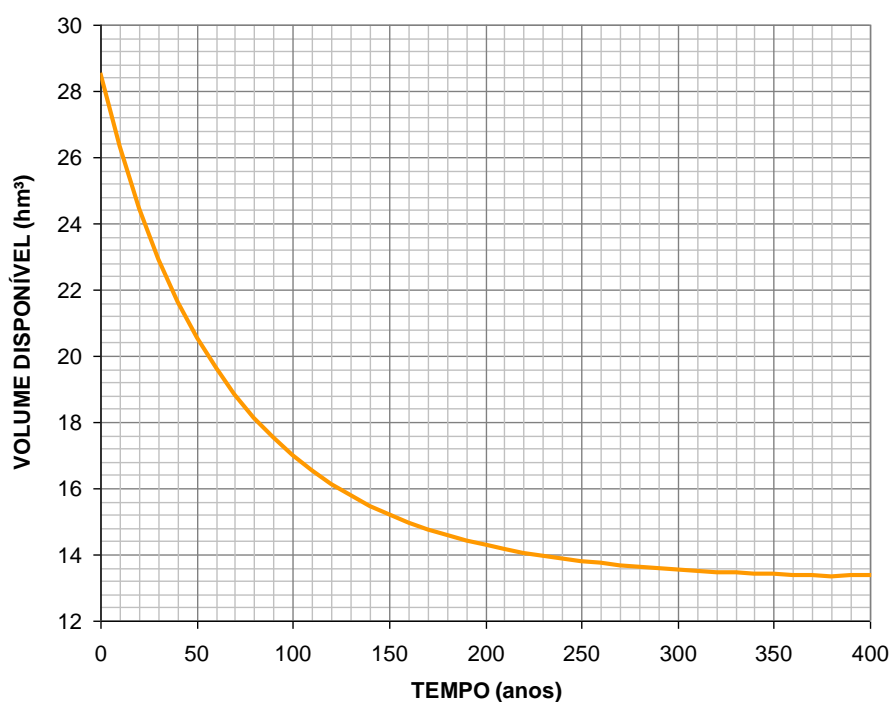


Figura B3.1 – Redução do volume do reservatório do AHE Itaocara II pelo assoreamento.

A Tabela B3.2 reúne as alturas dos depósitos para diversos tempos de operação do empreendimento, enquanto a Figura B3.2 relaciona esses dados.

Tabela B3.2 – Altura dos depósitos no pé da barragem.

| Tempo de Operação (anos) | Altura do Depósito (m) |
|--------------------------|------------------------|
| 0 | 0,00 |
| 5 | 0,05 |
| 10 | 0,17 |
| 15 | 0,23 |
| 20 | 0,29 |
| 25 | 0,31 |
| 30 | 0,36 |

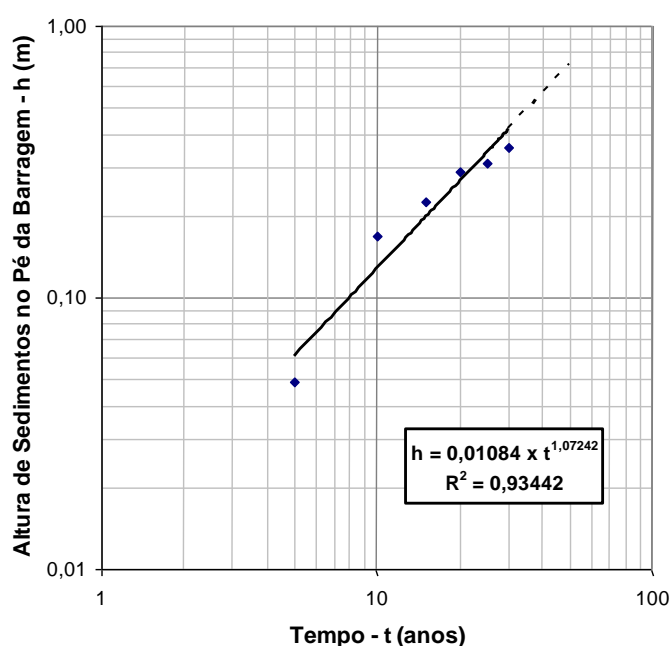


Figura B3.2 – Evolução da altura de sedimentos no pé da barragem do AHE Itaipava II.

A Tabela B3.3 apresenta os resultados da estimativa de sedimentos no pé da barragem, para um assoreamento de 50 anos e sua correspondente altitude, para o reservatório estudado e outros dados de interesse.

Tabela B3.3 – Dados e resultados do estudo de distribuição dos sedimentos no reservatório.

| Discriminação | Valor |
|---|-------|
| Cota do pé da barragem (m) | 86,00 |
| Altura de sedimentos (m) | 0,72 |
| Cota dos sedimentos no pé da barragem (m) | 86,72 |
| Cota da Soleira da Tomada de Água (m) | 76,00 |

C. PROGNÓSTICO SEDIMENTOLÓGICO

C1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Esse capítulo tem a finalidade de realizar o prognóstico sedimentológico, resultado da combinação do diagnóstico e do cálculo da eficiência de retenção dos reservatórios dos AHEs Itaocara I e Itaocara II, associado à análise prospectiva de possíveis impactos no equilíbrio morfológico no trecho fluvial a jusante dos aproveitamentos.

São feitas considerações a respeito dos estudos apresentados nos itens anteriores e nos estudos de Projeto Básico, enfatizando a convergência de ambos a respeito da supressão sedimentar de material de arraste imposta pela alta densidade de reservatórios na bacia do rio Paraíba do Sul.

Reportando-se aos capítulos anteriores, pode-se notar que as premissas de composição da descarga sólida total (descarga de fundo + descarga em suspensão) tiveram valores diferentes nos contextos do diagnóstico e do cálculo da vida útil dos aproveitamentos.

O **diagnóstico** foi feito segundo a premissa de que a descarga de arraste teria a proporção $Q_{SA}=0,333*Q_{ST}$ em relação à descarga sólida total. Basicamente, qualquer outra relação diferente daquela adotada não alteraria as principais conclusões do diagnóstico, relacionadas à distribuição relativa das descargas sólidas ao longo do perfil longitudinal do rio Paraíba do Sul.

Já os **cálculos da vida útil** dos reservatórios, segundo os estudos de Projeto Básico, foram feitos dentro da premissa de que $Q_{SA}=0,05*Q_{ST}$. Em princípio, essa premissa parece mais adequada à condição vigente no trecho de rio onde os aproveitamentos serão construídos, visto que os indícios de poucos depósitos de sedimentos sugerem baixas taxas de transporte de arraste. Caso se adote essa relação para o rio Paraíba do Sul, em todo o trecho entre a UHE Funil e a estação de Itaocara, e a relação sugerida pelo diagnóstico da ELETROBRÁS ($Q_{SA}=0,333*Q_{ST}$) para os afluentes rios Pomba e Muriaé e todo o trecho do baixo rio Paraíba do Sul, a jusante de São Fidélis, a descontinuidade identificada no diagnóstico, para o trecho em questão, deixaria de existir.

De fato, pelos cálculos da vida útil do reservatório do AHE Itaocara II (Tabela 3.4), pode-se deduzir que a descarga sólida total inferida para o trecho seria da ordem de $Q_{ST}=1.500.000$ ton/ano, bastante inferior ao valor de $Q_{ST}=2.427.555$ ton/ano calculado no diagnóstico. Esse valor mais baixo, somado às contribuições de descargas sólidas dos rios Pomba e Muriaé, fecharia a continuidade na estação de monitoramento de Campos ($Q_{ST}=2.512.487$ ton/ano), agregando consistência ao longo de todo o perfil do rio Paraíba do Sul. Assim, o presente prognóstico foi feito com base nessa premissa, aparentemente mais realística.

Nessas condições, o diagnóstico ficaria assim revisado:

- Rio Paraíba do Sul a montante da foz do rio Pomba: $Q_{ST}=1.500.000$ ton/ano, sendo $Q_{SA}=0,05*Q_{ST}=75.000$ ton/ano;

- ❑ Rio Paraíba do Sul na foz no oceano: $Q_{ST}=2.512.487$ ton/ano, sendo $Q_{SA}=0,333*Q_{ST}=837.411$ ton/ano;
- ❑ A contribuição da descarga sólida de arraste do rio Paraíba do Sul, a montante de Itaocara, seria inferior a 10% da descarga sólida de arraste que aporta ao oceano.

Como prognóstico, pode-se considerar que o maior percentual de retenção que ocorrerá nos reservatórios dos AHEs Itaocara I e Itaocara II será da descarga de arraste (material de granulometria mais grossa). Entretanto, o material retido nos reservatórios não deverá causar impactos no processo de alteração morfológica da foz do rio Paraíba do Sul, pois o maior condicionante da erosão na praia de Atafona está associado à progressão do canal norte do rio Paraíba do Sul, na direção da praia de Gargaú.

Deve ser ressaltado que a metodologia adotada para o cálculo da vida útil dos reservatórios não diferencia os transportes de arraste e em suspensão, sendo processada apenas sobre a descarga sólida total. Como o maior percentual seria de material em suspensão (95%), o tempo de assoreamento real deverá ser bem maior.

C2. PROGNÓSTICO SEDIMENTOLÓGICO DO AHE ITAOCARA I

Com a cota no pé da barragem posicionada na El. 60,00 m, a cota da soleira do vertedouro El. 76,00 m, a cota da tomada de água na El. 73,00 m e prognóstico de vida útil indicando, após 50 anos de operação, o assoreamento alcançando a El. 61,38 m (como pode ser observado nas Figuras 2.1 a 2.3 e na Tabela 2.1), conclui-se que o empreendimento continuará a operar sem restrições por tempo indeterminado.

Em um horizonte de 50 anos de vida útil, foi previsto um assoreamento total de 70.000.000 m³, correspondendo a 17% do volume total do reservatório. Valendo as premissas de taxas de transporte de arraste feitas no item anterior ($Q_{SA}=75.000$ m³/ano), pode-se concluir que o reservatório do AHE Itaocara II deverá reter todo o material de granulometria mais grossa nesse período. Os dados resumidos na Tabela B2.6 mostram a posição dos depósitos de sedimentos em relação às cotas do fundo do reservatório e da soleira da tomada de água, indicando que o assoreamento não afetará o circuito hidráulico de geração. Ademais, a posição do vertedouro, junto ao canal de aproximação da tomada de água (Figuras C2.1 a C2.3), contribuirá para a remoção dos depósitos de sedimentos junto ao paramento de montante da barragem, no trecho de aproximação do circuito hidráulico de geração.

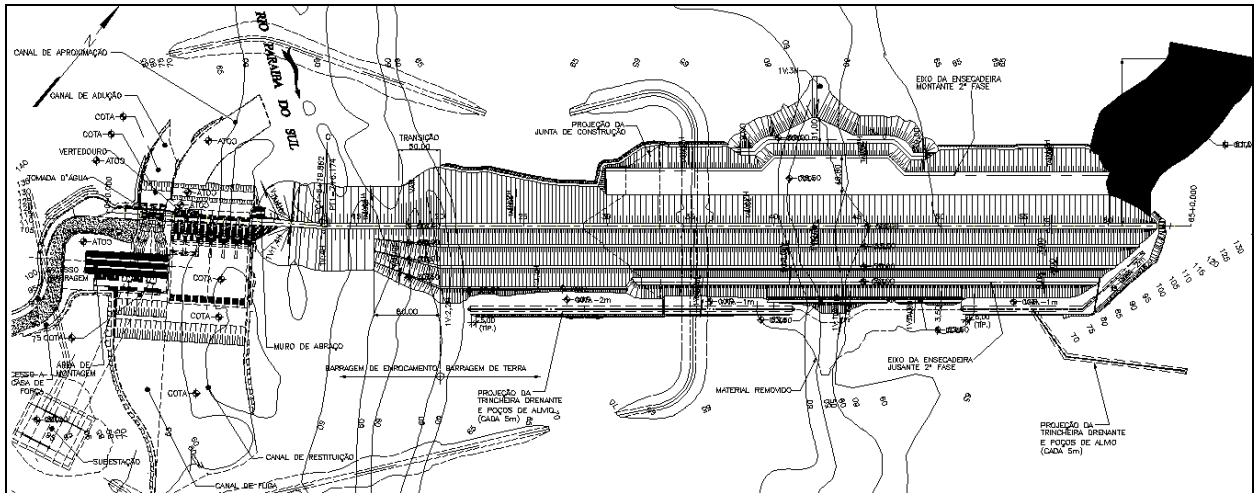


Figura C2.1 – Arranjo do AHE Itacara I.

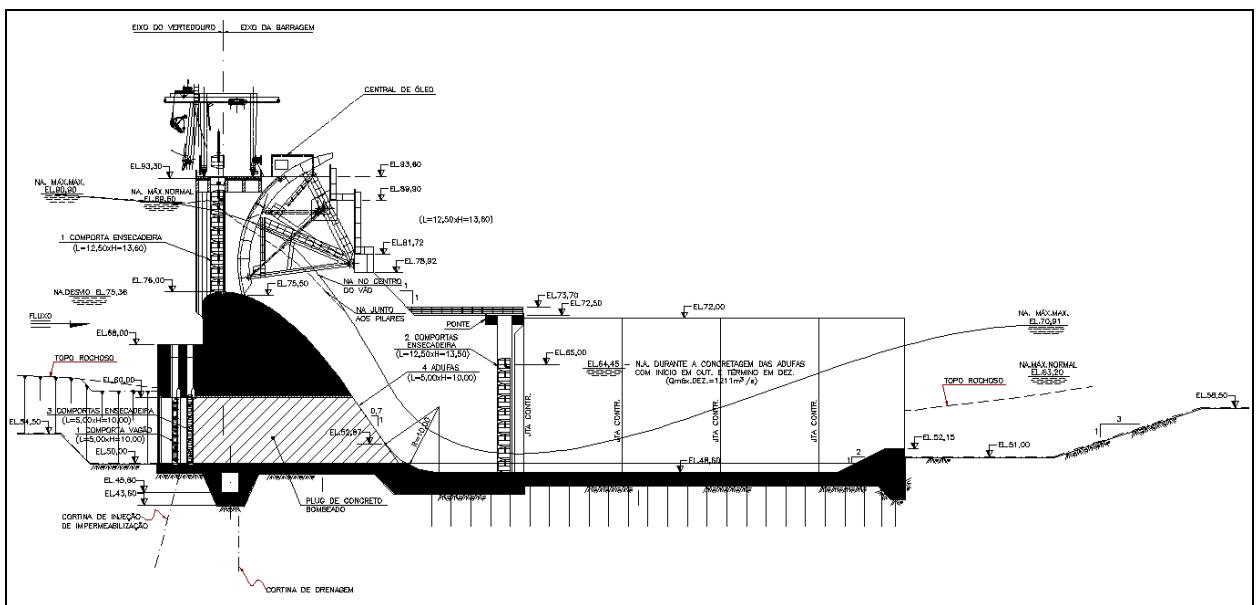


Figura C2.2 – Seção do vertedouro do AHE Itacara I.

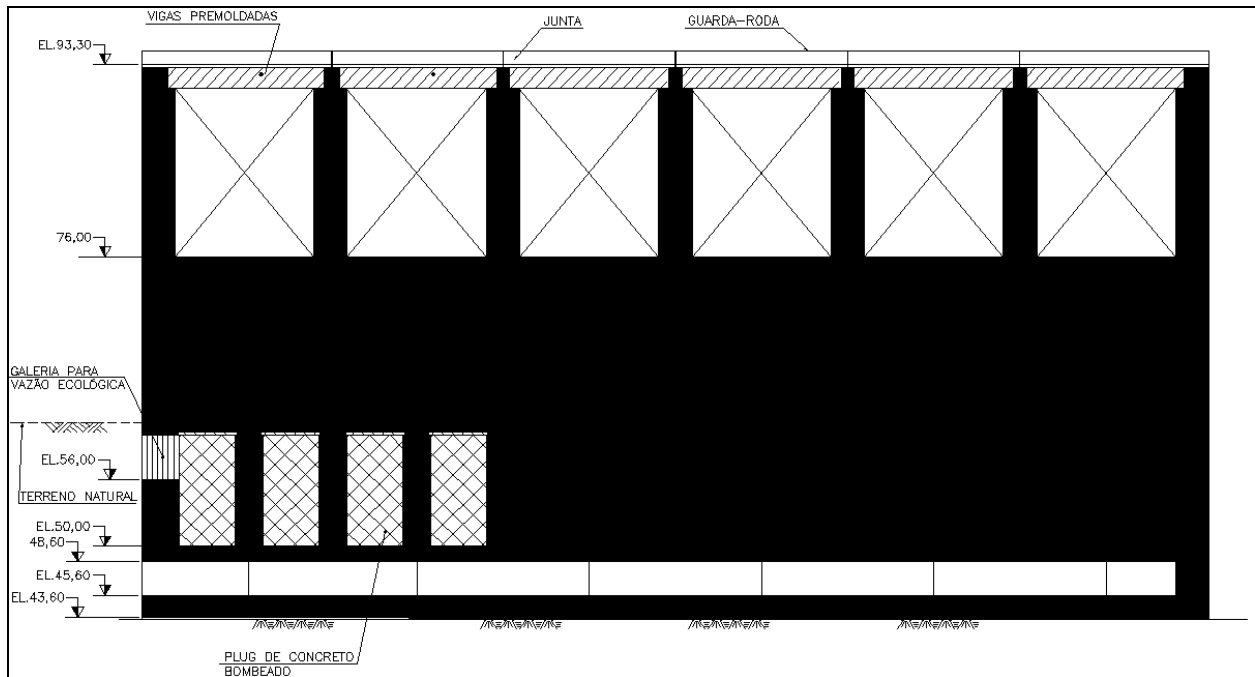


Figura C2.3 – Vista de montante do vertedouro do AHE Itaocara I.

C3. PROGNÓSTICO SEDIMENTOLÓGICO DO AHE ITAOCARA II

No horizonte de 50 anos de operação do reservatório, foi previsto o assoreamento de 13.000.000 m³, correspondente a 16% do volume total. Ao final desse período, a altura dos depósitos junto ao paramento de montante da barragem será de apenas 0,72 m (Tabela B3.3).

As Figuras C3.4 a C3.6 mostram o arranjo geral da barragem do AHE Itaocara I, podendo-se notar que o canal de aproximação da tomada de água será escavado em cotas inferiores ao fundo natural da calha do rio. Mesmo com essas cotas mais, o assoreamento não deverá prejudicar a operação da usina, devido ao arranjo do vertedouro ao lado da tomada de água.

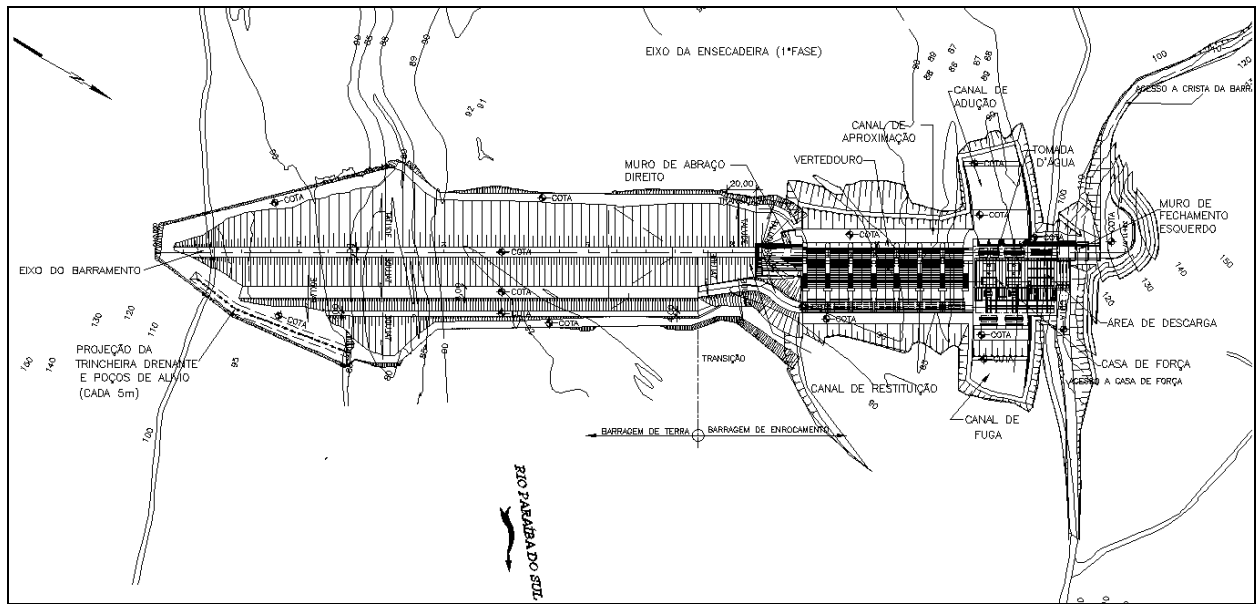


Figura C3.4 – Arranjo do AHE Itacara II.

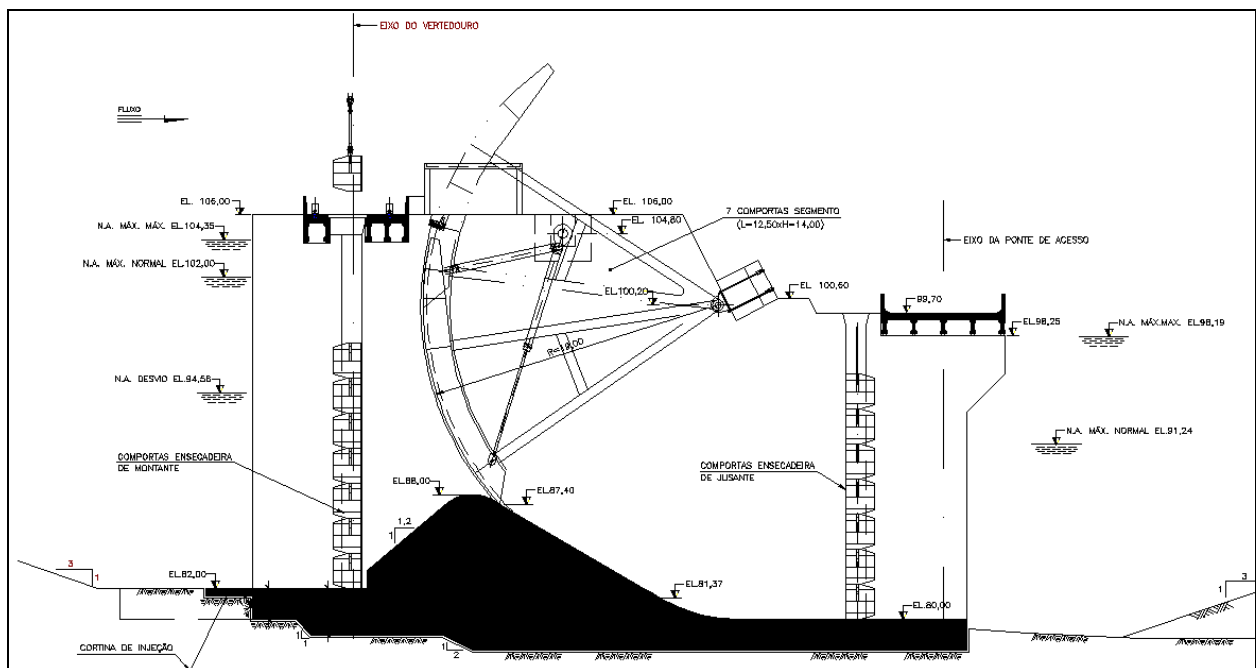


Figura C3.5 – Seção do vertedouro do AHE Itacara II.

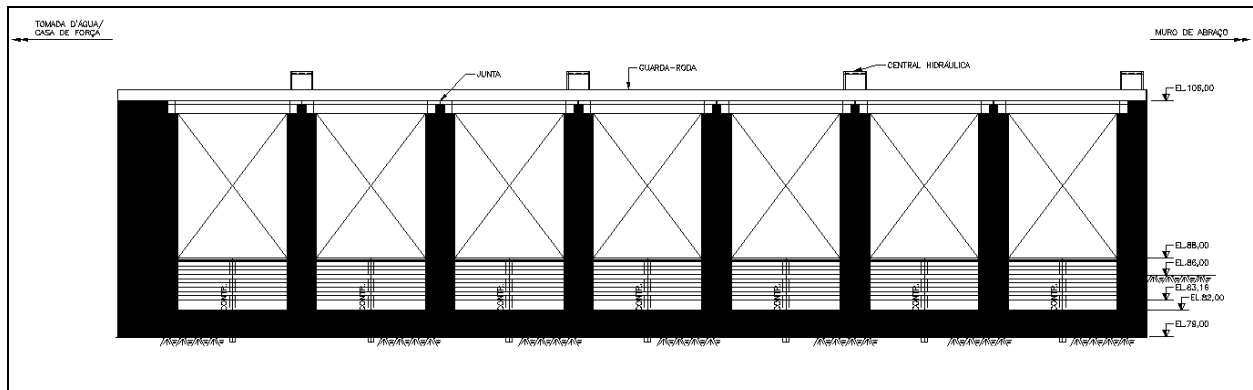


Figura C3.6 – Vista de montante do vertedouro do AHE Itaocara II.

C4. PROGNÓSTICO SEDIMENTOLÓGICO PARA O TRECHO DE JUSANTE

Considerando o horizonte de 50 anos para o prognóstico e as hipóteses de transporte sólido e eficiências de retenção apresentadas nos itens anteriores, deverá ocorrer uma redução de cerca de 55% da descarga sólida da bacia no trecho do baixo curso do rio Paraíba do Sul, representada pelo assoreamento dos reservatórios dos AHE's Itaocara I e Itaocara II.

Em termos do aporte de material arenoso ao trecho, o impacto será menos significativo, uma vez que a contribuição atual da bacia, a montante de Itaocara, é bastante pequena, com a descarga de arraste sendo inferior a 10% do total carreado para a foz. Recordando os valores estimados, têm-se as descargas de arraste de 75.000 ton/ano e 837.411 ton/ano, respectivamente nas estações de monitoramento de Itaocara e de Campos.

Se a modelagem da morfologia da foz estiver associada aos sedimentos de granulometria mais grossa, o processo de erosão no pontal de Atafona não sofreria alterações. Além disso, o diagnóstico do problema apontou, como causa principal da erosão do pontal, a derivação do canal do rio Paraíba do Sul em direção ao norte.

D. PROGRAMAS AMBIENTAIS

Os itens subseqüentes apresentam as atividades que compõem os programas ambientais de monitoramento hidrossedimentológico e de levantamento topobatimétrico dos reservatórios para subsidiar estudos futuros de prognóstico da dinâmica de sedimentos pelos reservatórios dos AHE's Itaipava I e II e estimativa da vida útil desses empreendimentos.

O monitoramento hidrossedimentológico tem o objetivo de acompanhar e quantificar a carga de sedimentos em suspensão e de arraste e caracterizar a granulometria desses sedimentos, inclusive do leito, do rio Paraíba do Sul, afluentes aos reservatórios do empreendimento e defluentes dos mesmos.

O programa de levantamento topobatimétrico dos reservatórios visa acompanhar o processo de assoreamento dos reservatórios, de formas tais a se conhecer a geometria da distribuição dos depósitos de sedimentos nos reservatórios e a variação temporal do volume desses depósitos.

D1. PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDROSSEDIMENTOLÓGICO

As informações obtidas por meio de um programa de monitoramento são fundamentais para o aprimoramento do conhecimento do regime hidrossedimentométrico da bacia hidrográfica na qual se inserem os empreendimentos, em especial no que se refere à carga de sedimento de arraste, cujas informações não são monitoradas pelas estações da ANA e são fundamentais para análises mais precisas do impacto dos aproveitamentos em questão sobre a dinâmica de sedimentos do rio Paraíba do Sul. De maneira mais específica, os dados coletados auxiliam diretamente na estimativa da carga de sedimentos em suspensão e de fundo (arraste) afluentes e defluentes aos reservatórios, fornecendo elementos necessários para estudos de avaliação do tempo de assoreamento dos mesmos e do prognóstico da dinâmica de sedimentos.

O monitoramento hidrossedimentométrico é realizado a partir de campanhas de medição de descarga líquida e sólida (em suspensão e arraste) e de leituras contínuas de níveis de água em estações hidrossedimentométricas instaladas em seções fluviais de interesse. As estações precisam ser instaladas a montante e a jusante dos AHE's Itaipava I e II, em locais adequados para este tipo de monitoramento, para se conhecer as descargas afluentes e defluentes aos reservatórios.

Devido à possibilidade de interferência dos níveis do reservatório da AHE Itaipava II com os níveis de água nas proximidades da saída do canal de fuga da UHE Ilha dos Pombos, recomenda-se que a estação de montante seja instalada nas proximidades da cidade de Além Paraíba, a montante do reservatório dessa usina e ainda fora do remanso do mesmo. Em relação à estação de jusante, recomenda-se a sua instalação nas proximidades da cidade de Itaipava. A localização das estações hidrossedimentométricas pode ser visualizada na Figura D1.1.

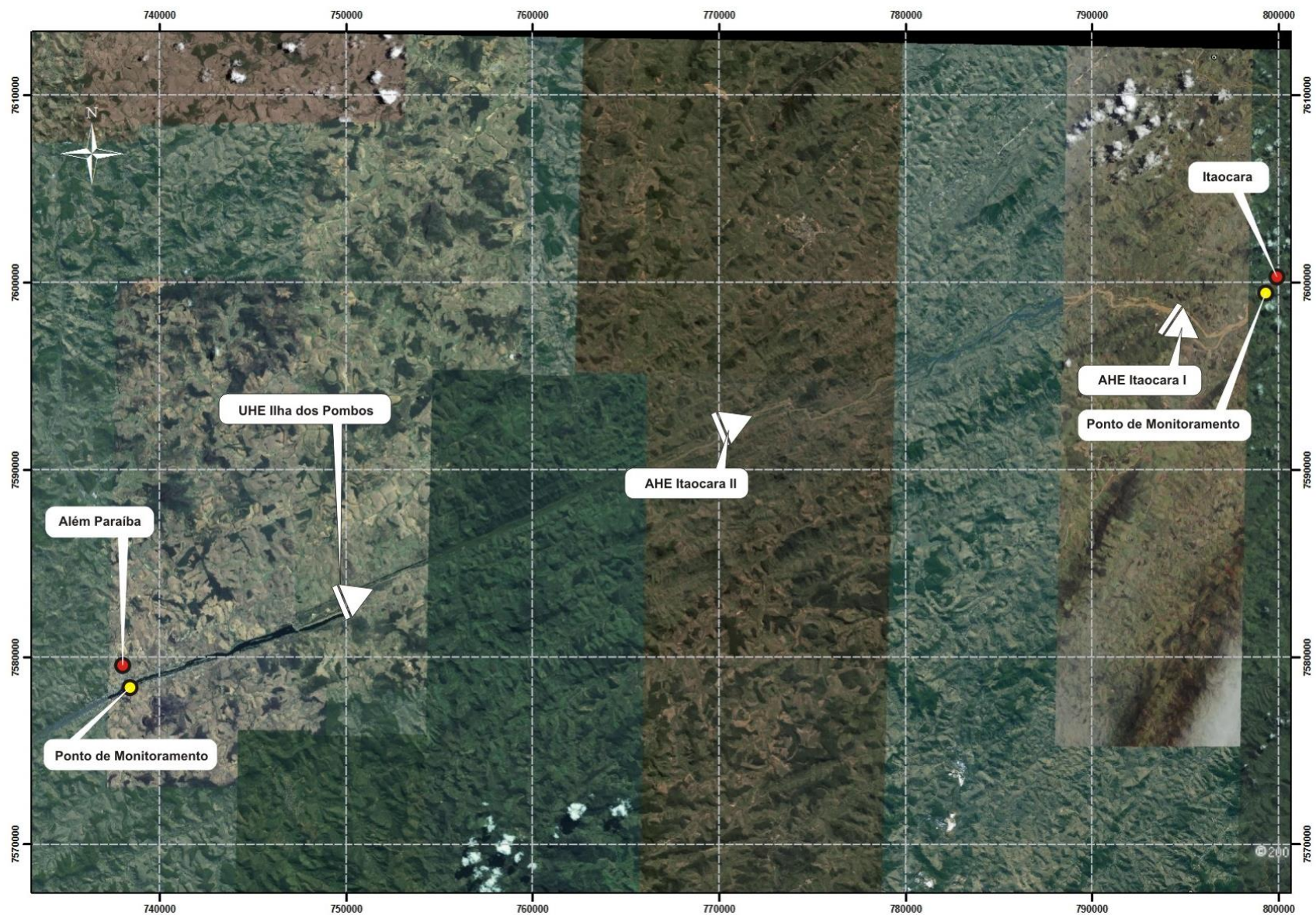


FIGURA D1.1 – Localização das estações hidrossedimentométricas sugeridas no programa de monitoramento.

O posicionamento desses dois pontos de monitoramento foi definido a partir de imagens de satélite e em função da proximidade em relação a áreas em que pode ser facilmente encontrado um observador. O local exato para a instalação das estações hidrossedimentométricas e para a realização das medições de descargas precisa ser definido *in loco*, considerando as especificações listadas a seguir:

- ❑ Verificar se as condições do local indicado para a instalação das réguas são realmente adequadas para operação das mesmas, ou seja: trecho retilíneo, livre de obstáculos ou interferências que possam prejudicar a qualidade dos dados e com declividade suave. A seção deve atender também as exigências de margens bem definidas e leito estável, área de fluxo compatível para realização de medição, com boa distribuição de velocidades em toda seção transversal, facilidade de acesso e situada próximo a uma seção de controle de escoamento.
- ❑ O local escolhido para implantação da seção de réguas linimétricas deve levar em conta também, alguns fatores importantes: acessibilidade ao local de medição e leitura; vigilância; proximidade de um observador; seção adaptável às medidas hidrométricas (permitir medição em todas as cotas), estável (com regime fluvial controlado a jusante e localizada em trecho de material bastante coeso) e com boa sensibilidade (seção que garante grande amplitude de vazões para uma pequena amplitude de cotas). A seção das réguas deve ser locada em um ponto que não sofra interferência de possíveis ações antrópicas ou de remanso de reservatórios, os quais levem à necessidade de sua remoção no prazo de execução do plano de monitoramento.
- ❑ Caso não seja possível realizar as medições de descarga líquida no local em que foram instaladas as réguas, verificar a existência de seção próxima que apresente condições hidráulicas adequadas (distância máxima de 30 m), e esteja situada a montante de seções de controle de fluxo. A escolha de um local adequado garante a estabilidade da curva-chave definida para o local de interesse.
- ❑ Deve ser levantado um perfil transversal da seção de medição de descargas líquidas e sólidas e do local das réguas.
- ❑ Caso seja verificada, *in loco*, inadequação dos pontos indicados nesse estudo, deve ser identificado outro local, que atenda a todos os critérios de instalação e medição de vazões (líquidas e sólidas) em cursos de água.
- ❑ Os lances de réguas instalados devem ser e ficar legíveis, além de devidamente nivelados em relação ao nível zero da régua.
- ❑ Instalar pelo menos duas referências de nível (RN's), as quais permitem a amarração altimétrica da seção posteriormente.
- ❑ Deve ser elaborada uma ficha descritiva para a seção de réguas no padrão ANA, contendo todas as informações referentes ao local: data de instalação, localização e acesso, croqui, características dos lances de régua e materiais, fotos (do local, de jusante e montante), observador contratado, etc.
- ❑ Localizar e contratar um observador, o qual deve ser devidamente treinado para realizar as leituras de nível de água na seção de réguas, bem como verificar o funcionamento da estação.

- ❑ O observador, de preferência, deve residir o mais próximo possível do local, para facilitar o acesso e garantir a continuidade do processo de monitoramento. Seus dados devem constar na ficha descritiva da estação.
- ❑ Programar os serviços de medição para o período de vigência do plano de monitoramento, fixando as datas das medições de descarga líquida e sólida, a emissão dos relatórios parciais e os levantamentos batimétricos nas seções de controle.
- ❑ Equipar a estação para a coleta de amostras de sedimentos em suspensão, de arraste e de fundo de acordo com as características da seção ou contratar empresa que disponha dos equipamentos e materiais necessários.

Tendo em vista a largura do rio Paraíba do Sul (150 m a 250 m), no local indicado para a localização das estações hidrossedimentométricas, será necessária a utilização de barco com motor de polpa para a realização das medições de descarga e garantir a segurança da equipe de medição durante a realização das atividades, sejam elas no período seco ou chuvoso.

Para medição das descargas líquidas recomenda-se a utilização de molinete hidrométrico de eixo horizontal ou vertical e para as descargas sólidas, a utilização de amostradores de sedimentos em suspensão (modelo tipo US D49), de arraste (modelo tipo Arhem) e de fundo (modelo tipo USBM 60). A Tabela D1.1 sintetiza os principais equipamentos necessários à instalação das estações hidrossedimentométricas no rio Paraíba do Sul.

Tabela D1.1 – Materiais necessários para a instalação da estação hidrossedimentométrica no rio Paraíba do Sul.

| Descrição | Quantidade |
|--|--------------------------------------|
| Escalas linimétricas em alumínio padrão ANA/CEMIG | Especificar de acordo com a seção |
| Peças de madeira tipo parajú de 12 x 8 x 200 cm | Idem acima |
| Marcos de concreto para instalação de RN's | 2 |
| Barco com motor de polpa | 1 |
| Guincho fluviométrico para medição | 1 |
| Amostrador de sedimento em suspensão (US D49) | 1 |
| Amostrador de sedimento de fundo (USBM 60) | 1 |
| Amostrador de sedimento de arraste (Arnhem) | 1 |
| Garrafas para coleta de amostras de sedimentos | O dobro das verticais de medição |
| Engradado para guardar as garrafas | 1 |
| Cantoneiras para alteamento do cabo de medição | 2 |
| Cabo de aço de 3/16" para execução das medições (metros) | Adaptar à largura da seção escolhida |

Após a instalação das estações hidrossedimentométricas, pode-se iniciar o programa de monitoramento, o qual permitirá, com a disponibilidade de registros suficientes, determinar a curva-chave de descargas líquidas e sólidas totais no local das réguas e se conhecer o comportamento hidrossedimentológico do rio Paraíba do Sul, no trecho compreendido pelos AHE's Itaocara I e II.

(a) Ações básicas

Para a implementação do programa de monitoramento faz-se necessário as seguintes medidas:

- ❑ Contratação de equipe técnica especializada para realizar as medições de descargas líquidas e sólidas, que disponha de aparelhos de medição e coleta de dados adequados às características do curso de água no trecho considerado.
- ❑ Contratação de dois observadores, com escolaridade mínima em nível fundamental e com residência próxima às estações hidrossedimentométricas, para realizar as leituras bi-diárias de nível de água nas réguas linimétricas das estações.
- ❑ As medições de descarga líquida serão realizadas concomitantemente com a coleta de amostras de sedimentos em suspensão, de arraste e de fundo.
- ❑ Tais medições, simultaneamente feitas com a leitura de cotas nas seções de régua, serão realizadas com frequência anual suficiente para verificar eventuais alterações no leito do rio, as quais afetam as respectivas curvas-chaves no local. Antes e durante a construção da usina recomenda-se a realização de **12 campanhas de medição por ano** (descarga líquida, descarga sólida em suspensão, arraste e de fundo), tal como indicado na Tabela D1.2. Após o enchimento do reservatório e da consolidação da curva-chave, ou seja, durante toda a vida útil do empreendimento, recomenda-se a realização de pelo menos **5 campanhas de medição**, 02 no período seco e 03 no período chuvoso.

Tabela D1.2 – Programa para realização das campanhas de medição de descargas líquidas e sólidas na estação hidrossedimentométrica a ser instalada no do rio Paraíba do Sul.

| Período | Número de Campanhas | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ |
| Durante a fase de implantação da usina, antes da consolidação da curva-chave | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Durante a operação da usina, após consolidação da curva-chave | 1 | - | 1 | - | - | 1 | - | 1 | - | - | 1 | - |

- ❑ Deverão ser previamente estabelecidos e/ou descritos após cada campanha, os métodos de medição de descargas líquidas (aparelhos utilizados e métodos de cálculo) e os métodos de medição de descarga sólida (EDI – Iguais Incrementos de Descarga ou EWI – Iguais Incrementos de Largura).
- ❑ As amostras de sedimentos coletadas em campo devem ser embaladas adequadamente, de formas tais a se evitar perdas de material, e encaminhadas a um laboratório especializado em análises sedimentométricas, para determinação da concentração de sólidos em suspensão e de arraste, e, por meio da execução de ensaios granulométricos, determinar a distribuição granulométrica dos materiais.

- ❑ Durante o processo de leitura e medição de descargas líquida e sólida, todas as alterações na seção (exemplo: obstruções) ou no escoamento local (exemplo: turbulência, instabilidade, variável de nível), que possam ser identificadas durante os mesmos ou que impossibilitaram sua realização, devem ser registradas, de forma a tornar possível a verificação de consistência das leituras posteriormente.
- ❑ Os registros bi-diários de nível de água, obtidos pelo observador, deverão ser anotados em cadernetas específicas e disponibilizados uma vez por mês à equipe técnica responsável pelo acompanhamento do monitoramento das réguas.
- ❑ Durante a realização das campanhas de medição deve ser levantado o perfil transversal com batimetria da seção de medição de descargas líquidas, de maneira que seja possível acompanhar a evolução da morfologia da calha.
- ❑ Montar esquema de armazenamento de informações, facilitando a análise posterior dos dados.
- ❑ Elaborar relatórios anuais com os resultados das medições e análises laboratoriais, incluindo a evolução paulatina da curva-chave de sedimentos e a estimativa da descarga sólida total que aporta aos reservatórios das AHEs Itaocara I e II.

Para a execução das medições de descargas líquidas recomenda-se o emprego do método de integração da distribuição de velocidades e para as medições e coletas de sedimentos, recomenda-se o método de Incremento de Descargas Iguais (EDI), que consiste na coleta de um número X de amostras de sedimentos em suspensão, determinado em função da largura da seção de medição, e a coleta de $X + 2$ amostras de sedimentos de fundo, sendo 2 (duas) amostras coletadas nas margens da seção de medição e o restante no leito do rio.

Os resultados das análises das amostras sedimentométricas serão utilizados para a geração das séries de descargas sólidas totais e serão armazenadas, juntamente com as medições de descargas líquidas e de nível de água, em um banco de dados até que a quantidade de registros seja suficiente para permitir: (i) uma análise detalhada de sua consistência; (ii) estabelecer a curva-chave de vazões líquidas, a curva-chave de sedimentos em suspensão e de arraste e a curva-chave de sedimentos totais; e (iii) estimar o aporte de sedimentos afluentes aos reservatórios dos AHEs Itaocara I e II e, conseqüentemente a altura de sedimentos depositados nos reservatórios e vida útil dos mesmos.

(b) Cronograma

As campanhas de medição devem ser inicializadas de imediato e permanecerem durante toda a vida útil do empreendimento.

(c) Equipe Técnica

A equipe técnica prevista para a execução do Programa de Monitoramento Hidrossedimentométrico dos AHEs Itaocara I e II deverá ser composta pelos seguintes profissionais:

- ❑ 01 engenheiro hidrólogo sênior com experiência em execução de programas de monitoramento hidrossedimentológico, para exercer a atividade de coordenação geral, participar de reuniões técnicas, executar levantamento de dados secundários, coleta de campo, acompanhamento de processamento laboratorial, computação e análise dos dados, interpretação dos resultados e elaboração de relatórios;
- ❑ 01 técnico em hidrometria com experiência em operação de barco para condução nos trabalhos de coletas de dados no campo, análise e processamento dos dados coletados;
- ❑ 02 auxiliares técnicos em hidrometria com experiência em operação de barco para condução nos trabalhos de coletas de dados no campo;
- ❑ 01 técnico em laboratório com experiência em análise de amostras sedimentométricas para condução nos trabalhos de coletas de amostras no campo, análise e processamento dos dados.
- ❑ 02 leituristas, com escolaridade mínima em nível fundamental, para a realização das leituras bi-diárias de nível de água nas réguas linimétricas das estações hidrossedimentométricas.

(d) Critérios de Armazenamento e Distribuição das Informações Monitoradas

Os registros coletados nas estações de monitoramento devem compor um *Banco de Dados Brutos*, disponível para análise e tratamento por equipe técnica especializada. Após a análise da consistência dos mesmos, estes devem ser armazenados em um *Banco de Dados Consistidos*, o qual deve estar disponível para consulta a qualquer momento.

Os dados consistidos devem ser utilizados na emissão de relatórios e estatísticas das informações coletadas, bem como na elaboração dos estudos de interesse. É fundamental que a forma de armazenamento e distribuição dos dados coletados seja feita de maneira compatível com a transmissão dos mesmos.

(e) Avaliação das Campanhas de Medição de Descargas Líquidas

A partir das leituras de régua realizadas na estação fluviométrica e das medições de velocidade e área molhada na seção, serão calculadas as vazões líquidas. Os dados obtidos em cada campanha serão analisados de forma cumulativa, permitindo, dessa forma, determinar a curva-chave local, a qual relaciona os níveis e vazões do referido curso de água no trecho de interesse.

(f) Avaliação do Transporte de Sedimentos

A partir da análise cumulativa dos registros disponibilizados por todas as campanhas de medição de descargas líquidas e sólidas previstas nas estações hidrossedimentométricas, posicionadas a montante e jusante dos AHEs Itaocara I e II, será possível estimar com maior grau de confiança a descarga sólida afluente e defluente aos eixos dos barramentos, aplicando o **Método Modificado de Einstein** ou o **Método Simplificado de Colby**, descritos detalhadamente em Carvalho (2008, referência citada).

Em função da disponibilidade de registros locais, os estudos sedimentológicos para avaliação da vida útil do reservatório poderão ser realizados pelo **Método Empírico de Redução de Áreas**, desenvolvido por Bortland e Miller e descrito em Hidrossedimentologia Prática (Carvalho, N.O., CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2008). Por meio desse método é possível estimar a vida útil, calcular a altura de sedimentos depositados no pé da barragem em um determinado período de tempo, bem como estimar a distribuição dos sedimentos no reservatório.

D2. PROGRAMA DE MONITORAMENTO TOPOBATIMÉTRICO DOS RESERVATÓRIOS

O levantamento de seções topobatimétricas nos reservatórios dos empreendimentos hidrelétricos é imperativo para o conhecimento da evolução dos depósitos nos mesmos e para o controle da vida útil desses empreendimentos. Portanto, o objetivo deste programa é monitorar a dinâmica deposicional de sedimentos ao longo dos reservatórios dos AHE's Itaocara I e II e a realização de análises comparativas com os levantamentos anteriores, incluindo a análise da morfologia original, anterior à formação do lago. Dessa forma, será possível verificar e avaliar o assoreamento do reservatório ao longo do tempo e confirmar o tempo de vida útil estimado por meio dos estudos hidrossedimentométricos, feitos com base nas campanhas de medição, bem como no prognóstico de assoreamento determinado nos estudos anteriores de projeto básico da referida usina.

(a) Área de abrangência

A área de abrangência do programa engloba o levantamento topobatimétrico da área do reservatório, do respectivo delta, e do leito fluvial até o canal de fuga do empreendimento hidrelétrico posicionado imediatamente a montante. Ou seja, no caso do AHE Itaocara I, o levantamento precisa cobrir todo o reservatório e se estender até o canal de fuga do AHE Itaocara II, e em relação ao AHE Itaocara II, o levantamento tem que varrer todo o lago e se prolongar até ao canal de fuga da UHE Ilha dos Pombos.

(b) Metodologia

O conhecimento da evolução batimétrica dos reservatórios será obtido a partir de medições sistemáticas de profundidades do leito dos rios citados, através da composição de seções topobatimétricas levantadas perpendicularmente aos mesmos.

Ao se estabelecer uma periodicidade adequada e uma mesma localização levantamentos topobatimétricos, será possível, após cada campanha de medições, determinar a perda de área (em relação às medições do ano anterior) nas seções topobatimétricas obtidas, e, conseqüentemente, calcular o volume de sedimentos depositados em um determinado período. O acúmulo e tratamento dos dados gerados pelas sucessivas campanhas permitirão uma análise da dinâmica dos sedimentos que transitarão neste trecho do reservatório.

As seções topobatimétricas serão concentradas nos reservatórios, preferencialmente nas regiões de formação de delta, permitindo o acompanhamento da dinâmica de deposição de sedimentos no remanso dos reservatórios ou a serem formados nos cursos de água afluente.

Os resultados obtidos durante cada levantamento serão comparados com os levantamentos anteriores, incluindo a análise da morfologia original, anterior à formação dos lagos. Dessa forma, será possível verificar e avaliar o assoreamento dos reservatórios ao longo do tempo e

confirmar o tempo de vida útil estimado por meio dos estudos hidrossedimentométricos, feitos com base nas campanhas de medição.

A localização destas seções será materializada no campo através de fixação de marcos de concreto nos dois lados do reservatório, preferencialmente de modo a serem diretamente utilizados para as operações de campo, como ponto de amarração de cabos de apoio. Deverão ainda ser implantados marcos de segurança enterrados, que servirão como referência para restabelecimento da localização das seções, no caso de descaracterização ou desaparecimento dos marcos superficiais.

O levantamento das seções topobatimétricas poderá ser realizado a partir das seguintes diretrizes:

- a) Os levantamentos deverão ser realizados por equipe especializada, utilizando os equipamentos de precisão, sendo:
 - Na área dos reservatórios, onde as profundidades são maiores, as seções topobatimétricas devem ser levantadas com a utilização de ecobatímetro de registro contínuo acoplado a um GPS com precisão submétrica.
 - Nas regiões onde as profundidades são menores, sem condições para a passagem com o barco, as seções topobatimétricas poderão ser executadas pelo método convencional com o uso de estações totais e de miras diretamente no fundo do rio, de modo a se obter a tomada de profundidades nos locais de interesse.
- b) Para todas as seções topobatimétricas definidas deverá ser adotada uma referência de nível comum com as elevações fornecidas em cotas altimétricas verdadeiras. Recomenda-se a utilização:
 - Datum vertical: marégrafo de Imbituba;
 - Datum horizontal: SAD-69.
- c) As seções deverão ter o alinhamento perpendicular ao escoamento, tendo-se como limites os marcos de concreto localizados em cada margem dos reservatórios.
- d) O número de pontos a serem levantados em cada seção deve ser tal que permita aproximação de todos os contornos e singularidades, buscando a maior aproximação possível com a realidade da configuração do leito, sendo o espaçamento mínimo de 2 (dois) metros entre os pontos.
- e) Deverá ser informado, de maneira expedita, o material ali existente, tais como: rocha, cascalho, areia, lama etc. Os resultados obtidos serão registrados adequadamente de modo a serem incorporados ao banco de dados do projeto.

(c) Produtos a Serem Gerados

Os produtos finais de cada trabalho de campo deverão ser apresentados conforme a seguir:

- Desenhos das seções topobatimétricas, em planta, contendo as coordenadas dos extremos das seções, dos marcos de concreto, do nível de água do reservatório obtido na data do levantamento;
- Planilha em Excel, contendo as coordenadas dos extremos das seções, dos pontos coletados em campo, do nível de água obtido na data do levantamento;
- Desenho do perfil transversal de cada seção, contendo o nível de água obtido na data do levantamento, os marcos de concreto, os pontos coletados, os materiais existentes no leito do reservatório;
- Os resultados obtidos nos levantamentos de campo deverão ser incorporados a um banco de dados organização das informações e utilização em futuras análises comparativas;

Os resultados obtidos deverão ser analisados por especialista em hidrossedimentologia e morfodinâmica fluvial, que produzirá um relatório a cada ano com a análise crítica e interpretativa dos dados.

O relatório deverá constar do mapa de localização das seções, do gráfico comparativo das seções a cada ano, o cálculo do volume assoreado, a reavaliação da vida útil do reservatório. Ainda deverão constar as ações para aperfeiçoamento do programa e o indicativo conceitual de soluções / estudos para mitigar eventuais problemas causados pelo assoreamento.

A partir do momento em que seja observado um equilíbrio morfodinâmico do leito do reservatório, deverá ser produzido um relatório de consolidação das informações, de modo a se buscar o estabelecimento de um padrão de deposição de sedimentos.

(d) Cronograma

Os levantamentos topobatimétricos deverão ser realizados anualmente, até que se obtenha uma estabilização do leito fluvial por três (03) anos consecutivos.

Após este período, os levantamentos deverão ser realizados em intervalo de 5 anos, para fins de controle.

(e) Equipe Técnica

A equipe técnica para execução dos trabalhos inclui os seguintes profissionais:

- ❑ 01 engenheiro civil, especialista em recursos hídricos com conhecimento em hidráulica fluvial e sedimentologia, para definição dos locais onde deverão ser levantadas as seções transversais e elaboração do relatório técnico anual.
- ❑ 01 técnico em hidrometria/topografia, com experiência em levantamentos topobatimétricos de reservatórios e cursos de água, para a realização dos levantamentos topobatimétricos.
- ❑ 02 a 03 auxiliares de topografia, para darem suporte durante os levantamentos topobatimétricos.
- ❑ 01 desenhista para elaboração dos desenhos das seções transversais e geração das curvas de níveis nos reservatórios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO N.O., Hidrossedimentologia Prática, CPRM – Companhia de Pesquisa e Recursos Mineiros, 2008.

CAVALCANTI BERARDES, L.M., Planície Litorânea e a Zona Canavieira do Estado do Rio de Janeiro, XVIII Congresso Internacional de Geografia, Guia de excursão No. 5. Conselho Nacional de Geografia, Rio de Janeiro, 248 p. 1957.

CHANG H.H., Fluvial Process in River Engineering, Wiley-Interscience, 1988.

COLLINS F., River Mechanics, Water Resources Publications, 1971.

DNPM, Projeto Radam Brasil, Sudene, 1973.

FISRWG, Stream Corridor Restoration, Federal Interagency Stream Corridor Restoration Working Group, 1998.

LAMEGO, A.R., O Homem e a Restinga, Conselho Nacional de Geografia, Rio de Janeiro, 227 p.,1946.

MARTIN, L.M.; SUGUIO, K. & FLEXOR, J. M., As Flutuações de Nível do Mar Durante o Quaternário Superior e a Evolução Geológica de “Deltas” Brasileiros, Boletim IG-USP: Publicação Especial, v. 15, 1993.

RIBEIRO FILHO, R., Caracteres Físicos e Geológicos da Bacia do Paraíba, Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia, No. 127, Rio de Janeiro, 55 p.,1948.

STRAND, Robert I. Desing of small dams: sedimentation – Appendix H, Bureau of Reclamation. Washington,DC. 1974.



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.

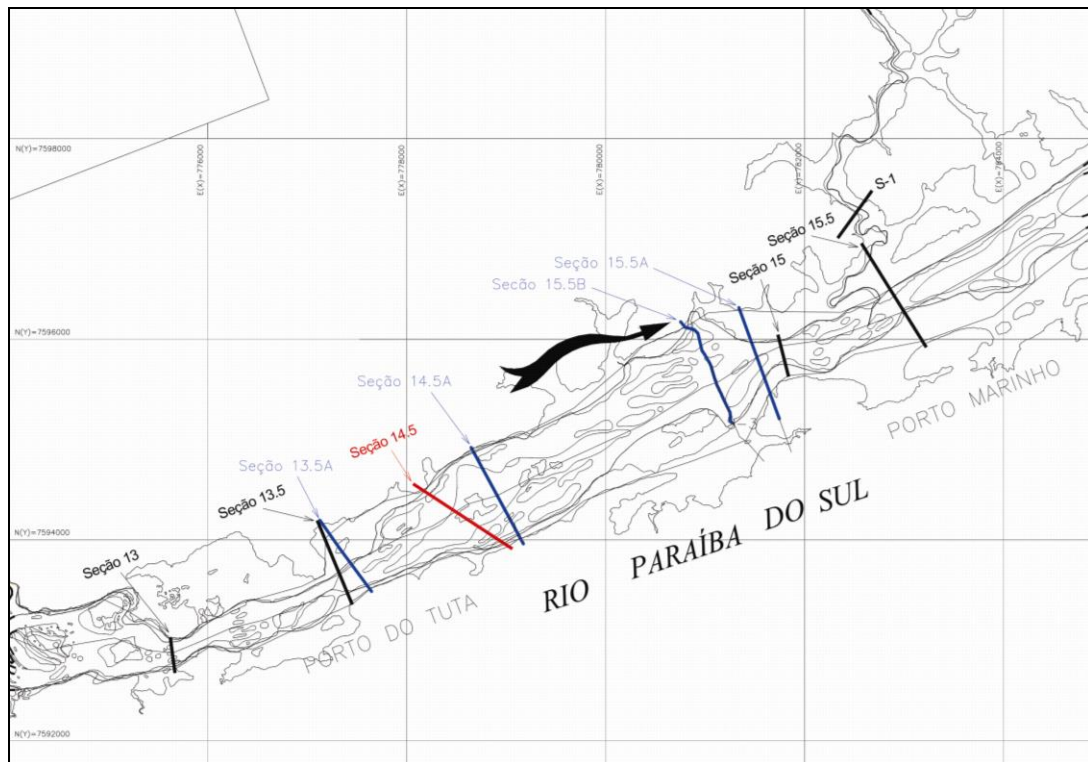


Figura 2.1 – Localização das seções topobatimétricas alteradas.

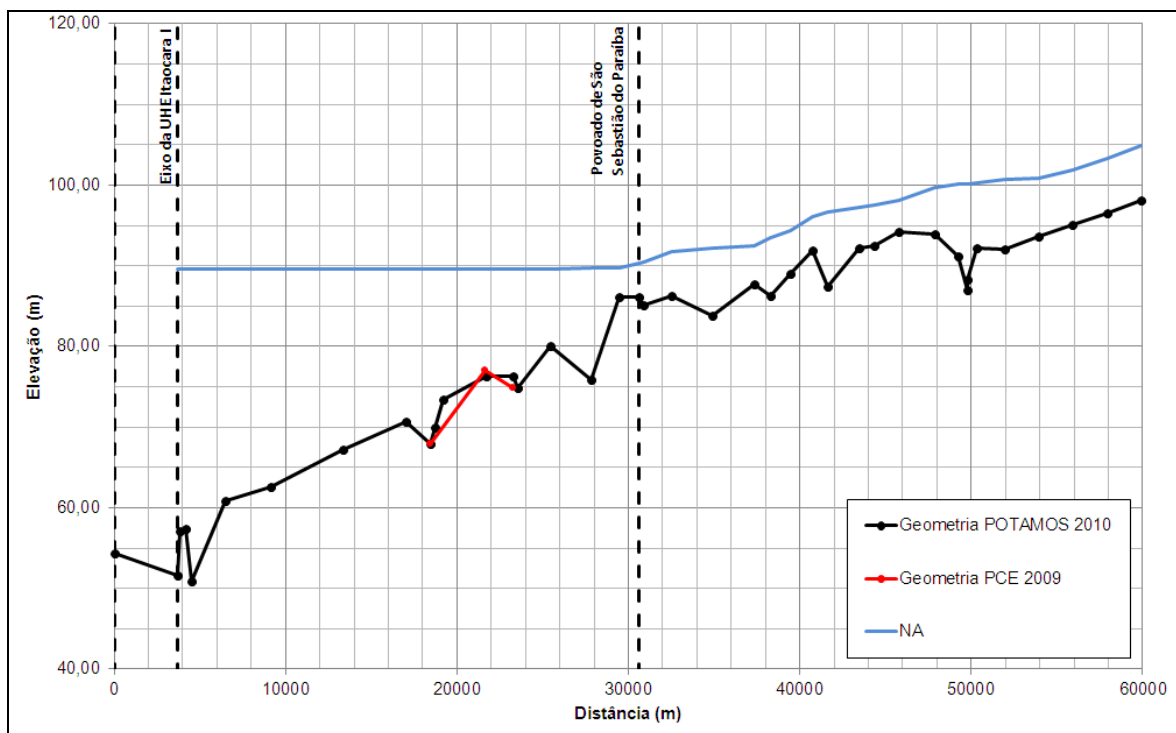


Figura 2.2 – Perfil longitudinal resultante das alterações de geometria.

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.

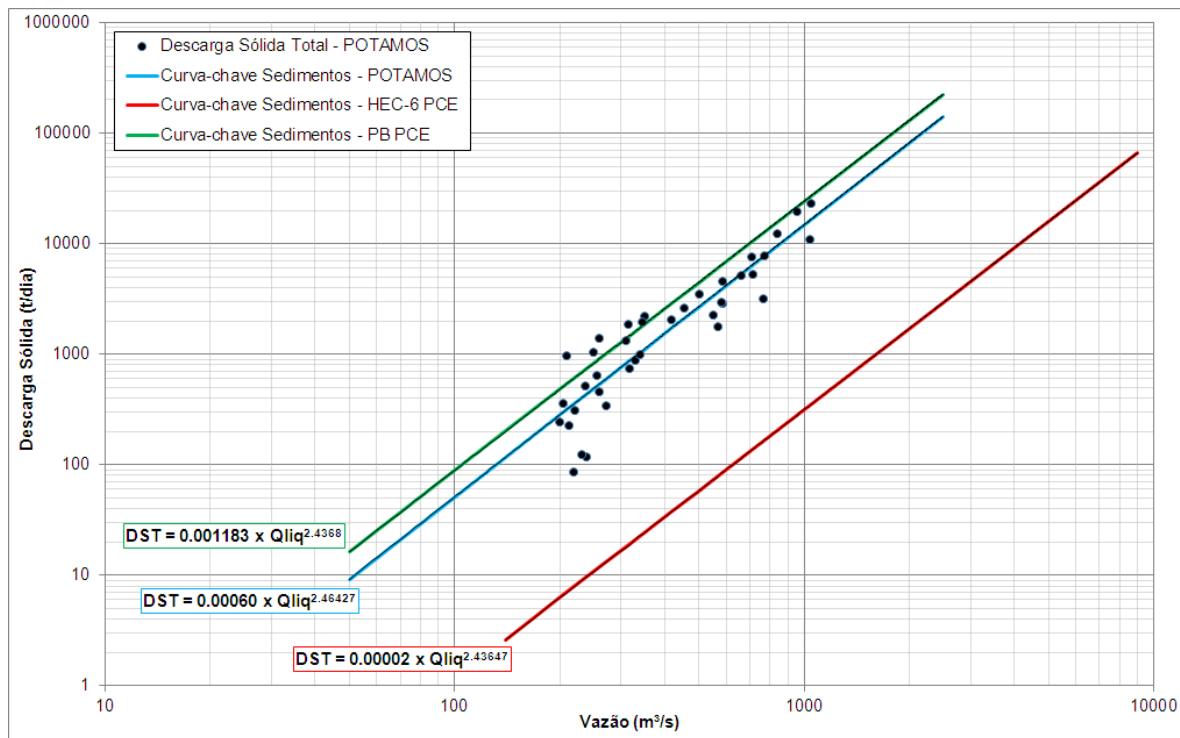


Figura 3.1 – Curvas-chave de sedimento analisadas.

(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.

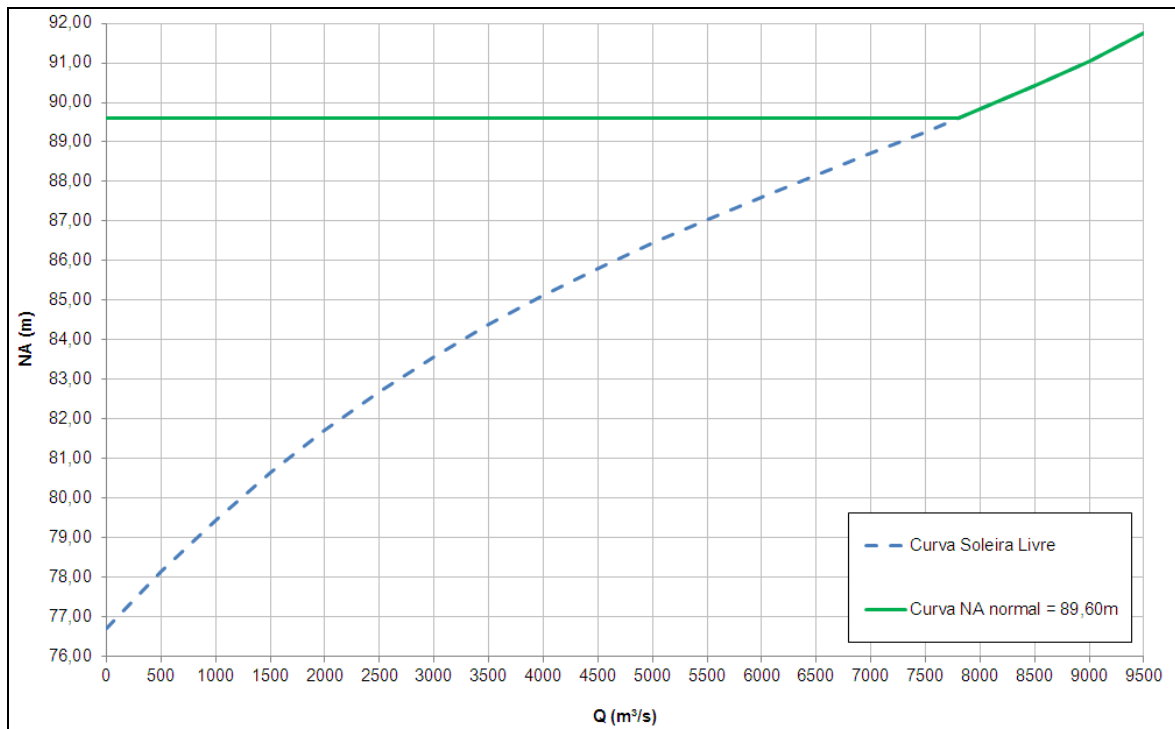


Figura 3.2 – Curva de descarga do vertedouro controlado por comportas.

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.

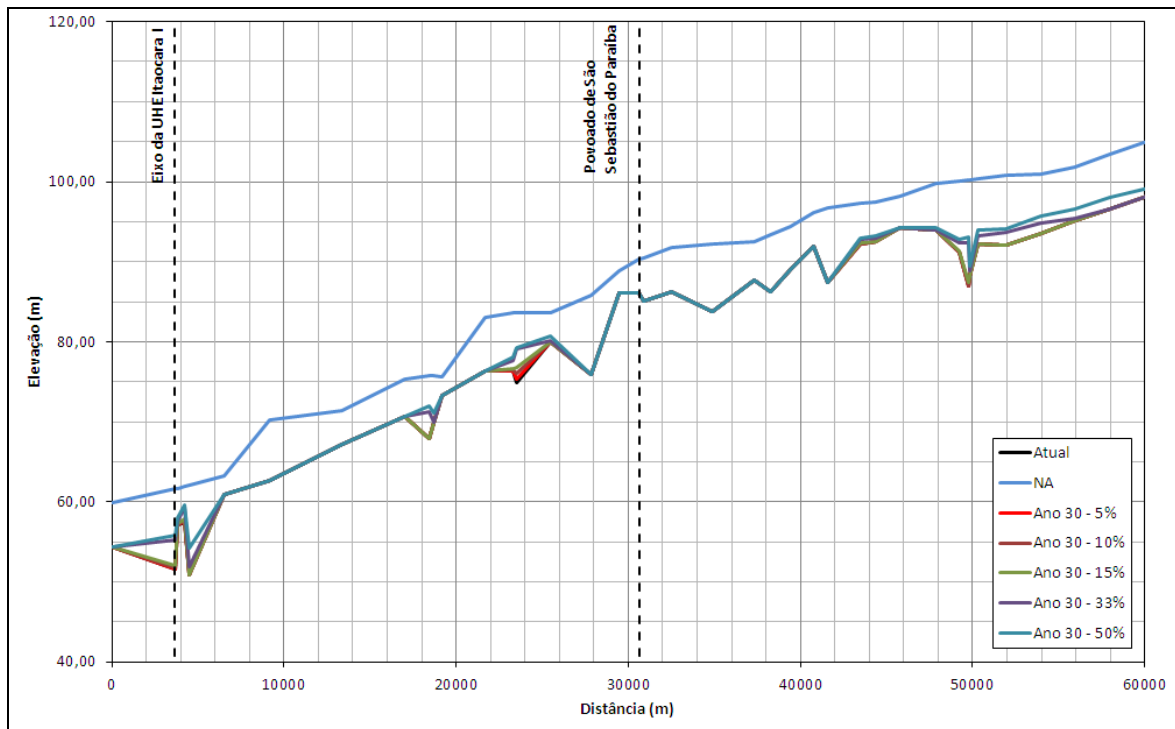


Figura 4.1 – Perfis de calibração do modelo HEC-6 para os cinco cenários simulados.

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.

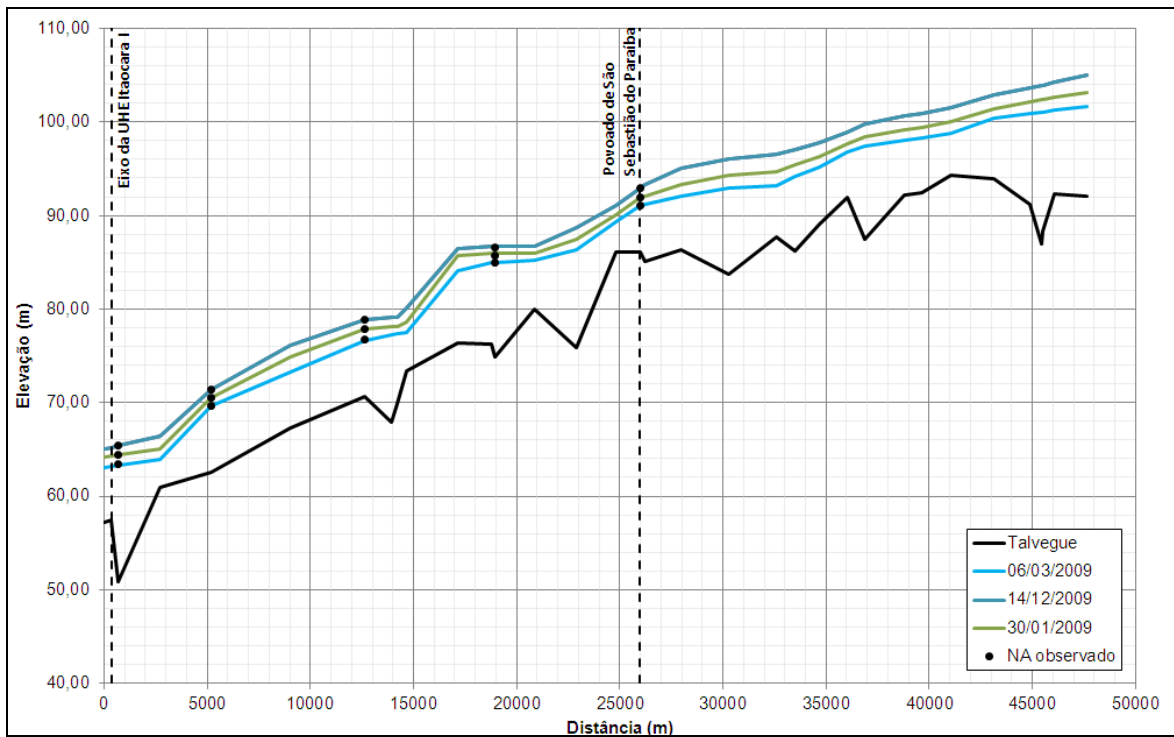


Figura 4.2 – Perfis de calibração do modelo hidráulico para o trecho do reservatório da UHE Itacara I.

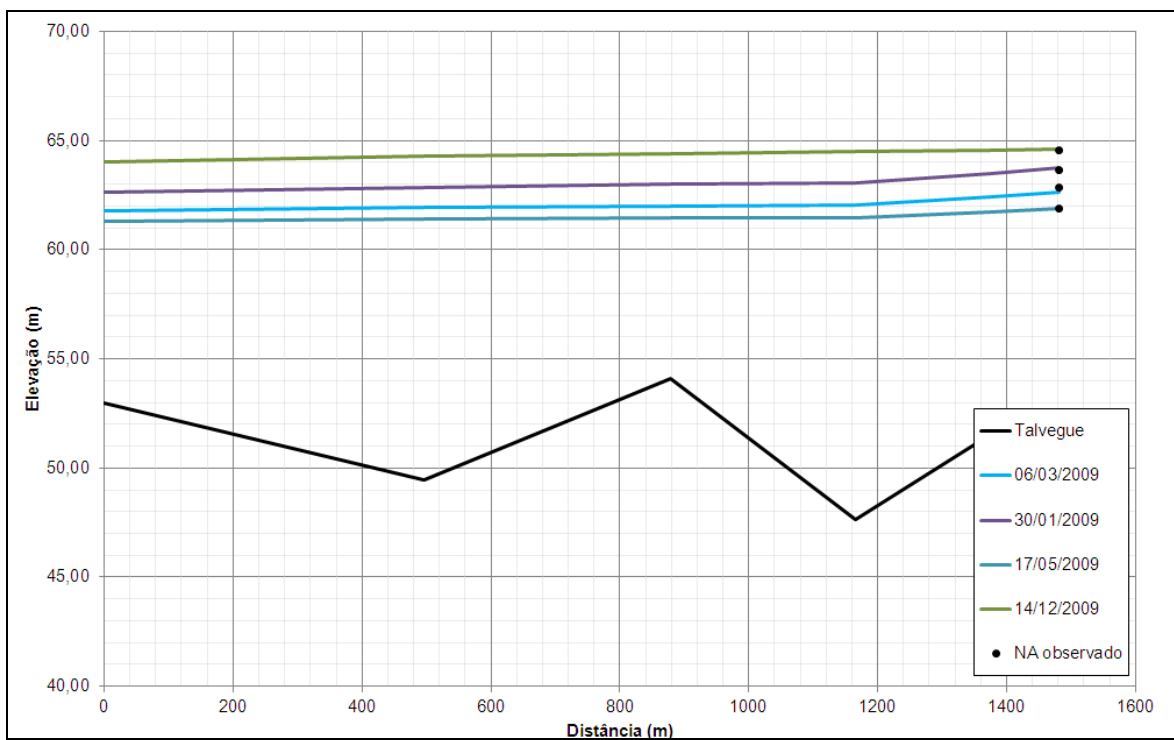


Figura 4.3 – Perfis de calibração do modelo hidráulico para o canal esquerdo da Ilha Serena.

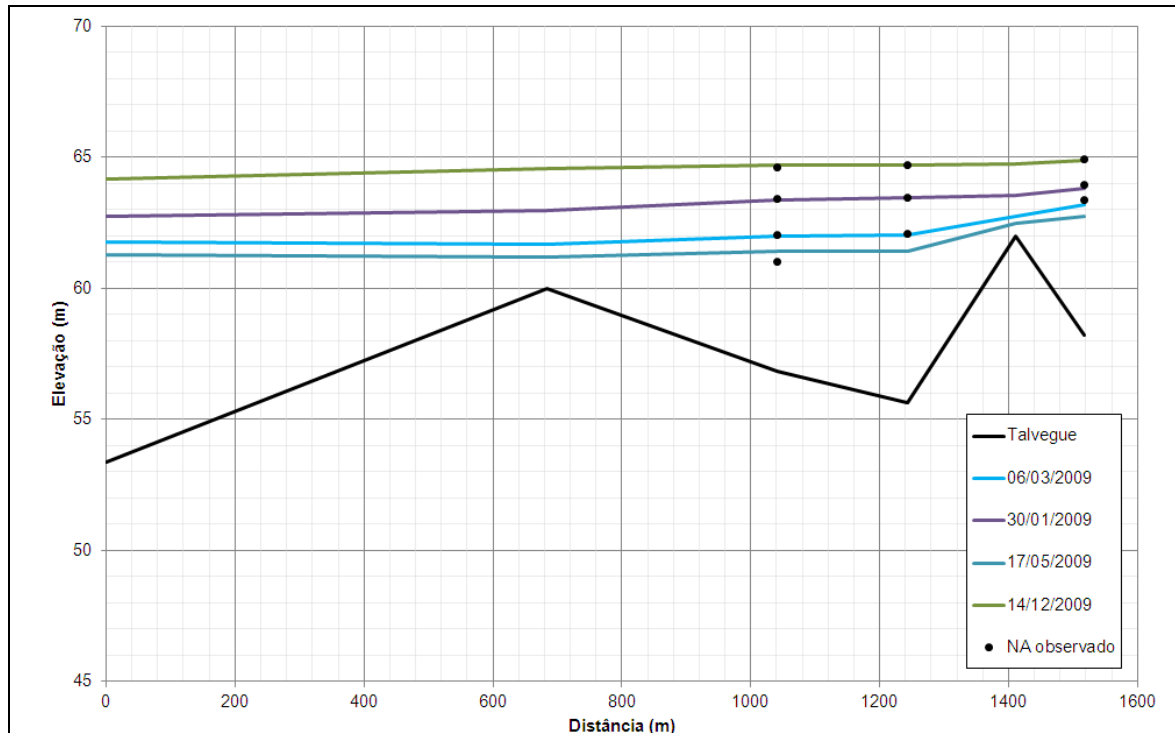


Figura 4.4 – Perfis de calibração do modelo hidráulico para o canal direito da Ilha Serena.

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).

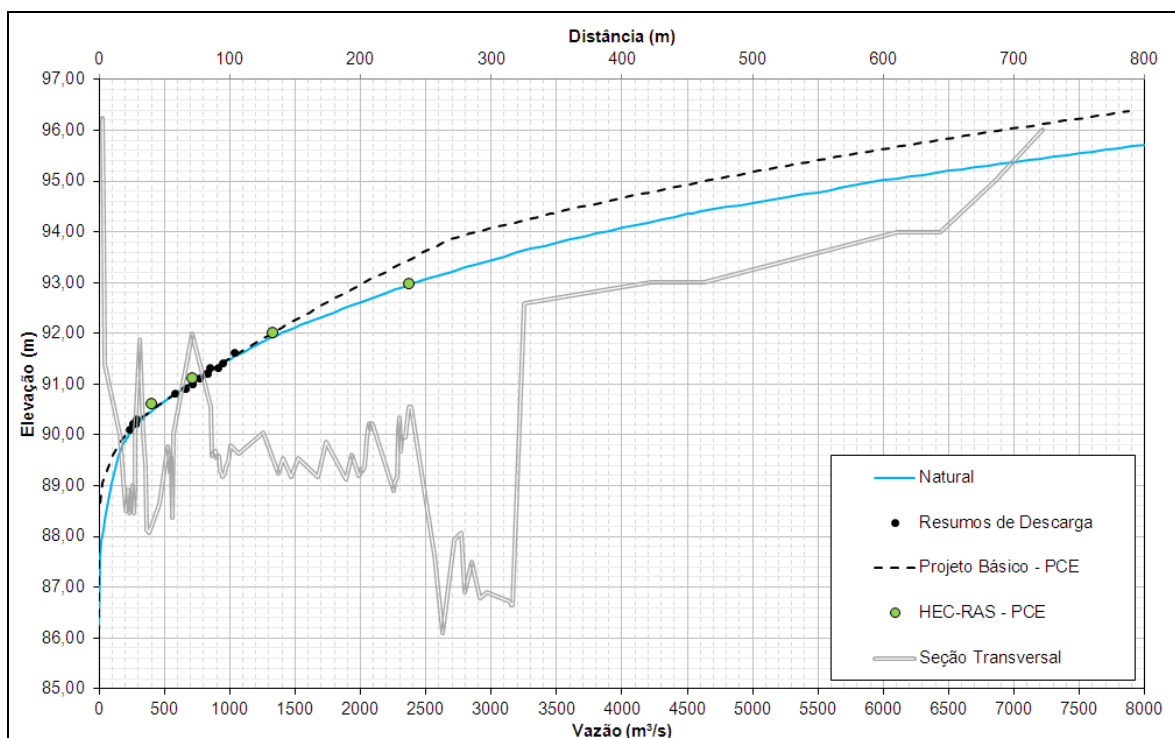


Figura 4.5 – Curva-chave da seção do povoado de São Sebastião do Paraíba.

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.

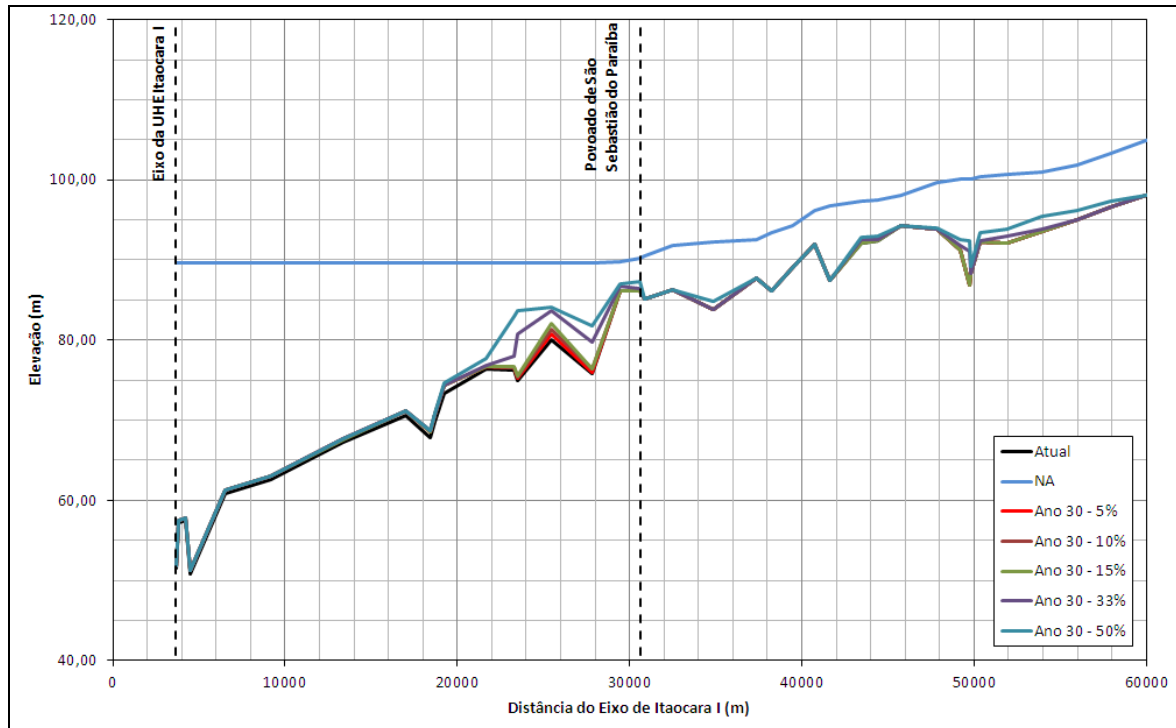


Figura 5.1 – Perfis de deposição para os diversos cenários simulados.

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.

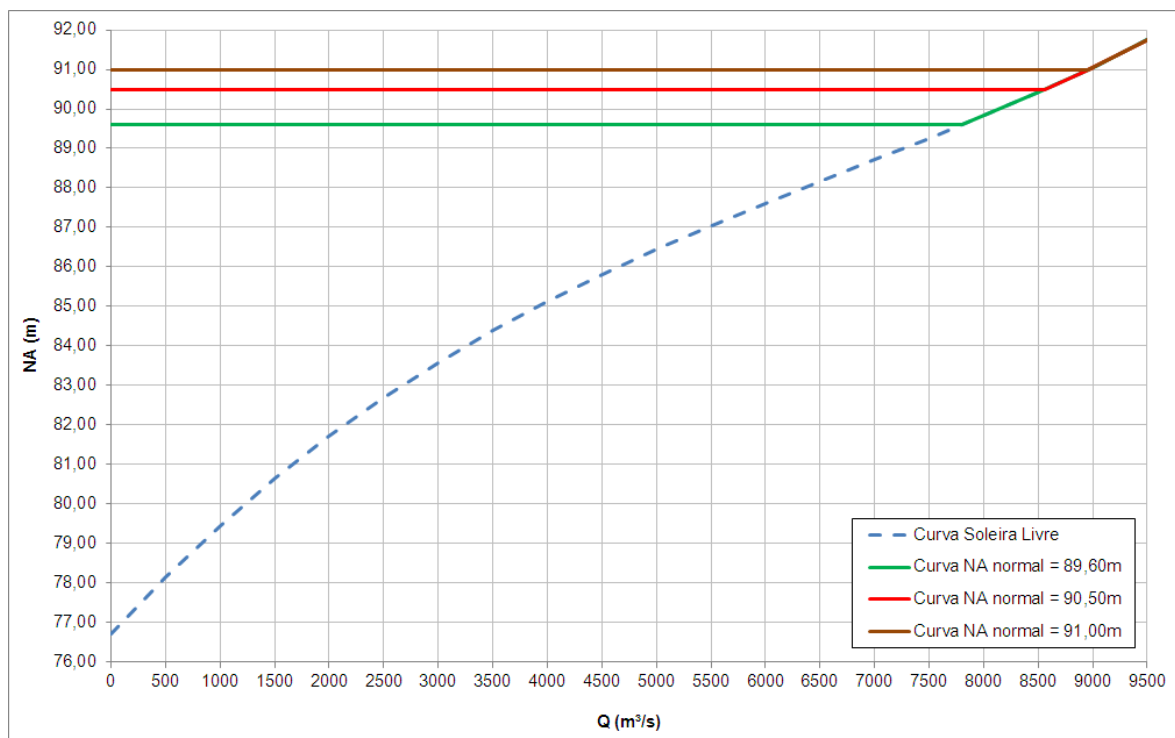


Figura 5.2 – Curvas de descarga utilizadas nas simulações de hidráulica fluvial.

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.

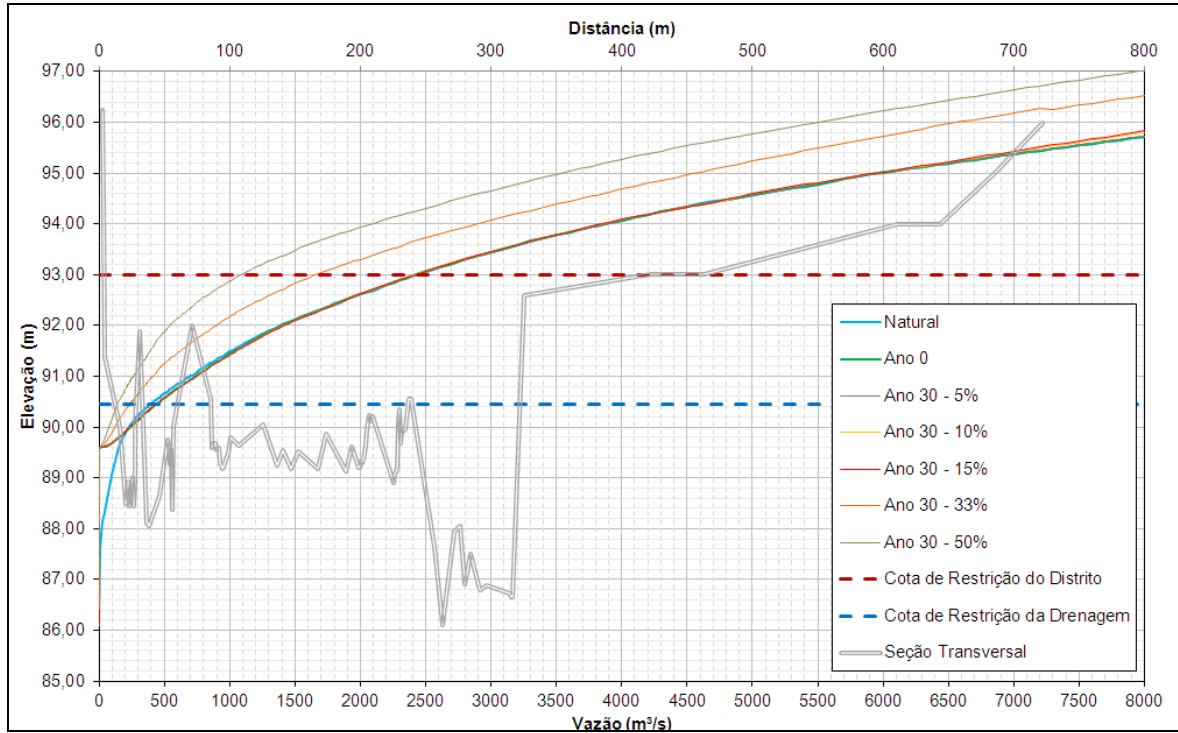


Figura 5.3 – Curva-chave para o cenário com NA máximo normal na cota 89,60 m.

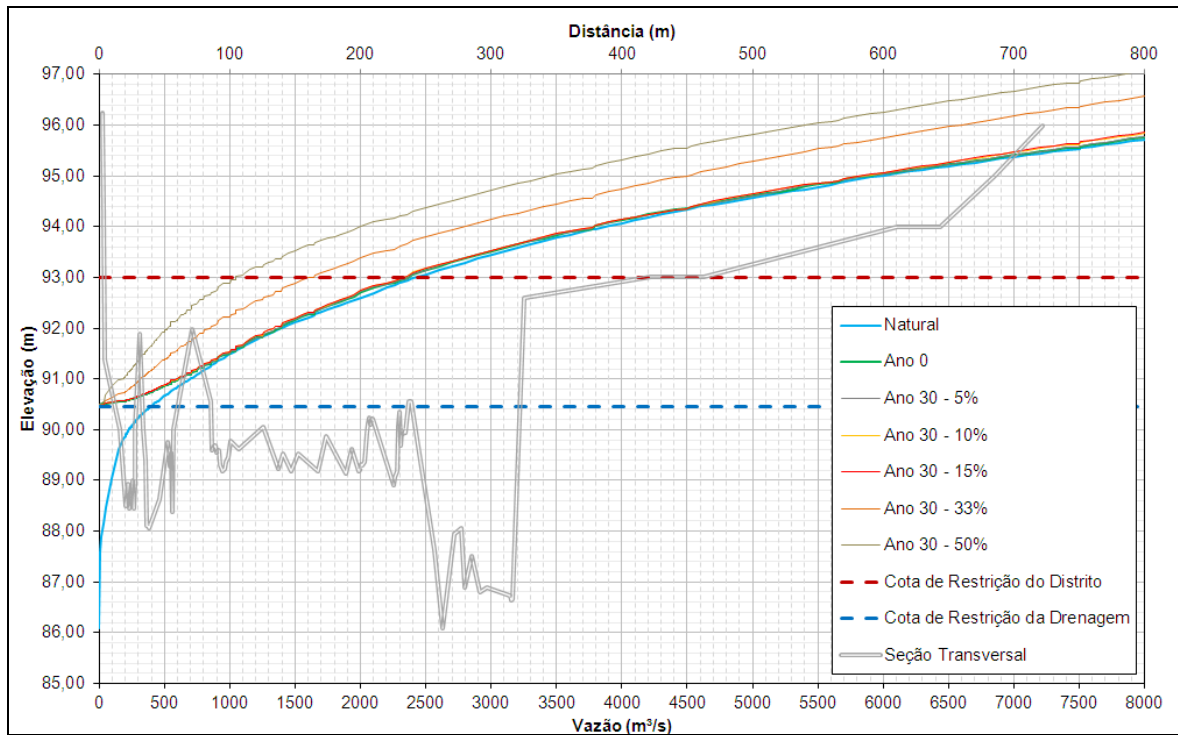


Figura 5.4 – Curva-chave para o cenário com NA máximo normal na cota 90,50 m.

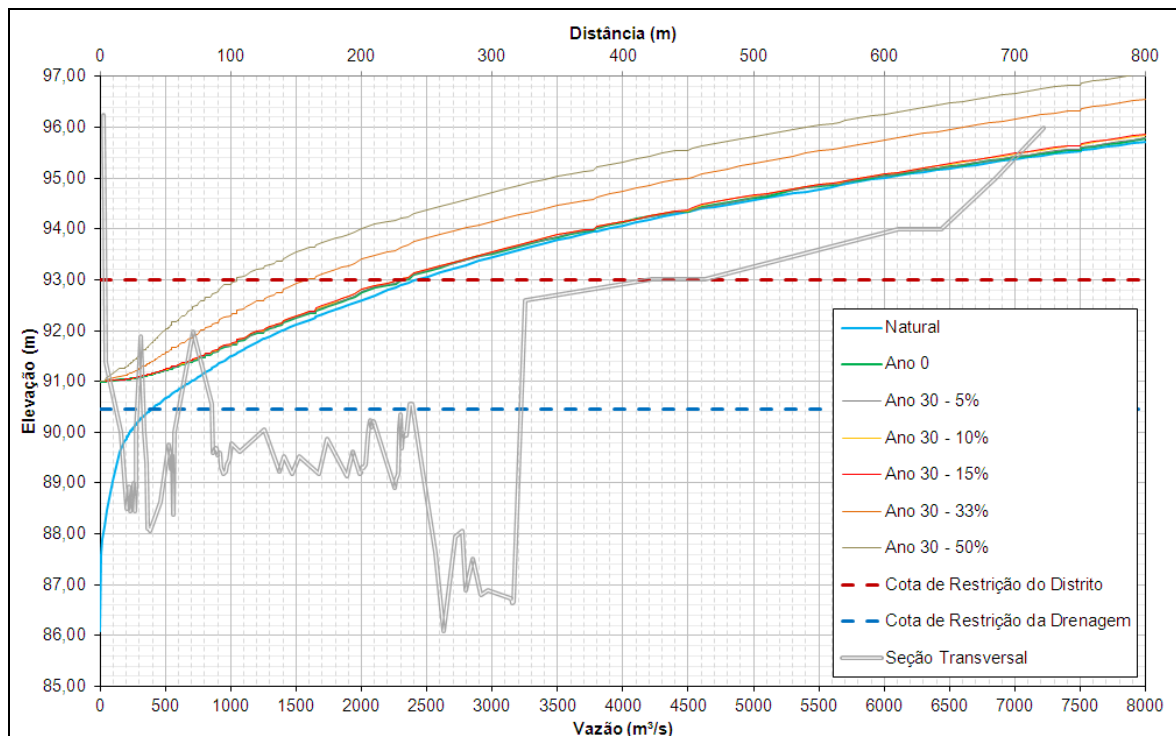


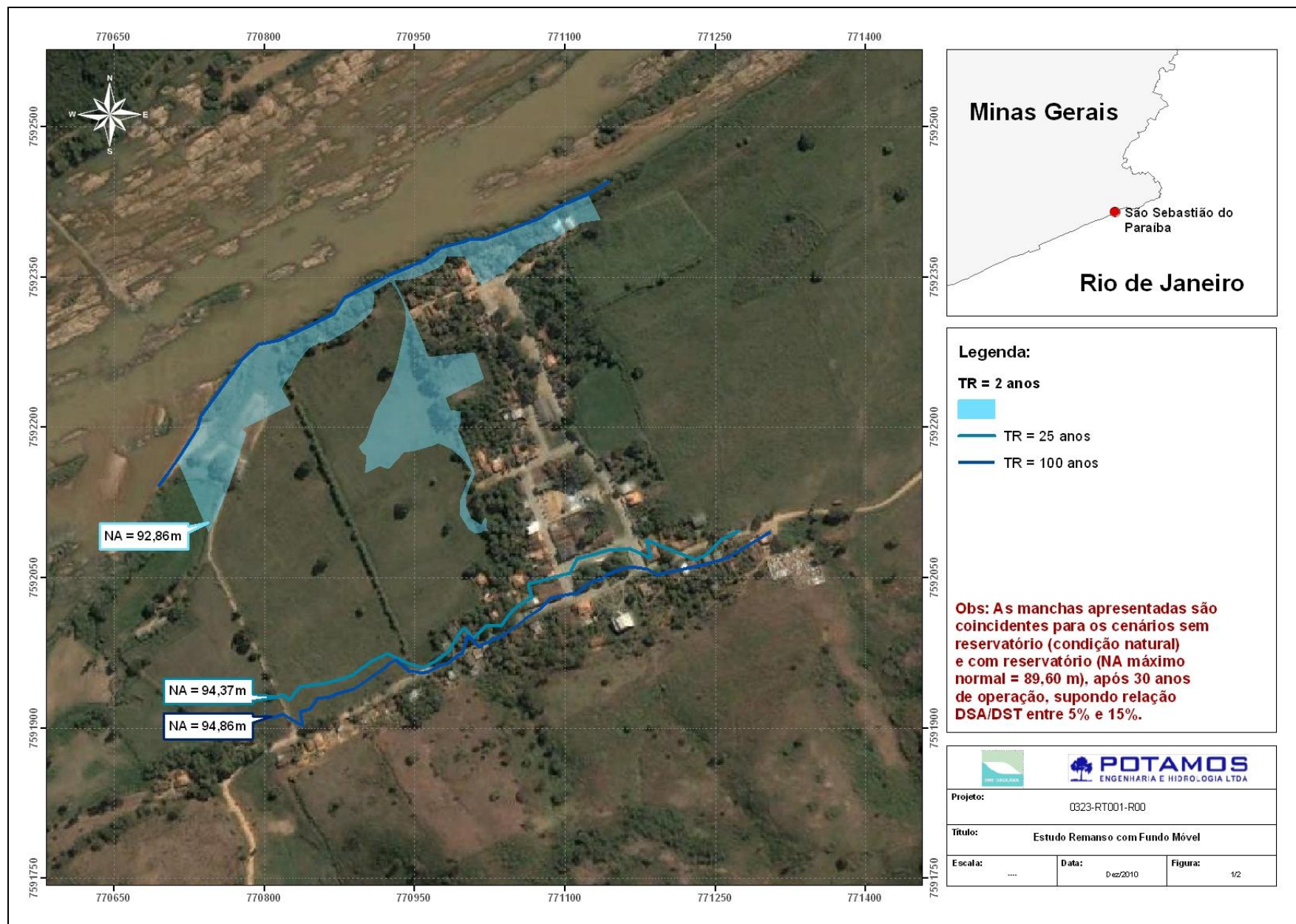
Figura 5.5 – Curva-chave para o cenário com NA máximo normal na cota 91,00 m.

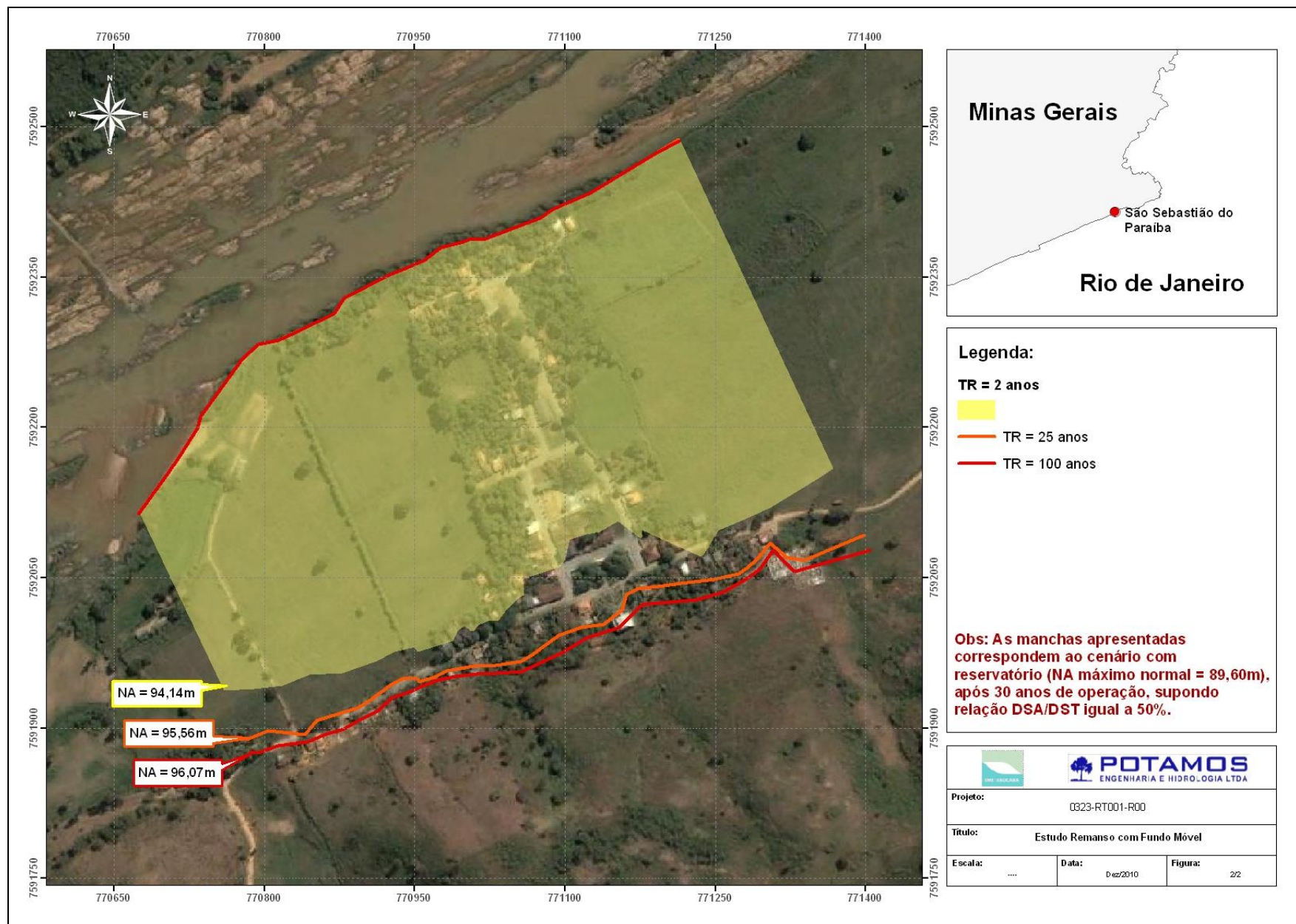
6. Conclusões e Recomendações

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 Itacara I.

Anexo 01 – Manchas de Inundação





5 - ESTUDOS BÁSICOS

ÍNDICE

| | | |
|------------|--|------------|
| 5. | ESTUDOS BÁSICOS..... | 3 |
| 5.1 | Estudos Hidrometeorológicos e Sedimentológicos..... | 3 |
| 5.1.1 | Caracterização Fisiográfica da Bacia..... | 3 |
| 5.1.2 | Aspectos Climáticos..... | 9 |
| 5.1.3 | Chuvas Intensas e Precipitação Máxima Provável..... | 18 |
| 5.1.4 | Série de Vazões..... | 22 |
| 5.1.5 | Vazões Máximas..... | 29 |
| 5.1.6 | Vazões Mínimas..... | 35 |
| 5.1.7 | Curvas-Chave Naturais..... | 36 |
| 5.1.8 | Curvas Cota x Área e Cota x Volume do Reservatório..... | 64 |
| 5.1.9 | Hidrossedimentologia..... | 65 |
| 5.1.10 | Remanso do Reservatório..... | 89 |
| 5.1.11 | Borda Livre..... | 123 |
| 5.1.12 | Amortecimento da Cheia de Projeto..... | 126 |
| 5.1.13 | Enchimento do Reservatório..... | 133 |
| 5.2 | Estudos Hidráulicos..... | 137 |
| 5.2.1 | Estudos Hidráulicos para o Desvio e Controle do Rio durante a Construção..... | 137 |
| 5.2.2 | Estudos de Dimensionamento Hidráulico do Vertedouro..... | 139 |
| 5.2.3 | Estudos Hidráulicos do Circuito de Geração..... | 142 |
| 5.3 | Estudos Geológicos e Geotécnicos..... | 145 |
| 5.3.1 | Geologia e Geomorfologia Regional..... | 145 |
| 5.3.2 | Aspectos Morfológicos e Geológico-Geotécnicos Locais..... | 154 |
| 5.3.3 | Condicionantes Geológico-Geotécnicas para Escavações e Fundações..... | 158 |
| 5.3.4 | Materiais Naturais de Construção..... | 162 |
| 5.4 | Estudos Tecnológicos de Concreto..... | 163 |
| 5.5 | Estudos Energéticos..... | 164 |
| 5.5.1 | Critérios Empregados..... | 164 |
| 5.5.2 | Simulações Energéticas..... | 172 |
| 5.6 | Estudos Socioambientais..... | 174 |
| 5.7 | Estudos de Integração da Usina ao Sistema de Transmissão Associado..... | 174 |
| 5.7.1 | Geral..... | 174 |
| 5.7.2 | Subestação Seccionadora ou Subestação de Manobra..... | 174 |

5. ESTUDOS BÁSICOS

5.1 Estudos Hidrometeorológicos e Sedimentológicos

5.1.1 Caracterização Fisiográfica da Bacia

A bacia do rio Paraíba do Sul localiza-se na região Sudeste do Brasil e está inserida na região hidrográfica do Atlântico Sudeste. Está compreendida entre os paralelos 20°20' e 23°40' e os meridianos 41°20'e 46°30', conforme mostrado no Desenho G27-DEB-0002. Totaliza uma área de drenagem de aproximadamente 55.500 km², situada nos estados de Rio de Janeiro (20.900 km²), Minas Gerais (20.700 km²) e São Paulo (13.900 km²), sendo que no eixo em estudo nesta etapa do Projeto Básico, a área da bacia é de 33.680 km² e o comprimento do rio Paraíba do Sul é de 958 km.

A bacia é limitada ao Norte pelas bacias dos rios Grande e Doce e pelas serras da Mantiqueira, Caparaó e Santo Eduardo. A Nordeste, o rio Itabapoana e seus afluentes compõem a rede potamográfica. Ao Sul, o divisor de águas é composto pela Serra dos Órgãos e pelos trechos paulista e fluminense da Serra do Mar. A Oeste, separada por meio de diversos ramos dos maciços da Serra do Mar e da Serra da Mantiqueira, predomina a bacia do rio Tietê.

O rio Paraíba do Sul nasce numa altitude de 1.800 m na Serra da Bocaina, com o nome de rio Paraitinga. Desenvolve-se na direção sudoeste, até a Serra do Mar, onde recebe o rio Paraíbauna, no município de Paraíbauna (SP), numa altitude aproximada de 640 m. Daí segue até a cidade de Guararema, onde forma uma curva de 180° e passa a desenvolver-se na direção nordeste, em sentido contrário ao inicial. Após percorrer um pequeno trecho do sudeste de Minas Gerais, constitui-se em divisa natural com o estado do Rio de Janeiro até a confluência com o rio Pomba, onde seu curso desvia-se para leste, desaguardo no Oceano Atlântico próximo à cidade de São João da Barra. Seu percurso total é de aproximadamente 1.100 km, no sentido geral de oeste para leste.

A rede potamográfica apresenta drenagem dendrítica, também denominada arborescente, conforme ilustrado pelo Desenho G27-DEB-0003. Essa característica se deve à semelhança da hidrografia da bacia com a configuração de uma árvore, em que o rio Paraíba do Sul corresponde ao tronco e os tributários aos seus ramos e as correntes de menor categoria aos raminhos e folhas.

Seus principais afluentes, de montante para jusante, são os rios: Grande, Paquequer, Piabanha e Pirai pela margem direita; Muriaé, Pomba, Paraíbauna Mineiro, Buquira, Jaguari e Paraíbauna pela margem esquerda. Os principais afluentes do rio Paraitinga são os rios do Gramado e Turvo pela margem direita e os rios do Chapéu e Jacuí pela margem esquerda.

O rio Pirapetinga constitui-se em afluente importante no contexto dos estudos pois, sua bacia cuja área de drenagem é de 633 km², foi calculada utilizando-se as cartas planialtimétricas na escala de 1:50.000 do IBGE.

Entre as principais vias de acesso à região, destacam-se as rodovias federais BRs-040, 066, 116, 267, 393 e as rodovias estaduais RJs-116, 186, 492, MGs-285, 353, 446 e SP-066. Tais rodovias permitem o acesso à cidade de Itaocara e às cidades próximas à região, tais como: Santo Antônio de Pádua, Itaperuna, Além Paraíba, Cordeiro, Leopoldina, Santa Maria Madalena, Nova Friburgo, Petrópolis, Teresópolis, Juiz de Fora, Três Rios, Paraíba do Sul, Barra do Piraí, Volta Redonda, Barra Mansa, São José dos Campos, Guararema, entre outras, conforme pode ser observado no desenho G10-DEB-0001.

Em relação ao clima, relevo e solo, a região em estudo apresenta cobertura em meio bastante diversificado com características variadas.

5.1.1.1 Vegetação

A bacia do rio Paraíba do Sul está compreendida no bioma Mata Atlântica, cuja área original era de aproximadamente 1,3 milhão de km², correspondente a 15% do território brasileiro, estendendo-se por toda a costa brasileira, do Rio Grande do Norte ao Rio Grande do Sul, numa faixa de cerca de 300 km, chegando à Argentina e ao Paraguai. Hoje o remanescente é de cerca de 7% (91.000 km²) devido às ações antrópicas. Segundo dados disponíveis (GEROE, 1.995), atualmente, apenas 11% da área da bacia é ocupada pelos remanescentes da floresta, a qual se pode encontrar nas regiões mais elevadas e de relevo mais acidentado.

As florestas atlânticas apresentam árvores com folhas largas e perenes. Há grande diversidade de epífitas, plantas que vivem sobre outras plantas, como bromélias e orquídeas. Caracteriza-se também pela vegetação exuberante, com acentuado higrofitismo, plantas que vivem com alguma parte vegetativa permanentemente imersa em água como briófitas e cipós.

O maior percentual de florestas está no trecho paulista porém, o trecho fluminense é o que apresenta a maior área de florestas remanescentes da Mata Atlântica e o trecho mineiro é o que se encontra mais desmatado, apresentando a maior extensão e o maior percentual de áreas de campo e pastagem.

Há subdivisões da mata devido às variações de latitude e altitudes.

Existem diversas classes de cobertura vegetal na região, sendo em sua maior representação Campos/Pastagens (aproximadamente 70%), Vegetação Secundária, Floresta Ombrófila e Floresta Estacional.

Em alguns pontos localizados nas margens do rio e em suas ilhas, há vegetação do tipo ciliar, distribuída de forma irregular.

O processo de ocupação e uso do solo na bacia do rio Paraíba do Sul levou à transformação de uma paisagem predominantemente florestal para uma paisagem não-florestal.

O vale do Paraíba do Sul foi originalmente recoberto por florestas do tipo subcaducifólia tropical, apresentando variada cobertura vegetal. Após a colonização e os ciclos de café e cana-de-açúcar, a agricultura se intensificou e atualmente predominam as pastagens devido ao empobrecimento do solo.

5.1.1.2 Geomorfologia

A topografia da região, acidentada e com grandes desníveis, é composta predominantemente pelas Serras do Mar e da Mantiqueira e pelo Vale do Paraíba.

A Serra do Mar apresenta-se paralela à Serra da Mantiqueira, como um paredão abrupto e forma grande parte do limite sul da bacia, recebendo outras denominações como Bocaina, Araras, Órgãos, Rio Preto e Macaé, entre outras. Suas altitudes variam entre 500 e 1000 m sobre o planalto. Possui picos acima de 1.500 m e monumentos geológicos importantes tais como o Dedo de Deus (1.692 m), a Pedra da Cruz (2.130 m), a Pedra do Sino (2.263 m), entre outros.

A Serra da Mantiqueira compreende um maciço rochoso que possui grande área de terras altas, entre 1.000 e quase 3.000 m de altitude, estabelecendo as divisas dos estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro. Seu ponto culminante é a Pedra da Mina (2.798m) entre Minas e São Paulo. É rebaixada na altura da Zona da Mata (MG), dando passagem às bacias dos rios Pomba e Muriaé e, no limite entre os estados de Minas Gerais e Espírito Santo, ergue-se com o nome de Serra do Caparaó. Existem diversas Unidades de Conservação, como a Área de Proteção Ambiental Serra da Mantiqueira, dividida entre os três estados que se situa aproximadamente a 90 km de São Paulo, 170 km de Belo Horizonte e 198 km do Rio de Janeiro.

O vale do rio Paraíba do Sul localiza-se entre a Serra do Mar e da Mantiqueira com altitudes entre 100 e 500 m.

O Empreendimento UHE Itaocara I, em estudo, situa-se na região do médio vale do rio Paraíba, onde o relevo é caracterizado por serras e morros alongados, de forma geral vertentes de forte declividade, ocorrendo ocasionalmente encostas rochosas.

Essa região apresenta forte tendência à erosão, ostentando nas vertentes mais íngremes paredões rochosos, marcas de deslizamento, formação de ravinas e voçorocas, consequência principalmente da ação antrópica na devastação da cobertura vegetal e da suscetibilidade à erosão dos solos residuais existentes.

5.1.1.3 Solos

Na região em estudo foram identificadas as seguintes classes de solos: Latossolo Vermelho Amarelo álico e distrófico (LV1 a LV5), Podzólico Vermelho Amarelo álico e distrófico Tb (PV1 e PV2), Cambissolo álico e distrófico Tb (C1 a C6) e Afloramentos Rochosos.

Os Latossolos são provenientes de materiais de alteração de rochas ácidas (granitos, gnaiesses e rochas com distintos graus de metamorfização) e de depósitos coluvionares, ocupando as encostas e meias encostas dos contrafortes da Serra do Mar. São solos de reduzida fertilidade natural. Apresentam, em geral, textura argilosa e média/argilosa e são relativamente profundos e permeáveis.

Os Cambissolos têm menor profundidade (de 0,5 a 1,5 m), ainda em processo de desenvolvimento, com domínio de texturas média e argilosa, podendo ou não apresentar pedras em sua superfície. Sua fertilidade natural é muito variável, de baixa a alta. O relevo é forte ondulado ou montanhoso, o que favorece a sua erosão uma vez removida a cobertura vegetal de floresta.

Os solos Podzólicos possuem teor de argila na superfície muito baixo mas, em subsuperfície, esse teor é médio/alto. Sendo assim, a velocidade de infiltração da água é muito rápida na superfície e lenta em subsuperfície, causando erosão severa. Possuem baixa reserva de nutrientes, acidez e problemas de erosão. Bem manejados, são solos relativamente férteis e que são indicados às atividades agropastoris.

O afloramento rochoso é caracterizado pela ausência ou pouca profundidade do solo, criando condições de seca nos períodos entre as chuvas, influenciando a composição florística, a forma de organização e as características adaptativas dos vegetais encontrados.

Na região em estudo, atualmente, grande parte das terras encontra-se degradada e improdutiva. A pecuária e a agricultura vêm sofrendo grande retração na maioria dos municípios da bacia, muitas áreas de pastagem estão sem uso efetivo e o processo de degradação ambiental por erosão é provavelmente a principal causa dessa situação.

A argila e areia natural, ainda hoje, são extraídos para a indústria da construção civil e olarias da região.

5.1.1.4 Parâmetros Fisiográficos

São relacionadas a seguir, as principais características físicas correspondentes à bacia contribuinte para o local do aproveitamento da UHE, calculadas principalmente com base no Desenho G-27-DEB-0002.

a) Forma da Bacia

Para caracterizar numericamente esse parâmetro, empregam-se, regularmente, o fator de forma e o coeficiente de compacidade que são indicadores de tendência para enchentes locais.

O fator de forma que é a relação entre a área da bacia (33.680 km²) no aproveitamento e o quadrado de seu comprimento axial (958 km), que corresponde ao comprimento do rio Paraíba do Sul entre o sítio do aproveitamento e a nascente, equivale a 0,04.

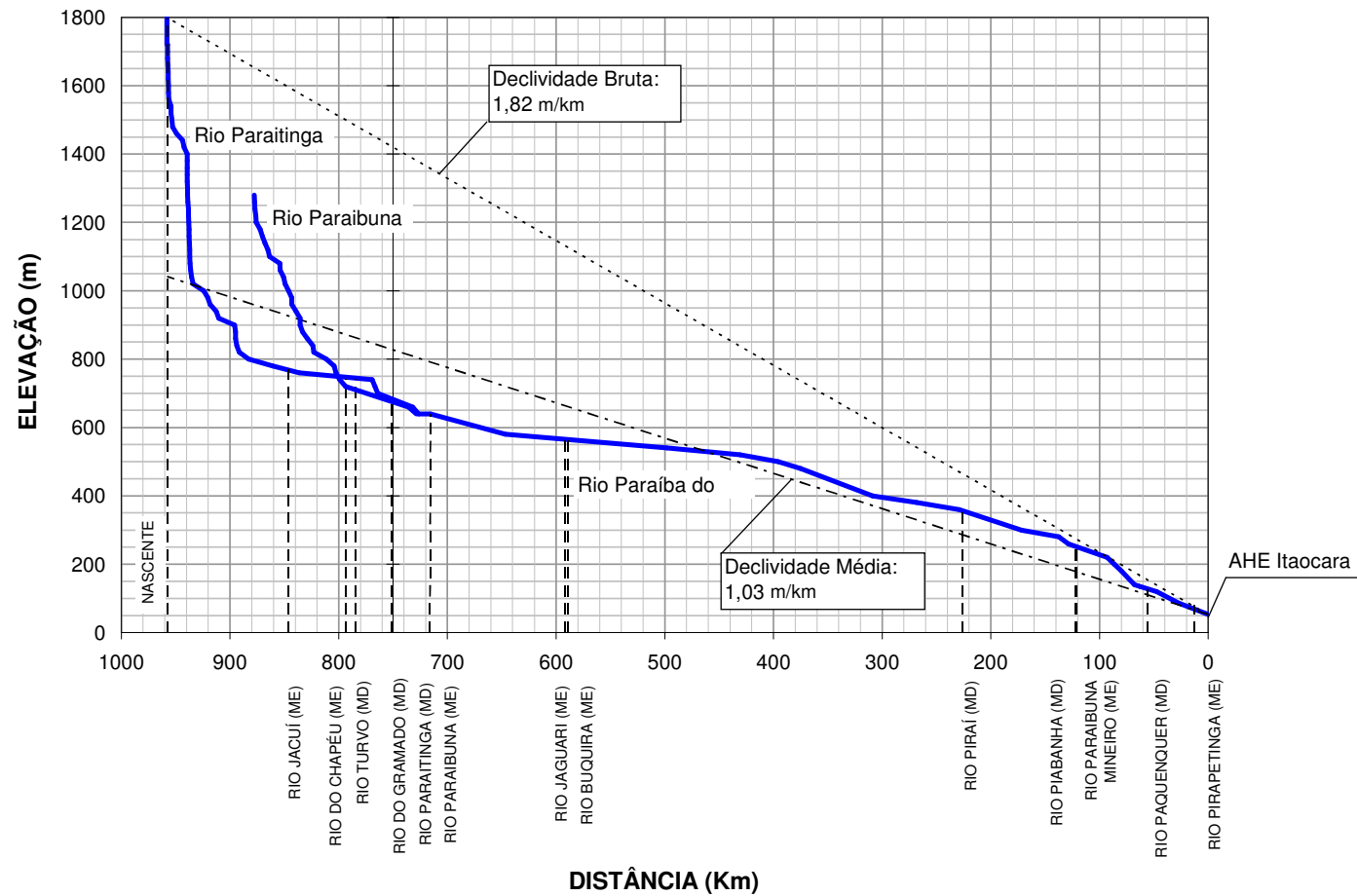
Esse índice sinaliza uma reduzida propensão às enchentes já que quanto mais o valor do índice se aproxima de zero, mais longilínea é a bacia e, assim, menor a possibilidade de chuvas abrangerem toda a área de drenagem simultaneamente. Além disso, a bacia se distancia da forma circular perfeita, na qual as embocaduras de seus tributários se concentram numa área menor.

O coeficiente de compacidade, relação entre o perímetro da bacia (1.422 km) e a circunferência de um círculo com área igual à da bacia, equivale a 2,17, valor também indicativo de cheias pouco contundentes, já que a tendência para enchentes é tanto mais acentuada quanto mais próximo da unidade é o valor desse coeficiente.

b) Declividade do Curso do Rio

Para esse cálculo, além do desenho supracitado, foram utilizadas as cartas planialtimétricas editadas pelo IBGE as quais permitiram também o traçado do perfil longitudinal do rio Paraíba do Sul representado na Figura 5.1 seguinte.

Figura 5.1 - Perfil Longitudinal do Rio Paraíba do Sul em Itacara – UHE Itacara I



A declividade bruta calculada em 1,82 m/km, equivale à razão entre a diferença de cotas da nascente (1.800 m) e da seção de fechamento (53 m) e o comprimento do rio (958 km).

A declividade média foi estimada de forma a igualar a área abaixo da reta que a representa graficamente em perfil com a área abaixo do perfil longitudinal do rio. O valor obtido que melhor caracteriza a velocidade do escoamento fluvial foi de 1,03 m/km.

c) Densidade de Drenagem

A densidade de drenagem que indica o grau de desenvolvimento da rede hidrográfica é definida pela relação entre a extensão total dos cursos d'água (25.505 km) e a área da bacia (33.680 km²). O valor encontrado para a bacia em estudo, equivalente a 0,76 km/km², indica uma drenagem pobre.

d) Escoamento Superficial

A extensão média do escoamento superficial, calculada em 330 m, é um índice definido como a média das distâncias percorridas pelo escoamento superficial, caso este se desse em linha reta, até atingindo um curso d'água qualquer.

Sua determinação foi realizada considerando-se uma bacia retangular de área equivalente, drenada por um curso d'água coincidente com o eixo longitudinal do respectivo retângulo, de comprimento igual à extensão total da rede fluvial.

e) Largura Média

A largura média, estimada em 35 km, corresponde à razão entre a área da bacia (33.680 km²) e o seu comprimento axial (958 km).

f) Tempo de Concentração

O tempo de concentração (t_c em horas) foi calculado com base na fórmula do "Soil Conservation/USA" abaixo transcrita.

$$T_c = 0,95 (L^3 / H)^{0,385}$$

onde:

H = Diferença entre cotas: (1.747 m);

L = Comprimento do curso d'água principal: (958 km).

Aplicando-se esses valores na fórmula em questão, obtém-se um tempo de concentração de 149 horas.

5.1.2 Aspectos Climáticos

5.1.2.1 Características Climáticas Regionais

Na bacia do rio Paraíba do Sul existe uma grande variação climática devido às diferenças significativas de altitude e em função de sua posição paralela e próxima à costa, provocando alterações na distribuição temporal e espacial da chuva e da temperatura.

A classificação de Köppen enquadra a bacia em três tipos de clima, Cwa, Cwb e Aw, descritos a seguir:

- O Cwa possui clima mesotérmico, com verões quentes e invernos secos abrangendo regiões com altitudes entre 300 e 700 m. A temperatura média anual varia de 21,8°C a 19,5°C.
- O Cwb caracteriza-se também por clima mesotérmico, porém possui os verões brandos e chuvosos, abrangendo a região das serras. A temperatura média anual variando de 19,8°C a 17,4°C.
- O Aw é caracterizado por clima tropical quente e úmido com estação seca nos meses de outono e inverno. Cerca de 80% a 90% das chuvas acontecem no período de outubro a março. A temperatura média varia de 24,7°C a 21,4°C.

A bacia é influenciada por perturbações extratropicais e sistemas tropicais. As perturbações extratropicais da região são representadas pelas incursões de massas de ar frio, provenientes do sul do continente, a partir de um deslocamento SW/NE. As perturbações tropicais são representadas pelos sistemas convectivos provenientes dos contrastes térmicos sobre o continente. No momento em que as frentes frias associam-se à convecção pré-existente na área, sob a influência de um escoamento NW, ocorrem chuvas intensas no local e aumento do índice pluviométrico. Quando nesses sistemas existe alguma condição de bloqueio, permanecem alguns dias estacionários.

O fluxo de vapor que penetra nesta região através da circulação atmosférica, em situações de chuvas intensas, é oriundo predominantemente de sudoeste, associado às penetrações de massa de ar frio do sul e do noroeste do continente, este, com origem na região Amazônica.

Em determinadas condições atmosféricas configura-se a formação de uma estreita zona de convergência que, em determinados momentos, assemelha-se a uma frente fria de menores proporções. Esta estrutura chama-se linha de instabilidade e é responsável pela formação de nebulosidade cumuliforme, acompanhada de chuvas e trovoadas, em geral de curta duração, no máximo duas horas.

A convecção local apresenta-se também como um mecanismo de formação de nuvens do tipo cumulus que pode provocar chuvas fortes localizadas, geralmente em áreas de 10 a 20 km² e de curta duração, entre 30 minutos e 01(uma) hora.

A posição geográfica e a topografia possibilitam um reforço na ascensão adiabática, em associação com a circulação geral e convecção local.

Devido a um aquecimento diferencial de superfície, a convecção provoca uma flutuabilidade do ar quente que tem menor densidade que o ar à sua volta, subindo e se resfriando, gerando condições para a condensação e formação de nuvens. Essa condição de instabilidade, em geral, ocorre em condições tropicais e pode estar associada às condições pré-frontais ou ocorrer devido ao aquecimento diferencial diurno, em regiões com características fisiográficas diversas, como é o caso do vale do Paraíba do Sul.

Os sistemas frontais que, em geral atingem a região, são citados a seguir:

- Sistemas formados no Pacífico Sul que se deslocam no sentido SW-NE, passando pela Cordilheira dos Andes e pela Argentina até atingir o sudoeste do Brasil;
- Sistemas que se desenvolvem no sul e sudoeste do Brasil, associados a vértices ciclônicos ou cavados em altos níveis, chegando pela costa oeste da América do Sul, vindos do Pacífico;
- Sistemas que se organizam no sul e sudoeste do Brasil com intensa convecção, associada à instabilidade causada pelo jato subtropical;
- Sistemas resultantes de ciclogênese e frontagênese, que se organizam no sul do Brasil e norte da Argentina e Paraguai.

A topografia exerce uma grande influência nos padrões climáticos da região, principalmente no que se refere à precipitação e temperatura. As serras do Mar e da Mantiqueira orientam-se quase transversalmente ao escoamento médio da baixa troposfera. Esta situação, junto às discontinuidades das perturbações extratropicais, provoca um aumento considerável do regime pluviométrico em função da altitude. Nos dois rebaixamentos da serra do Mar, observam-se penetrações maiores de zonas de elevada pluviosidade.

A cada 100 metros de elevação, a temperatura decai aproximadamente de 0,6°C a 1,0°C, situação que depende das posições relativas entre o acidente geográfico e a direção predominante do escoamento do ar na baixa troposfera. Nesse caso, o ar em geral, é mais úmido e frio a barlavento e mais seco e quente a sotavento, considerando sempre o mesmo nível topográfico.

5.1.2.2 Parâmetros Climáticos Locais

As principais características climáticas da bacia do rio Paraíba do Sul são ilustradas pelo Desenho G27-DEB-0005.

Esses parâmetros, referentes ao período de 1.961 a 1.990, foram extraídos das “Normais Climatológicas do Brasil/Instituto Nacional de Meteorologia” que constitui a última publicação realizada desses dados.

O estudo em questão contempla: temperaturas características do ar (mínima, média e máxima), umidades relativas, insolação, evaporação e pressão atmosférica.

A estação Itaperuna que dista aproximadamente 56 km do sítio do aproveitamento UHE Itaocara I, foi considerada como a que produz os dados mais representativos das condições climáticas locais.

Para a caracterização do regime pluvial, contudo, foram utilizados os dados disponibilizados no Hidroweb para o posto pluviométrico Santo Antônio de Pádua, localizado no município de mesmo nome, a uma altitude de 70 m. A escolha se justifica por ser essa altitude semelhante à da área do projeto que se situa entre as cotas 53 m e 90 m, e em virtude da maior proximidade, já que está a aproximadamente 17 km do local do Barramento.

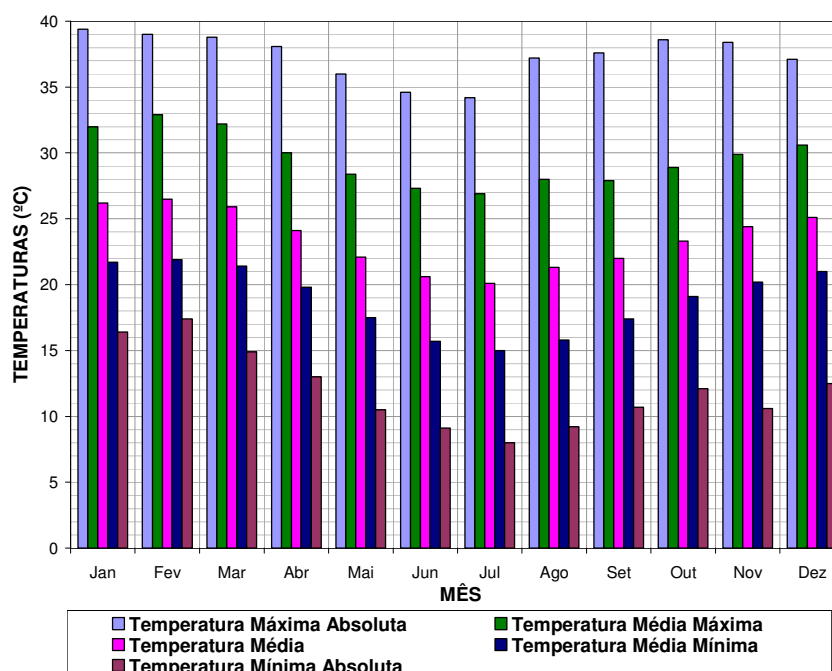
a) Temperatura do Ar

A temperatura do ar reflete os resultados dos impactos energéticos da radiação solar sobre o sistema solo-superfície-atmosfera, combinados com aspectos astronômicos e dinâmicos de micro, meso e larga escalas.

As temperaturas mais elevadas, como as que ocorrem no verão, conduzem à formação de movimentos verticais ascendentes mais pronunciados (convecção), contribuindo para que ocorram chuvas de volume muito acentuado em curto espaço de tempo.

Na Figura 5.2 mostra-se a variação ao longo do ano das temperaturas do ar.

**Figura 5.2 - Temperaturas do Ar na Estação Itaperuna
Período: 1.961 a 1.990**



Verifica-se um trimestre mais frio, entre junho e agosto e um mais quente, entre janeiro e março.

A média anual é de 23,5°C e a sua amplitude é de 31,4°C.

A temperatura máxima absoluta medida foi de 39,4°C em 30/01/1.988 e a mínima medida foi de 8,0°C em 20/07/1.969.

b) Umidade Relativa do Ar

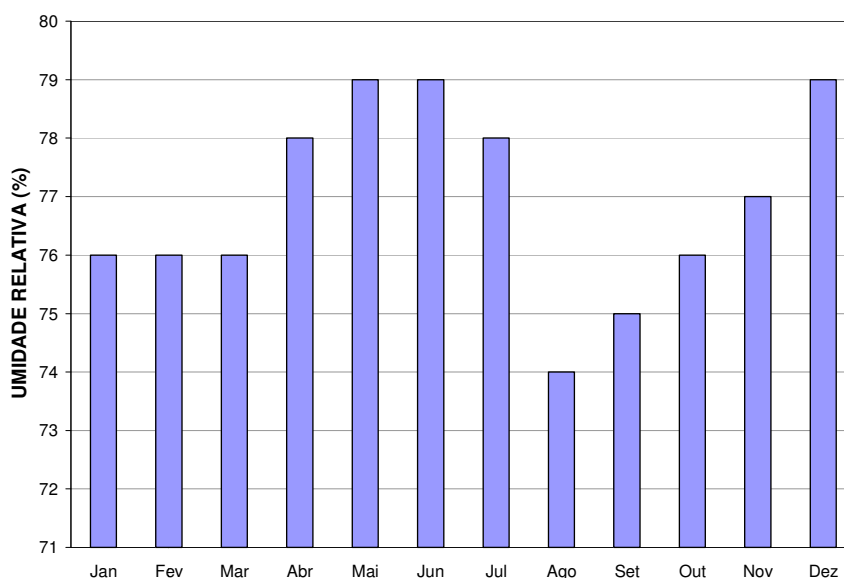
O comportamento da umidade relativa do ar ao longo de um dia pode apresentar variações significativas em função de diversos fatores, como, por exemplo: (i) insolação; (ii) nebulosidade; (iii) direção e velocidade dos ventos e (iv) precipitação pluviométrica.

Em geral, a umidade relativa do ar tende a aumentar à noite e de madrugada, diminuindo gradativamente, à medida que o dia transcorre, após o nascer do sol.

Com a ocorrência de chuvas, e até mesmo após seu término, a umidade relativa do ar tende a aumentar no local. Portanto, uma série de combinações meteorológicas pode ocorrer e, de cada uma delas, resultar diferenciados graus de umidade relativa, dependendo também, das características da superfície e do solo na área de interesse do aproveitamento UHE.

Pode-se observar na Figura 5.3 que as variações das médias mensais desse parâmetro ao longo do ano não são significativas, mantendo-se altas, com valores bem próximos a 80%.

**Figura 5.3 - Umidades Relativas Médias Mensais do Ar na Estação Itaperuna
Período: 1.961 a 1.990**



A umidade relativa média anual do ar é de 77% e a sua amplitude é de 5%.

Os valores médios mensais mínimos de umidade relativa do ar situam-se nos meses de agosto a outubro, atingindo um mínimo de 74% no mês de agosto.

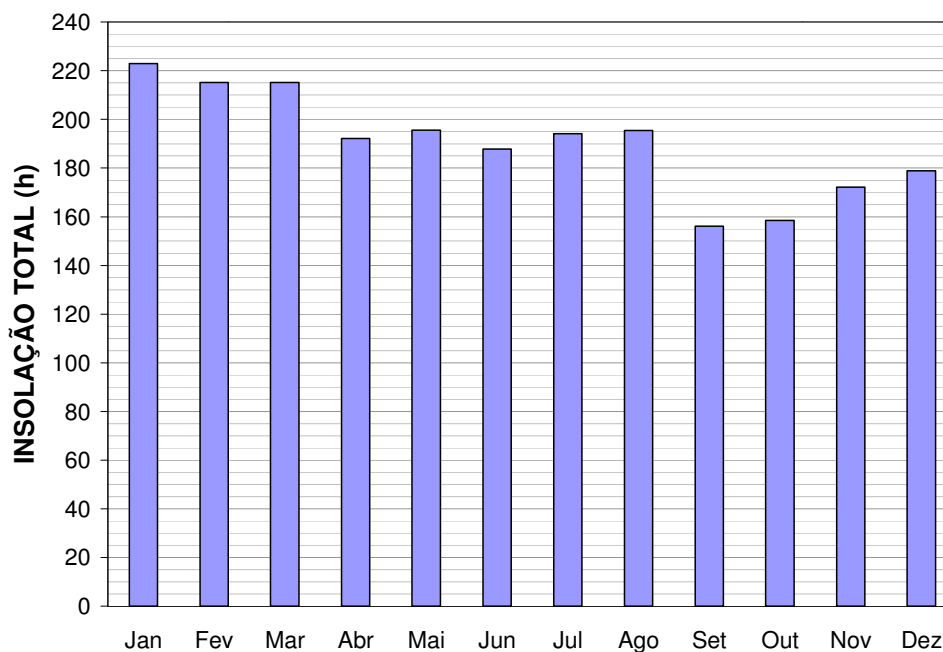
Os valores médios mensais máximos de umidade relativa do ar ocorrem nos meses de abril a julho, atingindo um máximo de 79% em maio e junho.

c) Insolação

A insolação pode ser entendida como o número de horas de brilho solar. Depende, além dos fatores astronômicos, da nebulosidade e do livre horizonte na trajetória solar do poente.

As características da insolação na região podem ser visualizadas na Figura 5.4.

**Figura 5.4 - Insolação Média Mensal na Estação Itaperuna
Período: 1.961 a 1.990**



Verifica-se que a insolação média mensal local é de aproximadamente 190 horas e o seu total anual é de aproximadamente 2.284 horas.

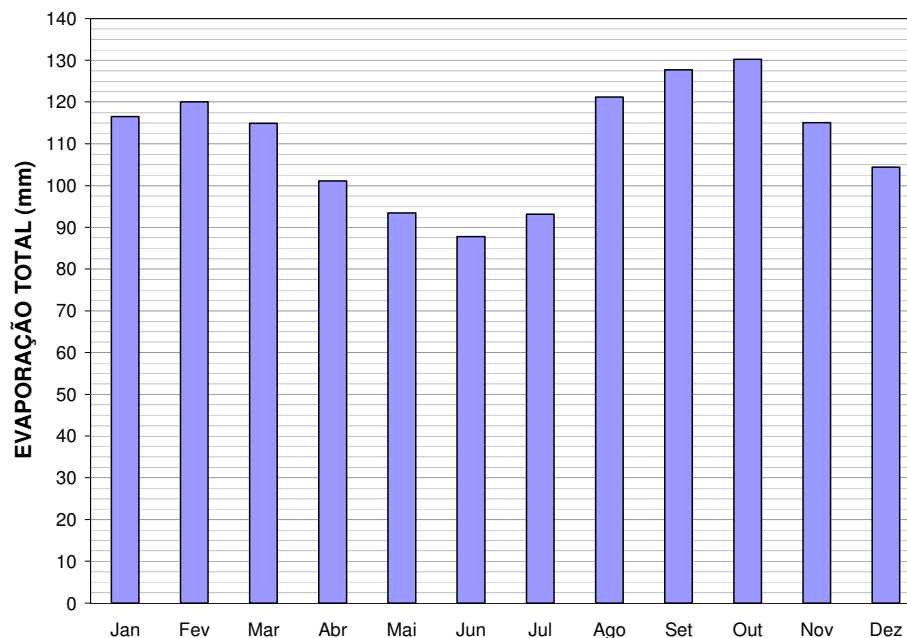
O maior número de horas de brilho solar situa-se no trimestre de janeiro a março, no verão, alcançando aproximadamente 223 horas, em média, no mês de janeiro. Os valores médios mínimos situam-se no trimestre de setembro a novembro, na primavera, sendo o mês de setembro com 156 horas em média, o de menor insolação.

d) Evaporação Total

O parâmetro de evaporação total dá indicações da transferência de água do meio físico para a atmosfera.

As características de evaporação podem ser visualizadas na Figura 5.5.

**Figura 5.5 - Alturas de Evaporação Médias Mensais na Estação Itaperuna
Período: 1.961 a 1.990**



Observa-se que a evaporação média mensal local é de aproximadamente 110 mm e o seu total anual médio é de aproximadamente 1.326 mm.

As menores alturas de evaporação mensal situam-se entre maio e julho, com um mínimo de 87,8 mm em junho. As maiores ocorrem nos meses de agosto a outubro, atingindo um máximo de 130 mm em outubro.

e) Evaporação Líquida

As alturas de evaporação líquida médias no reservatório, ou seja, o saldo entre evaporação de superfície líquida e evapotranspiração na bacia hidráulica, foram calculadas pelo programa SisEvapo v 1.0 desenvolvido pelo Operador Nacional de Sistema Elétrico/ONS. A descrição do modelo SisEvapo encontra-se no Anexo correspondente aos “Estudos Hidrometeorológicos”.

As características da evaporação líquida no reservatório em estudo podem ser visualizadas na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Alturas de Evaporação Líquida Médias no Reservatório

| Mês | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Total |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Altura (mm) | -15 | 0 | 47 | 75 | 77 | 58 | 35 | -5 | -6 | -7 | -16 | -15 | 228 |

Para o cálculo no programa SisEvapo, foram considerados os dados das estações Itaperuna/RJ (02141045), Cordeiro/RJ (02242074), Vassouras/RJ (2243151) e Cataguases/MG (02142050). Tentou-se utilizar a estação de Coronel Pacheco/MG (2143061), mais próxima do local em estudo. Porém, no resultado obtido para aUHE de Itaocara I, continha uma observação de que os dados eram duvidosos e deveriam ser reavaliados com nova superfície, optando-se pela utilização dos dados da estação de Vassouras.

f) Vento

O vento resulta do deslocamento de massas de ar, derivado dos efeitos das diferenças de pressão atmosférica entre duas regiões distintas, sendo influenciado por efeitos locais, como, por exemplo, o orográfico.

A direção e a velocidade dos ventos estão associadas às diversas escalas de circulação atmosférica, apresentando significativa interatividade espacial e uma nítida variabilidade temporal.

Na região em estudo, pode-se destacar como os mais representativos, os ventos do quadrante oeste que ocorrem entre meados da primavera e meados do outono, trazidos por linhas de instabilidade tropical (IT) que é a porção dianteira de um distúrbio em mesoescala. O ar de convergência dinâmica no seio de uma IT acarreta, geralmente, chuvas de até 30 mm em meia hora e trovoadas. Ocorrem, ocasionalmente, granizo e ventos moderados e fortes com rajadas de curta duração que atingem velocidades de 60 a 90 km/h.

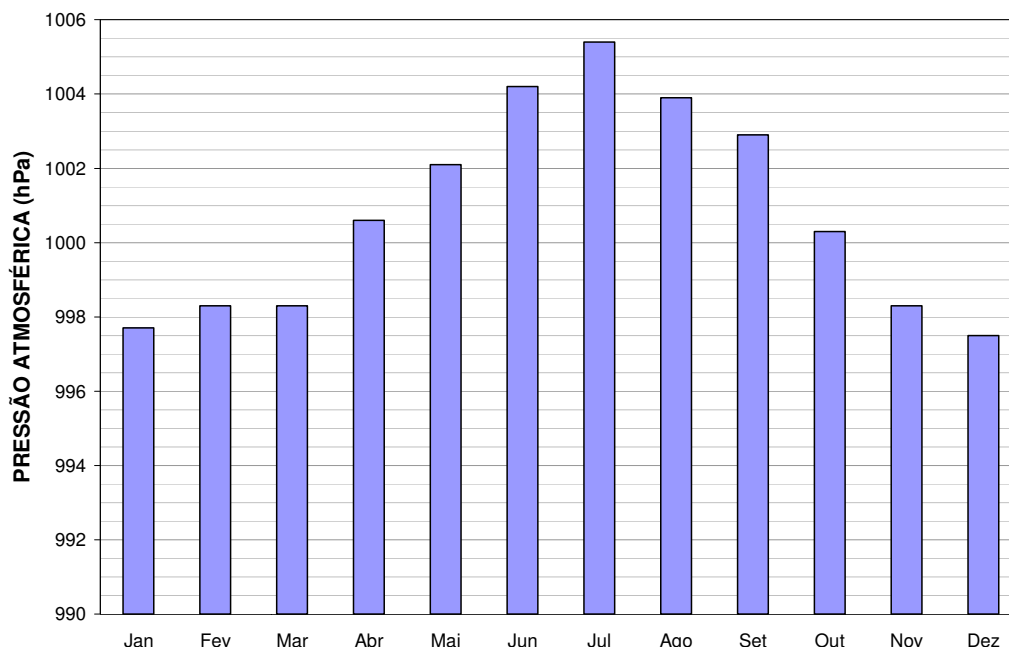
Tais fenômenos são mais frequentes no verão em decorrência da baixa generalizada de pressão, devida ao intenso aquecimento no interior do continente.

g) Pressão Atmosférica

Do ponto de vista dinâmico, a pressão atmosférica é um importante elemento de caracterização dos sistemas migratórios e locais.

Sazonalmente, os valores de pressão atmosférica são maiores no inverno do que no verão, como pode ser observado na Figura 5.6, graças à interação de diversos fatores, tais como os astronômicos e as maiores intensidades das massas polares migratórias.

**Figura 5.6 - Pressões Atmosféricas Médias Mensais na Estação Itaperuna
Período: 1.961 a 1.990**



No verão, o mais intenso aquecimento solar à superfície cria forças de flutuação que induzem a movimentos verticais ascendentes, com ou sem a formação de nuvens, reduzindo, portanto, os valores da pressão atmosférica à superfície.

Pode-se verificar que a pressão atmosférica média anual local é de aproximadamente 1.001 hPa e sua amplitude é de 7,9 hPa.

Os maiores valores médios mensais de pressão atmosférica ocorrem nos meses de junho a agosto, atingindo um máximo de 1.005 hPa no mês de julho e os menores valores nos meses de novembro a março, chegando a um mínimo de aproximadamente 998 hPa.

h) Precipitação Pluviométrica

A caracterização desse parâmetro foi realizada, como explicado anteriormente, utilizando-se dados do posto Santo Antônio de Pádua, os quais foram obtidos no Hidroweb em 29/06/2.009. Foram empregadas informações para o período de 1.968 a 2.008, desconsiderando os anos 1.969, 1.974, 1.975, 1.978 a 1.981, 1.996 a 2.000 e 2.006, pois possuem falhas em pelo menos um dos meses. Ao todo foram utilizados 28 anos de observação.

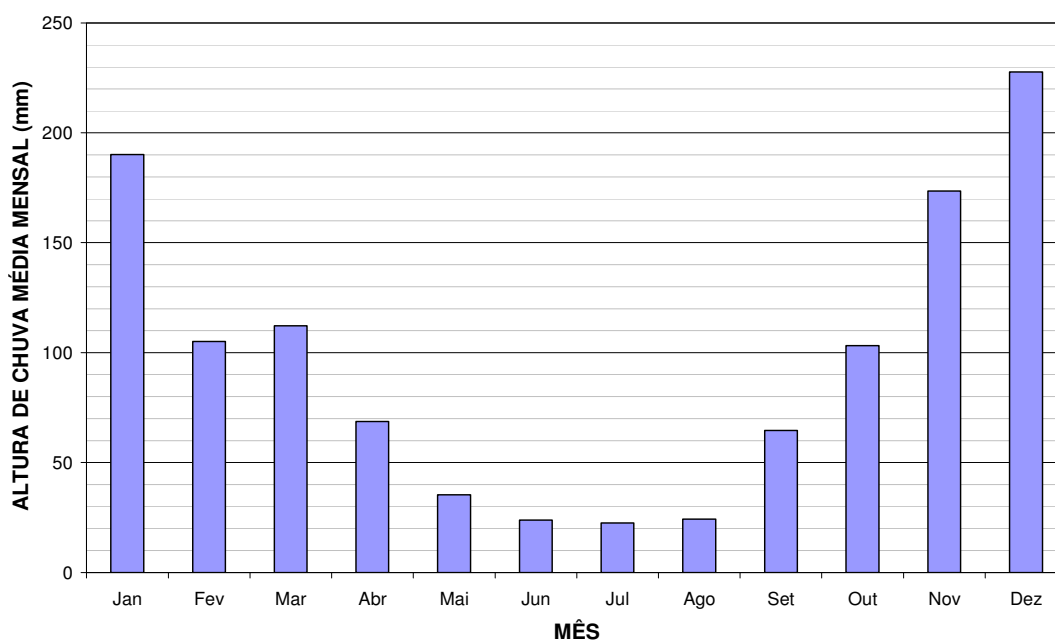
A precipitação pluviométrica anual, no posto em questão, varia entre 621 mm e 1.728 mm, apresentando uma média de 1.151 mm para o período de dados considerados, valores esses que são consistentes com o mapa de isoietas médias anuais, elaborado em 2.001 pela CPRM/Serviço Geológico do Brasil, reproduzido no desenho G27-DEB-0006.

Apresenta-se, na Tabela 5.2, a distribuição das alturas de chuva extremas médias de cada mês do ano e, na Figura 5.7, o hietograma médio mensal.

**Tabela 5.2 - Alturas de Chuva Extremas e Médias Mensais no
 Posto Santo Antônio de Pádua (mm)
 Período: 1.968 a 2.008**

| Mês | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Total |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Mínima | 26,8 | 1,0 | 10,3 | 1,8 | 1,0 | 0,0 | 0,6 | 0,0 | 0,0 | 18,0 | 57,9 | 71,9 | 620,7 |
| Média | 190,2 | 105,1 | 112,3 | 68,7 | 35,3 | 23,9 | 22,5 | 24,3 | 64,6 | 103,2 | 173,5 | 227,7 | 1151,4 |
| Máxima | 497,3 | 234,4 | 277,6 | 191,3 | 139,0 | 88,4 | 97,0 | 103,4 | 177,5 | 256,8 | 301,2 | 381,4 | 1728,2 |

**Figura 5.7 - Hietograma Médio Mensal do Posto Santo Antônio de Pádua
 Período: 1.968 a 2.008**



Nota-se que o período chuvoso ocorre entre os meses de novembro a janeiro com índice superior a 170 mm.

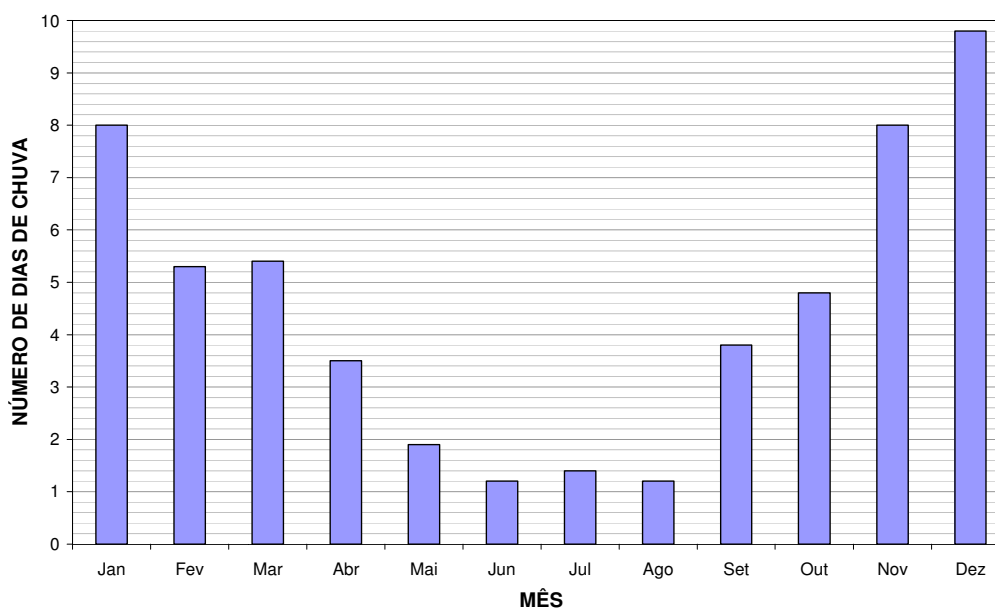
A estiagem inicia-se em abril e estende-se até setembro, com os meses mais secos no trimestre junho-agosto, com índice mensal inferior a 25 mm.

Na Tabela 5.3 observa-se o número de dias de chuva e, na Figura 5.8, o número de dias de chuva médios, em cada mês, sendo considerados como dias de chuva aqueles com precipitação maior ou igual a 5 mm.

**Tabela 5.3 - Número de Dias de Chuva no Posto Santo Antônio de Pádua
Período: 1.968 a 2.008**

| Mês | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Total |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Mínima | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 5 | 13 |
| Média | 8 | 5,3 | 5,4 | 3,5 | 1,9 | 1,2 | 1,4 | 1,2 | 3,8 | 4,8 | 8 | 9,8 | 54 |
| Máxima | 16 | 10 | 13 | 10 | 6 | 6 | 4 | 4 | 10 | 9 | 15 | 16 | 119 |

**Figura 5.8 - Número Médio de Dias de Chuva no Posto Santo Antônio de Pádua
Período: 1.968 a 2.008**



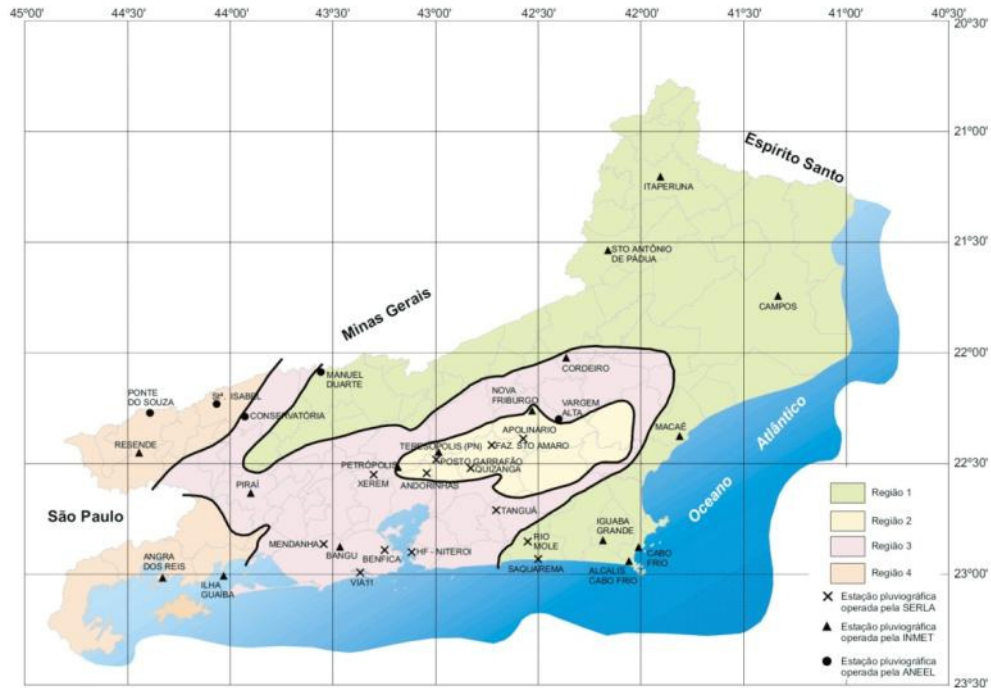
Da análise da Tabela 5.3 e da Figura 5.8 verifica-se que:

- Ocorrem, em média, 54 dias com chuva, por ano, o que corresponde a cerca de 15% do tempo;
- Em média, os meses com maior incidência de dias chuvosos localizam-se no trimestre novembro-janeiro, quando cerca de 29% dos dias são chuvosos;
- No trimestre mais seco junho – agosto, apenas 4% dos dias são chuvosos.

5.1.3 Chuvas Intensas e Precipitação Máxima Provável

Para a definição das equações do tipo IDF (Intensidade-Duração-Frequência) empregou-se o “Estudo de Chuvas Intensas no Estado do Rio de Janeiro”, elaborado em 2.000 pela CPRM/ Serviço Geológico do Brasil. Segundo esse estudo, o posto Santo Antônio de Pádua, cuja utilização é justificada no item 5.1.2.1, pertence à região homogênea 1, conforme mapa mostrado na Figura 5.9. Nessa região foram avaliados os dados de 10(dez) estações com períodos variáveis entre 1.922 a 1.999.

Figura 5.9 - Regiões Pluviométricas Homogêneas do Rio de Janeiro



Para essa região, onde também se situa a UHE Itacara I, as equações IDF válidas são:

$$\hat{I}_{T,d,J} = 44,888 d^{-0,385} P_J^{0,244} \mu_{T,d}, \text{ para } T \leq 100 \text{ e } 5 \text{ min} \leq d < 1 \text{ h}$$

$$\hat{I}_{T,d,J} = 81,432 d^{-0,771} P_J^{0,371} \mu_{T,d}, \text{ para } T \leq 100 \text{ e } 1 \text{ h} \leq d \leq 24 \text{ h}$$

onde:

$\hat{I}_{T,d,J}$ = intensidade de chuva (mm/h);

T = período de retorno (anos);

d = duração da precipitação (min);

P_J = precipitação média anual (mm) no local J, dentro da região homogênea;

$\mu_{T,d}$ = quantis adimensionais de frequência e validade regional, associados a T e d, obtidos de acordo com a Tabela 5.4.

**Tabela 5.4 - Quantis Adimensionais de Frequência
Região Homogênea 1**

| Duração | Período de Retorno (anos) | | | |
|------------------|---------------------------|--------|--------|--------|
| | 5 | 10 | 20 | 50 |
| 5 min | 1,1000 | 1,2616 | 1,4451 | 1,7444 |
| 10 min | 1,1117 | 1,2901 | 1,4918 | 1,8193 |
| 15 min | 1,1059 | 1,2896 | 1,5019 | 1,855 |
| 30 min | 1,1223 | 1,3142 | 1,5301 | 1,8794 |
| 45 min | 1,1249 | 1,3188 | 1,5365 | 1,8876 |
| 60 min (1 h) | 1,1201 | 1,3166 | 1,5404 | 1,9068 |
| 120 min (2 h) | 1,1076 | 1,3181 | 1,5689 | 1,9994 |
| 180 min (3 h) | 1,1055 | 1,3158 | 1,5671 | 2,0001 |
| 240 min (4 h) | 1,1128 | 1,3244 | 1,5741 | 1,9986 |
| 480 min (8 h) | 1,1161 | 1,3206 | 1,5579 | 1,9543 |
| 840 min (14 h) | 1,1205 | 1,3236 | 1,5567 | 1,9418 |
| 1.440 min (24 h) | 1,1318 | 1,3393 | 1,5733 | 1,9525 |

A precipitação média anual (P_j) considerada é de 1.151 mm, de acordo com a Tabela 5.2 do item 5.1.2.2.

Empregando-se esses dados e as equações IDF, foram obtidas as intensidades de chuva relacionadas na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 - Intensidades de Chuva em Santo Antônio de Pádua (mm/h)

| Duração (min) | Período de Retorno (anos) | | | |
|------------------|---------------------------|-------|-------|-------|
| | 5 | 10 | 20 | 50 |
| 5 min | 148,0 | 170,0 | 195,0 | 235,0 |
| 10 min | 115,0 | 133,0 | 154,0 | 188,0 |
| 15 min | 97,7 | 114,0 | 133,0 | 164,0 |
| 30 min | 75,9 | 88,9 | 104,0 | 127,0 |
| 45 min | 65,1 | 76,3 | 88,9 | 109,0 |
| 60 min (1 h) | 53,1 | 62,4 | 73,0 | 90,3 |
| 120 min (2 h) | 30,7 | 36,6 | 43,6 | 55,5 |
| 180 min (3 h) | 22,4 | 26,7 | 31,8 | 40,6 |
| 240 min (4 h) | 18,1 | 21,5 | 25,6 | 32,5 |
| 480 min (8 h) | 10,6 | 12,6 | 14,9 | 18,6 |
| 840 min (14 h) | 6,9 | 8,2 | 9,6 | 12,0 |
| 1.440 min (24 h) | 4,6 | 5,5 | 6,4 | 8,0 |

Utilizando-se esses dados foram caracterizadas as equações das chuvas intensas locais, constantes das Figura 5.10 e Figura 5.11.

Figura 5.10 - Curvas Intensidade-Duração-Frequência Para Durações Inferiores a 45 Minutos - Posto Santo Antônio de Pádua

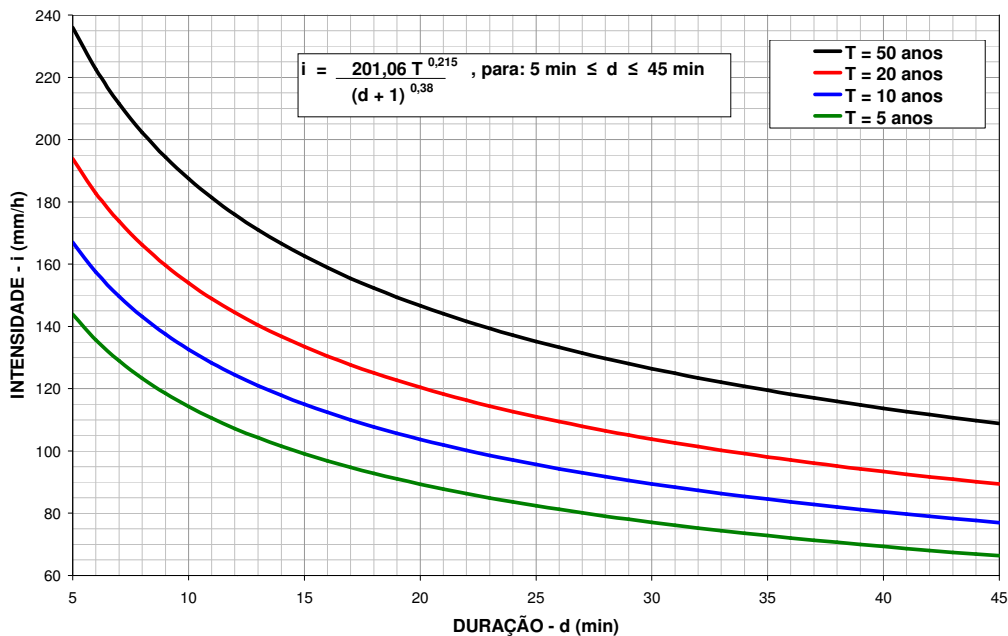
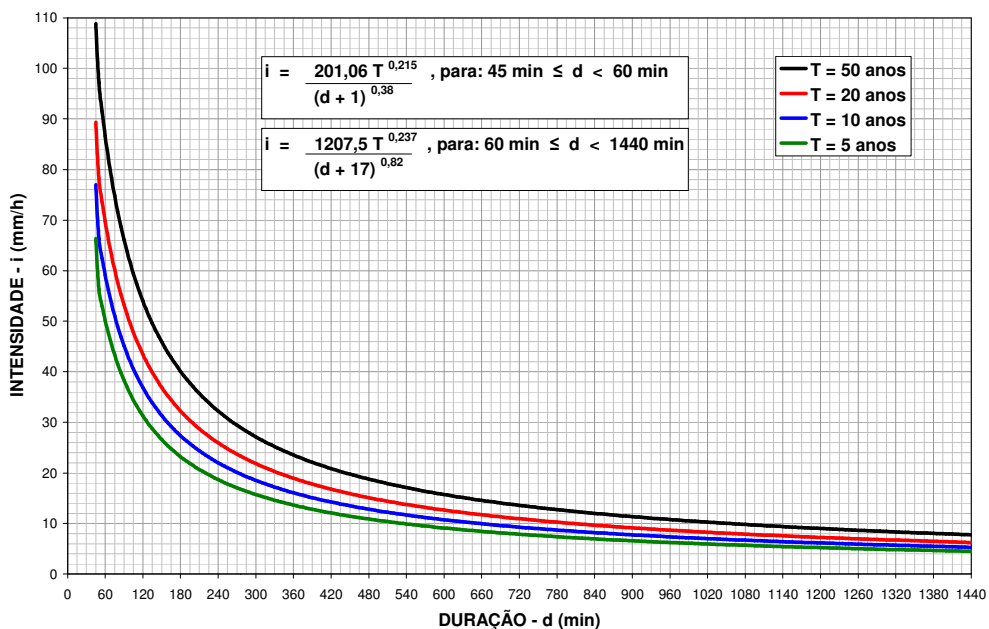


Figura 5.11 - Curvas Intensidade-Duração-Frequência Para Durações Superiores a 45 Minutos - Posto Santo Antônio de Pádua



5.1.4 Série de Vazões

Este item tem como finalidade apresentar, sucintamente, o estudo desenvolvido para definição da série de vazões médias mensais de longo termo afluentes à UHE Itaocara I, onde a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul apresenta área de 33.680 km². Nele foram adotadas, como dados básicos, as séries de vazões naturais e de usos consuntivos locais, estabelecidas pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico/ONS. Essas informações foram processadas pela LIGHT, de forma a considerar os efeitos da operação dos reservatórios existentes a montante, obtendo-se, assim, dados de vazões regularizadas no eixo do aproveitamento UHE Itaocara I.

5.1.4.1 Considerações Iniciais

A implantação de usinas hidrelétricas é uma realidade na bacia do rio Paraíba do Sul, com cerca de 800 MW de potência já instalados, distribuídos em cerca de 30 usinas hidrelétricas de diversos portes, incluindo as pequenas centrais hidrelétricas.

Além disso, as águas transpostas para a vertente atlântica da serra do Mar, através da Usina Elevatória – UEL Santa Cecília, contribuem para geração de energia elétrica no Complexo Hidrelétrico de Lajes, com mais 850 MW de potência instalada.

Os aproveitamentos hidrelétricos instalados na bacia hidrográfica a montante de Itaocara alteraram o comportamento fluvial natural no local do empreendimento. Entre eles, a usina de Ilha dos Pombos, que começou a operar em 1924, é o mais antigo aproveitamento hidrelétrico localizado no rio Paraíba do Sul, sendo também o mais próximo. Com uma área de drenagem de aproximadamente 32.265 km², controla 95% da área contribuinte à barragem de Itaocara.

A usina de Ilha dos Pombos opera a fio d'água, isto é, sem realizar regularização de vazões, de modo que as vazões médias diárias e mensais no rio Paraíba do Sul não sofrem alteração significativa, permanecendo bem semelhantes às vazões afluentes.

Posteriormente, em 1952, foi implantada a UEL Santa Cecília, com capacidade de captar e transpor vazões do rio Paraíba do Sul até a vazão máxima bombeada de 160 m³/s. No eixo da barragem de Santa Cecília, a área de drenagem é 16.609 km², o que equivale a 50% da área total afluente à barragem da UHE Itaocara I. A transposição de vazões para a bacia do rio Guandu resultou em alteração significativa do comportamento das vazões do rio Paraíba do Sul a jusante.

Em 1969, entrou em operação a UHE Funil, situada pouco a montante da UEL Santa Cecília, em local com 13.400 km² de área de drenagem, equivalente a 40% da área afluente a Itaocara. O reservatório dessa usina tem capacidade para regularizar vazões, de modo que também provocou uma alteração no comportamento fluvial a jusante. Além disso, a capacidade de regularização do reservatório de Funil é ainda potencializada pelos reservatórios de Paraibuna-Paraitinga e Jaguari, situados a montante, nas sub-bacias do Alto Vale e Médio Vale Superior do Paraíba.

As outras usinas hidrelétricas implantadas na bacia do rio Paraíba do Sul não interferem significativamente no comportamento das vazões no trecho fluvial da UHE Itaocara I pelas seguintes razões: por operarem a fio d'água; por controlarem áreas de drenagem relativamente pequenas; ou por estarem localizadas em afluentes com desemboque a jusante de Itaocara, como é o caso das usinas dos rios Pomba e Muriaé.

Os reservatórios dos aproveitamentos hidrelétricos Paraibuna-Paraitinga, Santa Branca, Jaguari e Funil são operados com a finalidade principal de regularização das vazões afluentes à UEL Santa Cecília, cujas vazões bombeadas suprem as usinas hidrelétricas do Complexo de Lajes (Nilo Peçanha, Fontes Nova, Pereira Passos) e o abastecimento público de água da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Nesta operação, de acordo com a legislação vigente, precisam ser garantidas vazões mínimas no rio Paraíba do Sul a jusante da UEL Santa Cecília e no Ribeirão das Lajes a jusante da UHE Pereira Passos.

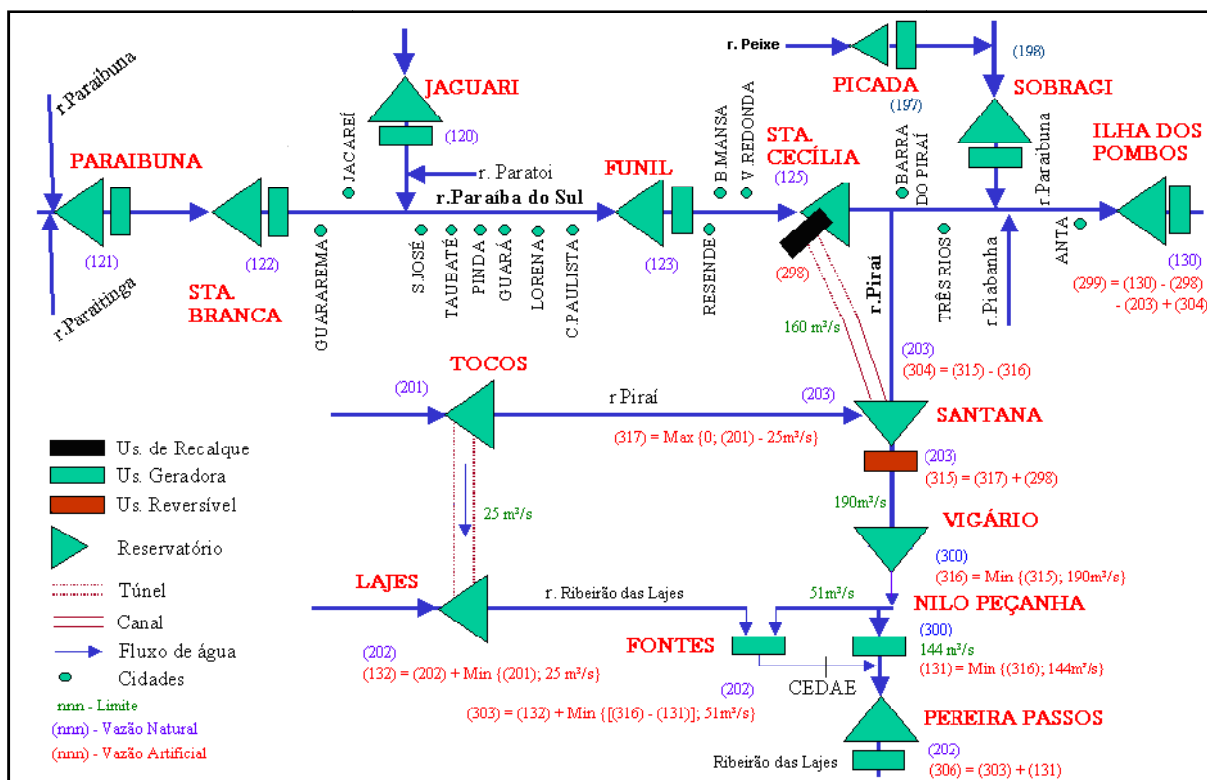
Atualmente, a operação do sistema hidráulico do rio Paraíba do Sul e do Complexo de Lajes é praticada conforme as regras operativas estabelecidas na Resolução ANA no 211/2003, com ajustes temporários decorrentes de condições hidrológicas críticas desfavoráveis.

A vazão mínima liberada para jusante (defluência) na UEL Santa Cecília deveria ser 90 m³/s, conforme estabelecido pelo Decreto nº 68.324/71, que aprovou o Plano de Regularização do Rio Paraíba do Sul. Posteriormente, o Decreto nº 81.436/78, definiu que aquela defluência mínima poderia ser de 71 m³/s sob condições hidrológicamente desfavoráveis.

Recentemente, a Resolução ANA nº 211/03 estabeleceu uma defluência mínima de 71 m³/s e também um bombeamento mínimo de 119 m³/s, para a UEL Santa Cecília. Na vertente atlântica, para a UHE Pereira Passos, que faz parte do Complexo de Lajes, a vazão mínima liberada foi definida como 120 m³/s, para atendimento dos requisitos do rio Guandu que abastece a Região Metropolitana. A Resolução ANA nº 211/03 define também que, quando a vazão incremental entre a UHE Funil e a UEL Santa Cecília for maior que 110 m³/s, a vazão emergencial de 71 m³/s a jusante de Santa Cecília deverá ser gradativamente aumentada, até atingir o limite da vazão mínima normal de 90 m³/s.

A Figura 5.12 apresenta um esquema da bacia do Rio Paraíba do Sul com as regras de transformações de vazões.

Figura 5.12 – Representação completa da bacia do rio Paraíba do Sul (Fonte: ONS, 2013)



5.1.4.2 Informações Hidrometeorológicas Utilizadas

Para a atualização dos estudos hidrológicos foi utilizado como base as informações contidas no Projeto Básico elaborado pela PCE em 2009, bem como os Estudos de Disponibilidade Hídrica da UHE Itaocara I, elaborados pela Hicon em 2013. Foram obtidos também dados junto ao ONS, através do relatório “Atualização de Séries Históricas de Vazões – Período 1931 a 2012” (ONS, 2013).

5.1.4.3 Série de Vazões Naturais

As séries de vazões médias mensais destinam-se aos modelos de planejamento de médio e curto prazo, destacando-se os seus usos para a geração de vazões e energias naturais afluentes aos aproveitamentos e subsistemas eletroenergéticos, respectivamente. Neste caso, devido ao horizonte de planejamento considerado, que pode se estender até 5 anos à frente, as séries de vazões devem estar disponíveis não só para todos os locais de aproveitamentos em operação, como também para todos os locais de aproveitamentos com entrada prevista para até 5 anos à frente, os quais são denominados de aproveitamentos em expansão. As séries de vazões dos aproveitamentos em expansão são fornecidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL ou, em alguns casos, calculadas pelo ONS e aprovadas pela ANEEL.

O setor elétrico tem adotado o termo vazão natural para identificar a vazão que ocorreria em uma seção do rio, se não houvesse as ações antrópicas na sua bacia contribuinte — tais como regularizações de vazões realizadas por reservatórios, desvios de água, evaporações em reservatórios e usos consuntivos (irrigação, criação animal e abastecimentos urbano, rural e industrial). A vazão natural é obtida por meio de um processo de reconstituição, que considera a vazão observada no local e as informações relativas às ações antrópicas na bacia.

A Resolução ANA nº. 1.404 de 26 de novembro de 2013, na qual foi declarada a reserva de disponibilidade hídrica na seção do rio Paraíba do Sul onde será implantada a UHE Itacara I, apresenta em seu Anexo I a série de vazões médias mensais naturais afluentes compreendendo o período de janeiro de 1931 a dezembro de 2011.

Para este estudo buscou-se estender a série de vazões até o ano de 2012. Dessa forma, através do relatório “Atualização de Séries Históricas de Vazões – Período 1931 a 2012” (ONS, 2013) são apresentadas as séries de vazões naturais dos aproveitamentos em operação e em expansão com horizonte até 2018, na qual é incluída a UHE Itacara I. A Tabela 5.6 a seguir apresenta a série de vazões naturais na UHE Itacara I, obtida conforme a metodologia e os modelos desenvolvidos no âmbito do Estudo do ONS até 2012.

Tabela 5.6–Série de vazões naturais (m³/s) na UHE Itacara I

| UHE Itacara I | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|
| Ano | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Média |
| 1931 | 1.090 | 2.240 | 1.737 | 1.120 | 708 | 552 | 464 | 387 | 400 | 534 | 554 | 936 | 894 |
| 1932 | 1.466 | 1.277 | 1.158 | 685 | 640 | 593 | 411 | 384 | 368 | 485 | 557 | 1.198 | 769 |
| 1933 | 1.391 | 816 | 748 | 520 | 469 | 386 | 324 | 273 | 306 | 454 | 514 | 951 | 596 |
| 1934 | 1.414 | 710 | 767 | 553 | 397 | 316 | 270 | 230 | 251 | 277 | 266 | 896 | 529 |
| 1935 | 944 | 1.921 | 1.123 | 762 | 542 | 437 | 347 | 309 | 319 | 528 | 413 | 411 | 671 |
| 1936 | 412 | 589 | 1.542 | 952 | 522 | 377 | 318 | 291 | 359 | 315 | 361 | 758 | 566 |
| 1937 | 1.348 | 1.397 | 774 | 675 | 648 | 446 | 330 | 264 | 233 | 447 | 622 | 1.491 | 723 |
| 1938 | 1.363 | 1.208 | 1.099 | 823 | 608 | 498 | 396 | 439 | 385 | 530 | 658 | 915 | 744 |
| 1939 | 1.136 | 1.094 | 730 | 809 | 519 | 394 | 326 | 277 | 257 | 291 | 388 | 662 | 574 |
| 1940 | 1.179 | 1.525 | 1.278 | 690 | 498 | 410 | 303 | 255 | 259 | 382 | 706 | 822 | 692 |
| 1941 | 938 | 666 | 815 | 671 | 428 | 360 | 356 | 238 | 488 | 573 | 605 | 1.026 | 597 |
| 1942 | 1.000 | 896 | 1.174 | 740 | 589 | 445 | 438 | 298 | 315 | 402 | 585 | 1.009 | 658 |
| 1943 | 1.886 | 1.495 | 1.195 | 777 | 551 | 457 | 362 | 342 | 328 | 547 | 556 | 937 | 786 |
| 1944 | 935 | 1.507 | 1.784 | 908 | 622 | 478 | 403 | 315 | 267 | 286 | 376 | 586 | 706 |
| 1945 | 947 | 1.501 | 930 | 870 | 566 | 483 | 528 | 314 | 286 | 263 | 465 | 858 | 668 |
| 1946 | 1.783 | 921 | 989 | 807 | 532 | 430 | 354 | 283 | 229 | 383 | 508 | 543 | 647 |
| 1947 | 1.517 | 1.685 | 2.708 | 1.245 | 821 | 585 | 670 | 537 | 590 | 632 | 752 | 1.255 | 1.083 |
| 1948 | 1.218 | 1.534 | 1.707 | 1.075 | 704 | 575 | 452 | 432 | 354 | 429 | 568 | 985 | 836 |
| 1949 | 1.262 | 1.619 | 1.062 | 761 | 560 | 492 | 394 | 312 | 286 | 375 | 483 | 760 | 697 |
| 1950 | 1.479 | 1.862 | 1.374 | 1.092 | 792 | 592 | 454 | 351 | 303 | 439 | 719 | 1.124 | 882 |
| 1951 | 1.197 | 1.390 | 1.626 | 1.153 | 642 | 533 | 487 | 381 | 335 | 353 | 373 | 674 | 762 |
| 1952 | 1.201 | 1.517 | 1.831 | 1.019 | 569 | 679 | 488 | 432 | 472 | 450 | 659 | 845 | 847 |
| 1953 | 569 | 735 | 632 | 683 | 500 | 353 | 356 | 313 | 281 | 370 | 606 | 718 | 510 |
| 1954 | 506 | 660 | 562 | 556 | 509 | 405 | 288 | 232 | 205 | 267 | 317 | 385 | 408 |
| 1955 | 887 | 507 | 527 | 475 | 334 | 293 | 220 | 183 | 188 | 204 | 350 | 651 | 402 |
| 1956 | 659 | 490 | 837 | 534 | 437 | 436 | 312 | 374 | 278 | 303 | 384 | 721 | 480 |
| 1957 | 834 | 886 | 1.245 | 1.187 | 609 | 448 | 380 | 314 | 420 | 315 | 555 | 730 | 660 |
| 1958 | 541 | 928 | 828 | 684 | 672 | 582 | 432 | 321 | 376 | 426 | 642 | 816 | 604 |
| 1959 | 1.280 | 764 | 1.019 | 896 | 498 | 377 | 306 | 313 | 249 | 267 | 561 | 560 | 591 |
| 1960 | 796 | 1.093 | 1.658 | 788 | 577 | 460 | 390 | 354 | 298 | 318 | 463 | 819 | 668 |
| 1961 | 1.782 | 1.892 | 1.932 | 1.078 | 792 | 566 | 441 | 373 | 305 | 282 | 375 | 578 | 866 |
| 1962 | 907 | 1.829 | 1.168 | 718 | 533 | 417 | 342 | 318 | 365 | 477 | 714 | 959 | 729 |
| 1963 | 1.032 | 1.089 | 797 | 515 | 363 | 309 | 271 | 241 | 195 | 226 | 389 | 287 | 476 |
| 1964 | 604 | 1.284 | 729 | 506 | 415 | 311 | 328 | 252 | 225 | 366 | 412 | 672 | 509 |
| 1965 | 1.296 | 1.671 | 1.307 | 744 | 769 | 537 | 467 | 377 | 302 | 539 | 684 | 879 | 798 |
| 1966 | 2.118 | 898 | 1.323 | 910 | 653 | 473 | 398 | 365 | 343 | 444 | 1.067 | 1.127 | 843 |
| 1967 | 2.161 | 2.396 | 2.122 | 1.235 | 772 | 638 | 529 | 414 | 382 | 401 | 695 | 940 | 1.057 |
| 1968 | 1.089 | 745 | 861 | 623 | 437 | 360 | 324 | 321 | 314 | 308 | 275 | 611 | 522 |
| 1969 | 852 | 767 | 799 | 622 | 375 | 355 | 289 | 287 | 249 | 346 | 677 | 918 | 545 |
| 1970 | 879 | 861 | 919 | 566 | 412 | 334 | 347 | 296 | 465 | 439 | 512 | 533 | 547 |
| 1971 | 553 | 314 | 665 | 466 | 355 | 377 | 302 | 249 | 333 | 470 | 607 | 991 | 474 |
| 1972 | 888 | 1.141 | 1.271 | 743 | 483 | 383 | 371 | 365 | 370 | 536 | 701 | 777 | 669 |
| 1973 | 1.157 | 1.305 | 805 | 851 | 612 | 439 | 401 | 351 | 319 | 429 | 705 | 919 | 691 |
| 1974 | 1.213 | 851 | 1.001 | 874 | 521 | 467 | 409 | 311 | 272 | 321 | 332 | 745 | 610 |
| 1975 | 1.217 | 1.142 | 879 | 609 | 429 | 350 | 321 | 248 | 220 | 365 | 645 | 951 | 615 |
| 1976 | 862 | 908 | 909 | 773 | 587 | 612 | 621 | 498 | 567 | 638 | 727 | 974 | 723 |
| 1977 | 1.132 | 903 | 587 | 705 | 459 | 381 | 300 | 254 | 343 | 321 | 527 | 952 | 572 |
| 1978 | 1.276 | 830 | 854 | 526 | 428 | 425 | 339 | 269 | 239 | 240 | 459 | 583 | 539 |
| 1979 | 727 | 1.344 | 920 | 587 | 489 | 381 | 354 | 349 | 430 | 344 | 692 | 787 | 617 |
| 1980 | 1.185 | 977 | 692 | 827 | 457 | 390 | 381 | 327 | 324 | 378 | 523 | 878 | 612 |
| 1981 | 1.293 | 838 | 780 | 639 | 459 | 401 | 347 | 308 | 252 | 390 | 699 | 1.062 | 622 |
| 1982 | 1.189 | 837 | 1.460 | 1.106 | 620 | 528 | 462 | 424 | 335 | 452 | 533 | 1.101 | 754 |

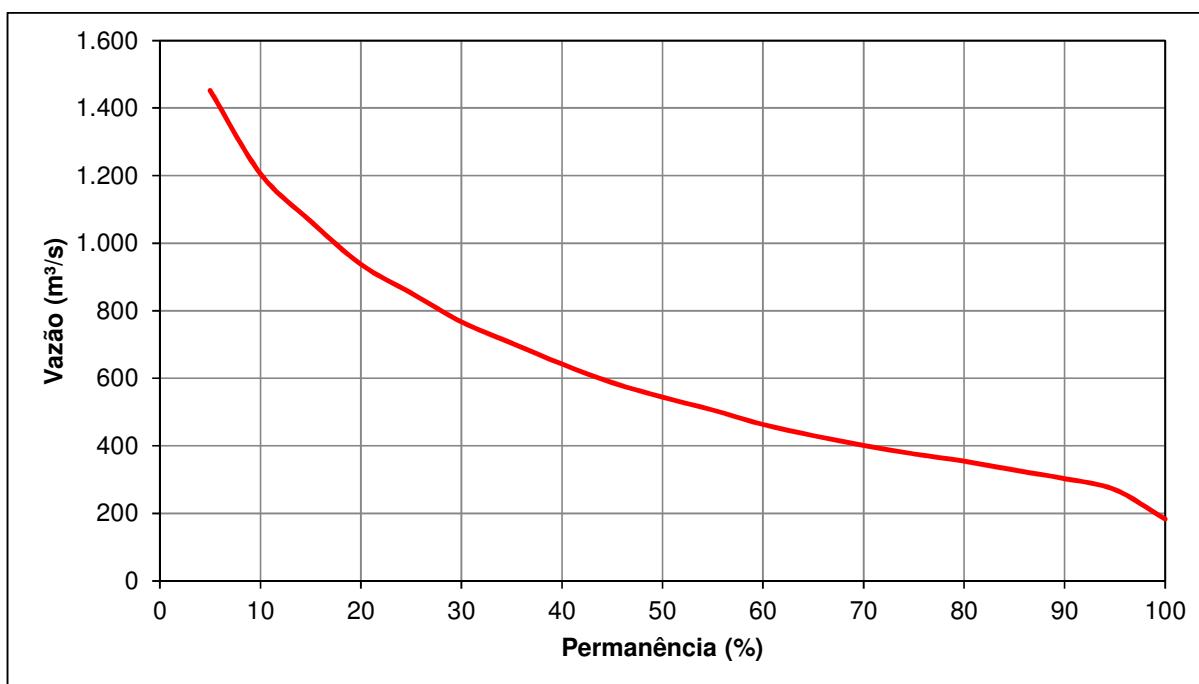
| | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|--------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1983 | 1.728 | 1.335 | 1.233 | 1.109 | 811 | 1.431 | 785 | 560 | 1.049 | 1.003 | 1.089 | 1.374 | 1.126 |
| 1984 | 1.166 | 721 | 650 | 689 | 676 | 430 | 355 | 358 | 345 | 317 | 337 | 522 | 547 |
| 1985 | 1.449 | 1.749 | 1.705 | 972 | 681 | 512 | 421 | 354 | 383 | 334 | 437 | 629 | 802 |
| 1986 | 899 | 1.000 | 1.150 | 633 | 496 | 405 | 362 | 403 | 324 | 288 | 337 | 976 | 606 |
| 1987 | 1.043 | 1.109 | 750 | 973 | 707 | 624 | 437 | 336 | 403 | 366 | 372 | 741 | 655 |
| 1988 | 908 | 1.819 | 1.283 | 820 | 734 | 658 | 452 | 408 | 372 | 427 | 576 | 583 | 753 |
| 1989 | 1.145 | 1.250 | 1.256 | 849 | 580 | 547 | 442 | 468 | 411 | 378 | 436 | 648 | 701 |
| 1990 | 695 | 390 | 673 | 597 | 441 | 359 | 372 | 348 | 400 | 422 | 409 | 393 | 458 |
| 1991 | 1.040 | 1.165 | 1.048 | 1.267 | 718 | 467 | 455 | 373 | 344 | 559 | 395 | 477 | 692 |
| 1992 | 1.275 | 776 | 681 | 520 | 489 | 371 | 376 | 322 | 465 | 535 | 782 | 842 | 620 |
| 1993 | 657 | 924 | 1.012 | 883 | 545 | 533 | 398 | 345 | 388 | 454 | 368 | 468 | 581 |
| 1994 | 853 | 615 | 930 | 813 | 683 | 442 | 340 | 286 | 235 | 235 | 384 | 722 | 545 |
| 1995 | 612 | 1.598 | 765 | 563 | 436 | 329 | 331 | 255 | 226 | 504 | 643 | 737 | 583 |
| 1996 | 1.378 | 1.298 | 1.606 | 931 | 622 | 481 | 402 | 362 | 623 | 451 | 988 | 959 | 842 |
| 1997 | 1.642 | 1.063 | 970 | 631 | 487 | 504 | 378 | 329 | 293 | 395 | 540 | 689 | 660 |
| 1998 | 737 | 1.015 | 763 | 560 | 458 | 356 | 299 | 276 | 293 | 526 | 528 | 600 | 534 |
| 1999 | 1.250 | 1.140 | 1.032 | 629 | 427 | 420 | 375 | 300 | 284 | 280 | 347 | 665 | 596 |
| 2000 | 1.326 | 970 | 808 | 722 | 406 | 334 | 331 | 309 | 419 | 287 | 430 | 747 | 591 |
| 2001 | 796 | 867 | 620 | 565 | 368 | 291 | 254 | 234 | 256 | 333 | 386 | 592 | 464 |
| 2002 | 989 | 1.247 | 744 | 494 | 407 | 303 | 287 | 258 | 274 | 205 | 464 | 847 | 543 |
| 2003 | 1.172 | 902 | 749 | 514 | 381 | 311 | 280 | 257 | 262 | 367 | 506 | 664 | 530 |
| 2004 | 939 | 1.096 | 1.093 | 975 | 660 | 615 | 531 | 393 | 303 | 400 | 493 | 934 | 703 |
| 2005 | 1.261 | 1.348 | 986 | 836 | 626 | 533 | 452 | 359 | 364 | 359 | 546 | 899 | 714 |
| 2006 | 715 | 1.178 | 792 | 577 | 426 | 348 | 314 | 281 | 291 | 446 | 666 | 1.021 | 588 |
| 2007 | 1.724 | 999 | 591 | 492 | 419 | 352 | 332 | 287 | 208 | 285 | 562 | 579 | 569 |
| 2008 | 708 | 1.418 | 1.246 | 1.070 | 641 | 514 | 381 | 371 | 319 | 440 | 758 | 1.182 | 754 |
| 2009 | 1.413 | 1.805 | 1.115 | 863 | 590 | 510 | 477 | 453 | 455 | 729 | 866 | 1.513 | 899 |
| 2010 | 1.770 | 987 | 1.318 | 1.068 | 642 | 494 | 493 | 358 | 322 | 407 | 702 | 1.453 | 835 |
| 2011 | 1.804 | 814 | 1.476 | 1.003 | 624 | 511 | 419 | 360 | 298 | 403 | 501 | 997 | 768 |
| 2012 | 1.480 | 857 | 636 | 576 | 566 | 531 | 409 | 306 | 257 | 268 | 432 | 560 | 573 |
| Mínima | 412 | 314 | 527 | 466 | 334 | 291 | 220 | 183 | 188 | 204 | 266 | 287 | 402 |
| Média | 1.136 | 1.143 | 1.072 | 780 | 552 | 461 | 388 | 332 | 338 | 402 | 546 | 820 | 664 |
| Máxima | 2.161 | 2.396 | 2.708 | 1.267 | 821 | 1.431 | 785 | 560 | 1.049 | 1.003 | 1.089 | 1.513 | 1.126 |

As permanências das vazões naturais no local do aproveitamento estão apresentadas na Tabela 5.7 e na Figura 5.13.

Tabela 5.7–Permanência das vazões médias mensais naturais na UHE Itacara I

| Permanência (%) | Vazão (m³/s) | Permanência (%) | Vazão (m³/s) |
|-----------------|--------------|-----------------|--------------|
| 5 | 1.452 | 55 | 506 |
| 10 | 1.206 | 60 | 463 |
| 15 | 1.065 | 65 | 430 |
| 20 | 937 | 70 | 401 |
| 25 | 852 | 75 | 376 |
| 30 | 767 | 80 | 355 |
| 35 | 704 | 85 | 328 |
| 40 | 642 | 90 | 303 |
| 45 | 587 | 95 | 270 |
| 50 | 544 | 100 | 183 |

Figura 5.13 – Curva de permanência das vazões médias mensais naturais na UHE Itacara I



Nessa série histórica de 82 anos, a vazão média do rio Paraíba do Sul no local do aproveitamento foi 664 m³/s. A maior vazão média mensal foi 2.708 m³/s, ocorrida em março de 1947, e o menor valor médio mensal foi 183 m³/s, em agosto de 1955.

Como acontece de maneira geral por toda a bacia do Paraíba do Sul, o ano hidrológico em Itaocara inicia em outubro e se estende até setembro do ano seguinte, quando são registrados os níveis mais baixos no rio. O período de cheias acontece entre dezembro e abril.

5.1.5 Vazões Máximas

Conforme estabelecido no Projeto Básico (PCE, 2009), em virtude das diferentes necessidades de dimensionamento hidráulico, os estudos das vazões máximas foram realizados considerando-se dados anuais e de estiagens. Para isso, foram utilizadas vazões médias diárias do rio Paraíba do Sul observadas no posto fluviométrico Anta, obtidas no banco de dados Hidroweb.

5.1.5.1 Vazões de Cheia no Posto Fluviométrico

Foi realizada a análise estatística das vazões máximas do posto fluviométrico Anta, que é aquele mais próximo do sítio da UHE Itaocara I e com maior histórico de dados. Para desconsiderar o efeito do amortecimento de cheias na UHE Funil nos dados do posto Anta, num critério de segurança, as vazões máximas mensais a partir de dezembro de 1969, início da operação da referida usina, foram obtidas através da correlação com posto Queluz, localizado a montante da UHE Funil. Em seguida, para cada ano hidrológico foi identificada a vazão média diária máxima do posto Anta, conforme relacionado na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 - Vazões máximas diárias máximas anuais no posto fluviométrico Anta

| Ano | Máxima (m ³ /s) | Ano | Máxima (m ³ /s) | Ano | Máxima (m ³ /s) |
|------|----------------------------|------|----------------------------|------|----------------------------|
| 1931 | 3.046 | 1959 | 1.718 | 1987 | 2.124 |
| 1932 | 3.022 | 1960 | 2.194 | 1988 | 1.865 |
| 1933 | 1.983 | 1961 | 2.184 | 1989 | 1.748 |
| 1934 | 2.223 | 1962 | 2.350 | 1990 | 1.239 |
| 1935 | 2.670 | 1963 | 1.215 | 1991 | 2.508 |
| 1936 | 2.156 | 1964 | 2.460 | 1992 | 2.643 |
| 1937 | 2.165 | 1965 | 2.002 | 1993 | 2.034 |
| 1938 | 4.214 | 1966 | 4.182 | 1994 | 887 |
| 1939 | 2.108 | 1967 | 3.226 | 1995 | 2.059 |
| 1940 | 2.060 | 1968 | 1.104 | 1996 | 2.379 |
| 1941 | 2.079 | 1969 | 2.204 | 1997 | 1.945 |
| 1942 | 1.594 | 1970 | 1.598 | 1998 | 1.314 |
| 1943 | 4.183 | 1971 | 987 | 1999 | 1.663 |
| 1944 | 2.460 | 1972 | 1.513 | 2000 | 4.881 |
| 1945 | 2.530 | 1973 | 1.458 | 2001 | 1.260 |
| 1946 | 3.382 | 1974 | 2.221 | 2002 | 1.714 |
| 1947 | 4.672 | 1975 | 878 | 2003 | 1.295 |
| 1948 | 2.540 | 1976 | 1.534 | 2004 | 1.895 |
| 1949 | 2.069 | 1977 | 1.437 | 2005 | 2.298 |
| 1950 | 2.136 | 1978 | 1.270 | 2006 | 1.783 |

| | | | | | |
|------|-------|------|-------|------|-------|
| 1951 | 1.882 | 1979 | 932 | 2007 | 1.249 |
| 1952 | 2.031 | 1980 | 1.384 | 2008 | 2.071 |
| 1953 | 1.324 | 1981 | 1.644 | 2009 | 2.106 |
| 1954 | 889 | 1982 | 1.021 | 2010 | 2.439 |
| 1955 | 1.311 | 1983 | 1.982 | 2011 | 2.693 |
| 1956 | 1.566 | 1984 | 1.920 | 2012 | 1.643 |
| 1957 | 1.882 | 1985 | 1.038 | | |
| 1958 | 1.298 | 1986 | 1.234 | | |

A seleção da distribuição de probabilidades a ser empregada na análise desses dados foi realizada seguindo as recomendações contidas no “Guia para Cálculo de Cheia de Projeto de Vertedouro” (MME-ELETROBRÁS, 1987) que preconiza a utilização da distribuição de Gumbel para séries com assimetria inferior a 1,5, caso dos dados em análise, conforme se pode constatar da inspeção da Tabela 5.9, que relaciona seus principais parâmetros estatísticos.

Tabela 5.9 - Parâmetros estatísticos da série de vazões máximas anuais do posto Anta

| | |
|----------------------------|-------|
| Número de eventos | 82 |
| Máxima (m ³ /s) | 4.881 |
| Média (m ³ /s) | 2.026 |
| Mínima (m ³ /s) | 878 |
| Desvio padrão | 831 |
| Coefficiente de variação | 0,41 |
| Assimetria | 1,42 |

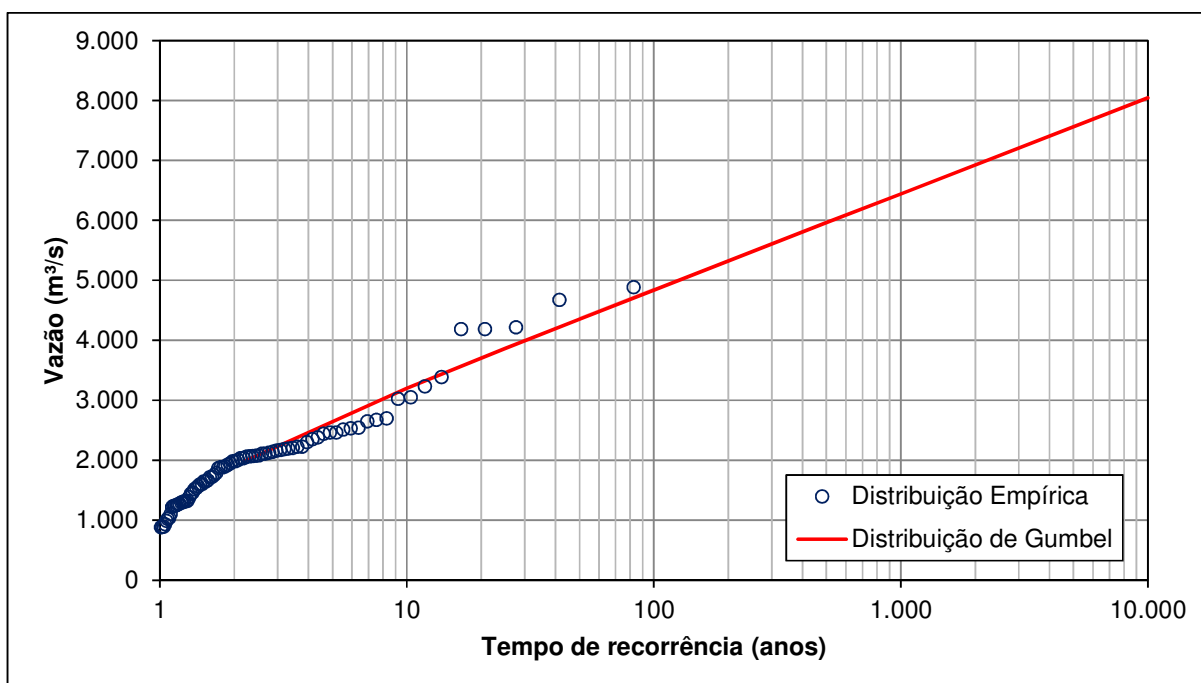
Para a avaliação do grau de aderência obtido entre a distribuição e a amostra, foi calculada a estatística para o teste de Kolmogorov-Smirnov, que reflete o maior desvio observado entre a probabilidade de ocorrência de cada valor amostral, calculada a partir da distribuição ajustada, e a probabilidade empírica do elemento dentro da própria amostra. A aplicação do teste, resumido no Quadro 3.3-3, indicou que, para a série de vazões analisada, a hipótese de adequação de ajuste ($D_{N_{CALC}} < D_{N_{0,05}}$) é aceita para um nível de significância de 5%.

Tabela 5.10 - Teste de Kolmogorov-Smirnov para a série de vazões máximas anuais

| | |
|-------------------|--------|
| Número de eventos | 82 |
| $D_{N_{0,05}}$ | 0,15 |
| $D_{N_{CALC}}$ | 0,0829 |

A Figura 5.14 permite avaliar visualmente a aderência dos pontos representativos dos dados observados à distribuição de Gumbel.

Figura 5.14 - Vazões máximas no rio Paraíba do Sul no local do posto fluviométrico Anta



5.1.5.2 Vazões Máximas na UHE Itaacara I

A partir da relação entre as áreas de drenagem do posto fluviométrico Anta e do aproveitamento, foram estimadas as vazões de cheias máximas anuais associadas a vários tempos de recorrência para a UHE Itaacara I.

Como o dimensionamento das estruturas da UHE Itaacara I é realizado com vazões máximas instantâneas, faz-se necessário obtê-las a partir das vazões médias diárias máximas, o que pode ser efetuado a partir da equação de Fuller, conforme apresentada a seguir. Os resultados são apresentados na Tabela 5.11.

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

Na qual:

Q_{INST} – vazão máxima instantânea (m³/s)

Q_{MED} – vazão máxima média diária (m³/s)

A – área de drenagem da bacia hidrográfica no local do aproveitamento (km²)

Tabela 5.11 - Vazões de cheia na UHE Itaocara I

| Tempo de recorrência (anos) | Posto Anta | UHE Itaocara I | |
|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| | Média diária (m ³ /s) | Média diária (m ³ /s) | Instantânea (m ³ /s) |
| 2,2 | 1.986 | 2.188 | 2.443 |
| 10 | 3.203 | 3.528 | 3.939 |
| 25 | 3.862 | 4.254 | 4.750 |
| 50 | 4.351 | 4.793 | 5.352 |
| 100 | 4.837 | 5.327 | 5.949 |
| 500 | 5.959 | 6.563 | 7.328 |
| 1.000 | 6.441 | 7.094 | 7.922 |
| 10.000 | 8.043 | 8.858 | 9.891 |

Embora o presente estudo tenha realizado a atualização das vazões máximas no local da UHE Itaocara I, vale destacar que a Resolução ANA nº. 1.404 de 26 de novembro de 2013 aprovou os estudos apresentados no EDH para o citado aproveitamento no qual foi definida a vazão decamilenar de 9.530 m³/s.

5.1.5.3 Vazão Máxima Provável

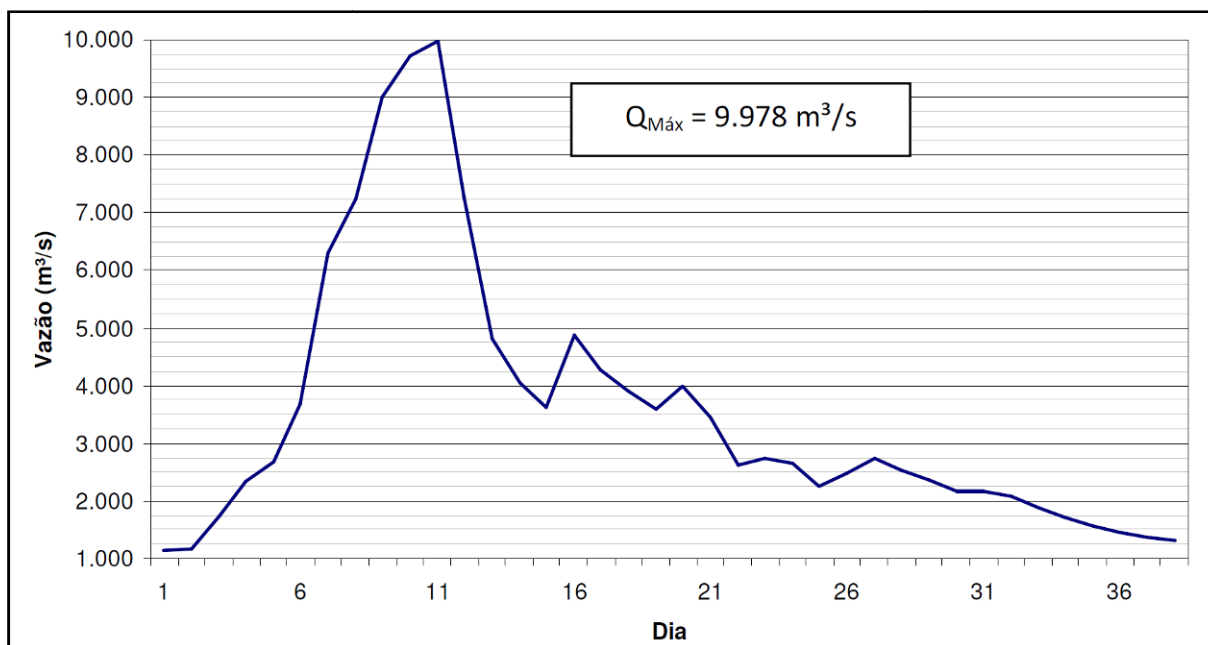
Conforme descrito nos Estudos de Disponibilidade Hídrica da UHE Itaocara I (Hicon, 2013), durante a elaboração dos Estudos de Viabilidade da UHE Itaocara I foram desenvolvidos estudos visando a estimativa da vazão máxima provável, sendo que as análises efetuadas foram baseadas em trabalhos anteriores, desenvolvidos para a UHE Ilha dos Pombos. Consistiram na determinação da Precipitação Máxima Provável (PMP), na simulação hidrológica da bacia e na determinação da Vazão Máxima Provável (VMP) propriamente dita.

Os estudos de PMP foram baseados nos dados diários de 164 estações pluviométricas localizadas na área de drenagem da bacia e nas regiões adjacentes e desenvolvidos através de análises das chuvas médias na bacia, definindo-se os maiores temporais, que por ordem decrescente de magnitude, ocorreram em 1966-1967, 1946-1947 e 1985-1986.

Para a obtenção da VMP foi feita a simulação hidrológica da bacia, utilizando-se o modelo SSARR para realização do balanço hídrico e propagação de vazões entre os locais selecionados. Neste estudo foi necessária a reconstituição da série de vazões naturais, tendo em vista os aproveitamentos existentes. A simulação foi feita para o período de setembro de 1983 a maio de 1987 e envolveu toda a bacia hidrográfica até a UHE Ilha dos Pombos.

Pela semelhança entre as áreas de drenagem admitiu-se a simulação efetuada em Ilha dos Pombos, adotando-se para Itaocara as mesmas distribuições espacial e temporal da PMP. Como hidrógrafa de projeto adotou-se a vazão máxima provável correspondente à PMP de 5 dias de duração, conforme Figura 5.15 a seguir.

Figura 5.15 - Hidrograma da vazão máxima provável na UHE Itacara I (Fonte: Hicon, 2013)



5.1.5.4 Vazões Máximas de Estiagem

Visando subsidiar os dimensionamentos referentes ao desvio do rio, foram realizados estudos estatísticos que seguiram basicamente o método anteriormente descrito, exceto no que se refere a:

- Definição do período para seleção das vazões máximas observadas, que, neste caso, é limitado aos meses entre abril e setembro, inclusive;
- Cálculo das vazões máximas instantâneas utilizando a fórmula de Fuller, não realizado, já que em períodos de recessão não necessariamente esses dados estão associados a picos de cheias.

As vazões médias diárias máximas ocorridas entre épocas de cheia subsequentes estão relacionadas na Tabela 5.12. Como pode ser observado na Tabela 5.13, a série tem assimetria superior a 1,5, tendo sido ajustada a distribuição Exponencial de Dois Parâmetros. E a Figura 5.16 permite avaliar visualmente a aderência dos pontos representativos dos dados observados à distribuição Exponencial de Dois Parâmetros.

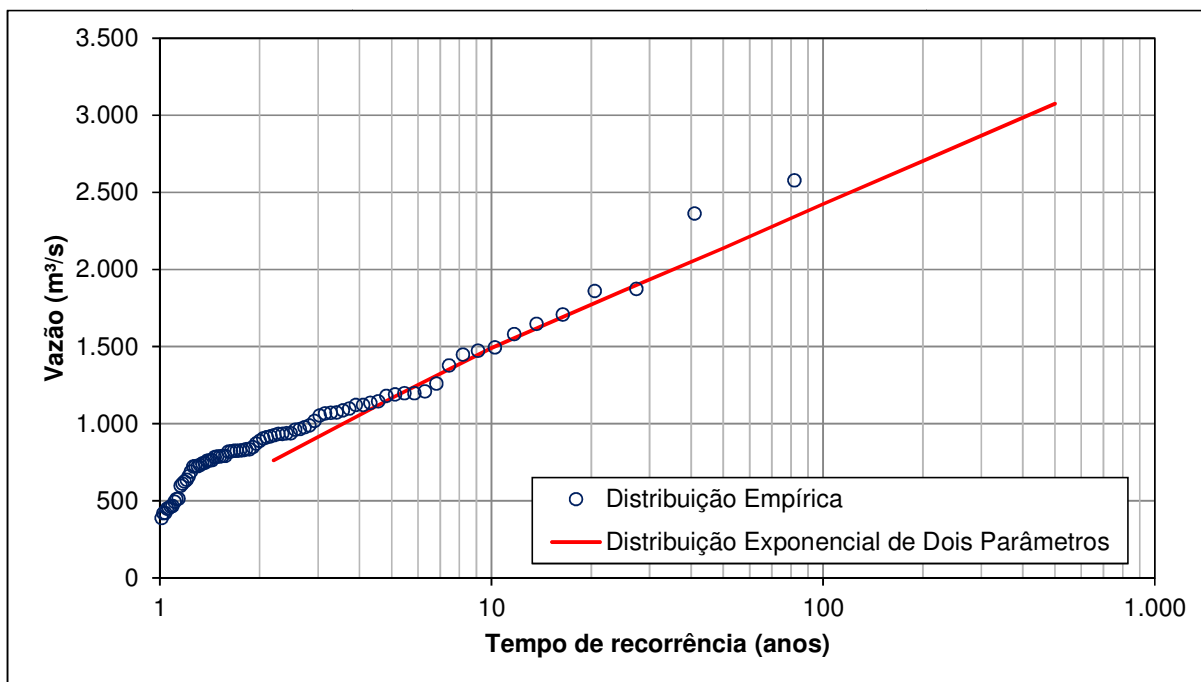
Tabela 5.12 - Vazões médias diárias máximas no posto fluviométrico Anta - Estiagem

| Ano | Máxima (m ³ /s) | Ano | Máxima (m ³ /s) | Ano | Máxima (m ³ /s) |
|------|----------------------------|------|----------------------------|------|----------------------------|
| 1931 | 1.580 | 1959 | 1.209 | 1987 | 1.708 |
| 1932 | 824 | 1960 | 722 | 1988 | 1.179 |
| 1933 | 452 | 1961 | 1.120 | 1989 | 1.053 |
| 1934 | 624 | 1962 | 636 | 1990 | 724 |
| 1935 | 965 | 1963 | 420 | 1991 | 2.363 |
| 1936 | 1.494 | 1964 | 418 | 1992 | 987 |
| 1937 | 917 | 1965 | 1.016 | 1993 | 932 |
| 1938 | 790 | 1966 | 820 | 1994 | 960 |
| 1939 | 1.098 | 1967 | 1.473 | 1995 | 834 |
| 1940 | 732 | 1968 | 511 | 1996 | 1.646 |
| 1941 | 786 | 1969 | 492 | 1997 | 1.189 |
| 1942 | 786 | 1970 | 817 | 1998 | 1.086 |
| 1943 | 926 | 1971 | 783 | 1999 | 888 |
| 1944 | 975 | 1972 | 611 | 2000 | 1.120 |
| 1945 | 1.197 | 1973 | 659 | 2001 | 791 |
| 1946 | 912 | 1974 | 741 | 2002 | 760 |
| 1947 | 1.377 | 1975 | 448 | 2003 | 462 |
| 1948 | 1.065 | 1976 | 1.448 | 2004 | 762 |
| 1949 | 689 | 1977 | 724 | 2005 | 937 |
| 1950 | 1.071 | 1978 | 596 | 2006 | - |
| 1951 | 1.197 | 1979 | 513 | 2007 | 834 |
| 1952 | 903 | 1980 | 1.070 | 2008 | 828 |
| 1953 | 824 | 1981 | 936 | 2009 | 933 |
| 1954 | 759 | 1982 | 846 | 2010 | 1.859 |
| 1955 | 388 | 1983 | 2.578 | 2011 | 1.260 |
| 1956 | 465 | 1984 | 1.134 | 2012 | 1.145 |
| 1957 | 1.874 | 1985 | 871 | | |
| 1958 | 745 | 1986 | 826 | | |

Tabela 5.13 - Parâmetros estatísticos da série de vazões diárias máximas do posto Anta - Estiagem

| | |
|----------------------------|-------|
| Número de eventos | 81 |
| Máxima (m ³ /s) | 2.578 |
| Média (m ³ /s) | 964 |
| Mínima (m ³ /s) | 388 |
| Desvio padrão | 405 |
| Coefficiente de variação | 0,42 |
| Assimetria | 1,59 |

Figura 5.16 - Vazões máximas no rio Paraíba do Sul no local do posto fluviométrico Anta - Estiagem



A Tabela 5.14 relaciona as vazões máximas de estiagem estimadas para os tempos de recorrência de interesse para o posto e para o aproveitamento.

Tabela 5.14 - Vazões máximas no período de estiagem

| Tempo de recorrência (anos) | Posto Anta (m ³ /s) | UHE Itaocara I (m ³ /s) |
|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| 2,2 | 762 | 2.188 |
| 5 | 1.167 | 3.528 |
| 10 | 1.491 | 4.254 |
| 25 | 1.862 | 4.793 |
| 50 | 2.139 | 5.327 |
| 100 | 2.424 | 6.563 |
| 200 | 2.703 | 7.094 |
| 500 | 3.075 | 8.858 |

5.1.6 Vazões Mínimas

Este item apresenta a síntese dos estudos realizados durante o Projeto Básico (PCE, 2009) e rerepresentados no Estudo de Disponibilidade Hídrica da UHE Itaocara (Hicon, 2013) para a definição das vazões mínimas, especialmente aquelas correspondentes a média de sete dias consecutivos e 10 anos de retorno ($Q_{7,10}$) do aproveitamento. Esses procedimentos consistiram na coleta e análise dos seguintes estudos sobre o tema:

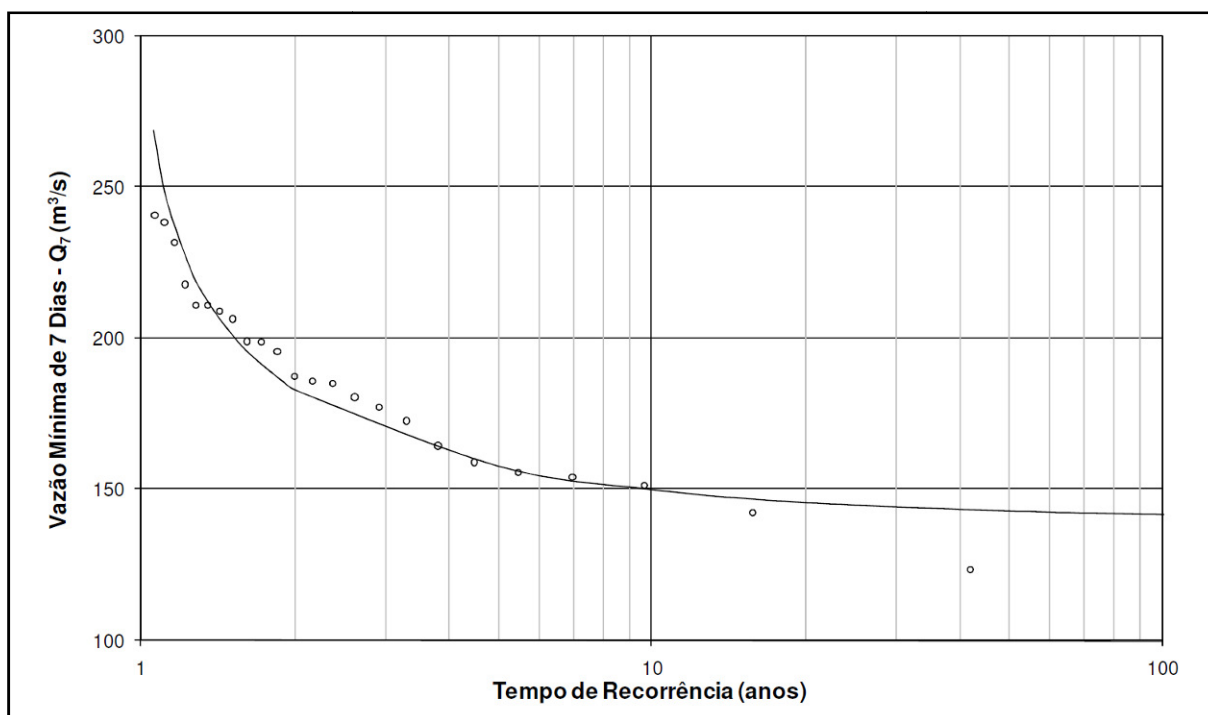
- Estudo de Regionalização de Vazões da Sub-Bacia 58 (Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Junho de 2002);
- Balanço entre Disponibilidade e Demandas Futuras dos Recursos Hídricos, em Quantidade e Qualidade, com Indicação de Conflitos Potenciais, do Plano de Recursos Hídricos para a Fase Inicial da Cobrança na Bacia do Rio Paraíba do Sul (Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia COPPE, 2002).

Os estudos desenvolvidos pela CPRM incluíram o ajustamento das distribuições teóricas de Weibull e Gumbel às vazões médias de sete dias consecutivos, mínimas anuais (Q7), de todas as estações pré-selecionadas com mais de cinco anos de dados, sendo que para a grande maioria dessas estações a distribuição que melhor se ajustou foi a de Weibull.

Foram analisadas as regressões das vazões Q7, primeiramente com as áreas de drenagem e em seguida acrescentando-se as precipitações médias. No caso da sub-bacia 58, situada entre Barra do Piraí e a foz do rio Paraíba do Sul, foram determinadas as equações regionais válidas para áreas de drenagem entre 17.645 e 55.450 km².

O valor da área de drenagem da UHE Itaocara ($A = 33.680 \text{ km}^2$) foi aplicado nas equações desenvolvidas, com o objetivo de estimar as vazões mínimas com sete dias de duração (Q7). A Figura 5.17 apresenta o gráfico de distribuição de frequência de Weibull para o local do aproveitamento, transferido pela relação entre áreas de drenagem, o qual apresenta o valor da $Q_{7,10}$ de $150 \text{ m}^3/\text{s}$.

Figura 5.17 - Frequência de vazões médias de sete dias no rio Paraíba do Sul no local da UHE Itaocara I



5.1.7 Curvas-Chave Naturais

No traçado dessas curvas foram utilizados os dados disponíveis de descarga líquida dos postos fluviométricos locais, inclusive aqueles medidos especificamente para esta fase dos estudos. Além disso, foram empregados, sempre que disponíveis, dados topobatimétricos visando sua extrapolação.

Os dados em questão, assim como os dados de nível d'água observados no âmbito deste trabalho, foram objeto de análise de consistência, utilizando-se técnicas de correlação e traçados de fluviogramas. Nos itens seguintes é explicado o procedimento adotado para cada posto de interesse aos estudos.

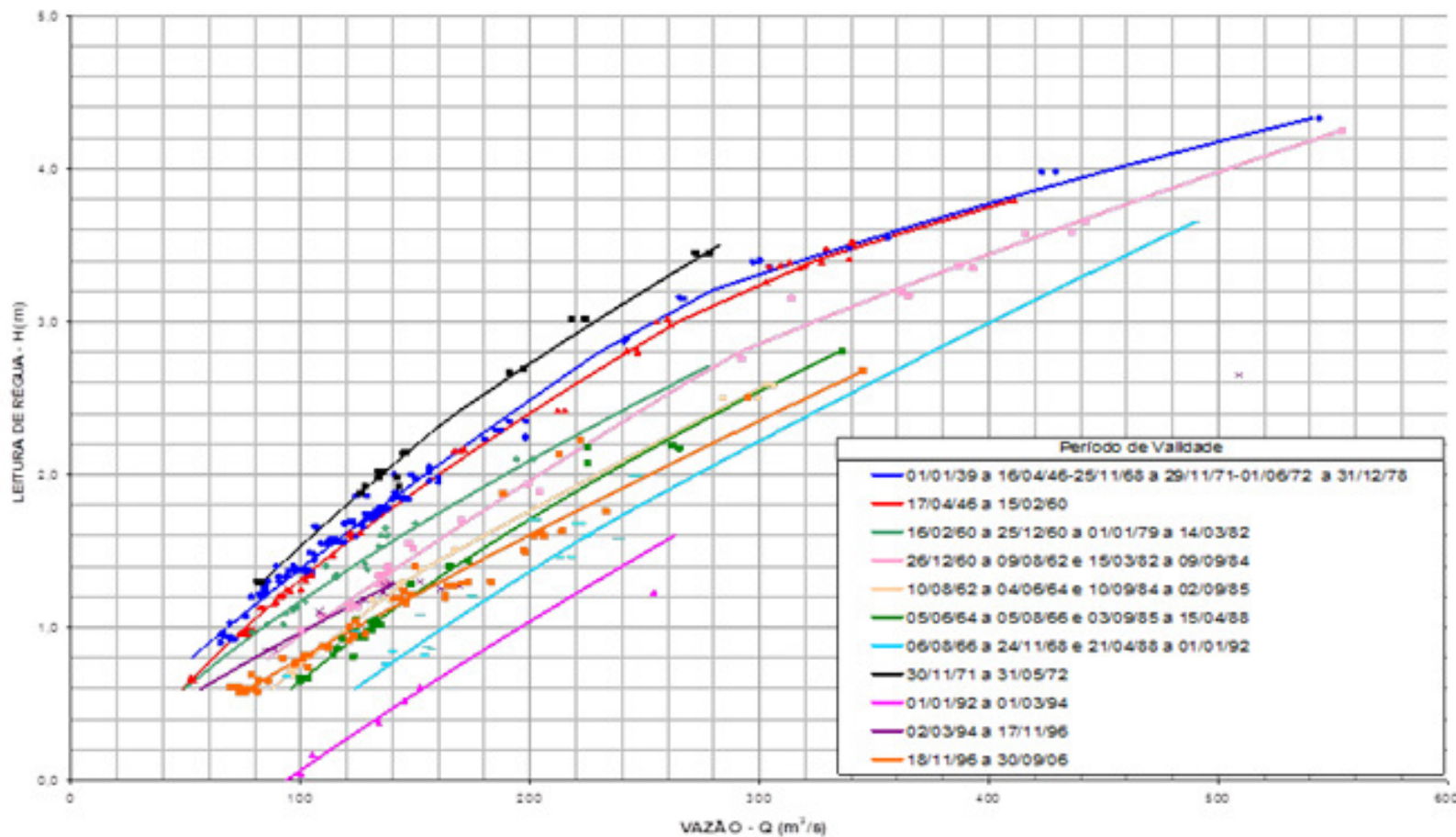
5.1.7.1 Posto Pindamonhangaba

A curva-chave desse posto não foi disponibilizada pela ANA. Sendo assim, de posse do resumo de descargas líquidas, das leituras de régua observadas e das vazões diárias calculadas disponíveis no Hidroweb, plotou-se em gráfico os pares “vazão calculada – leitura de régua observada”, identificando assim, os períodos de validade para cada uma das 21 (vinte e uma) tabelas de calibragem identificadas para esse posto.

Foi realizada uma análise de consistência desses dados, onde se verificou, em algumas tabelas que havia sobreposição de pares “vazão calculada – leitura de régua observada” para períodos subsequentes. Com isso, ajustaram-se curvas-chave que agrupassem os períodos comuns dessas tabelas.

Na Figura 5.18, apresentada na página seguinte, encontram-se as 11 (onze) curvas-chaves ajustadas para esse posto.

Figura 5.18 - Curvas-Chave no Posto Pindamonhangaba



Na Tabela 5.15 estão listadas as equações das curvas-chave ajustadas para esse posto que foram empregadas para o cálculo de vazões máximas mensais, mesmo para níveis d'água superiores ao do seu limite de validade (extrapolação logarítmica).

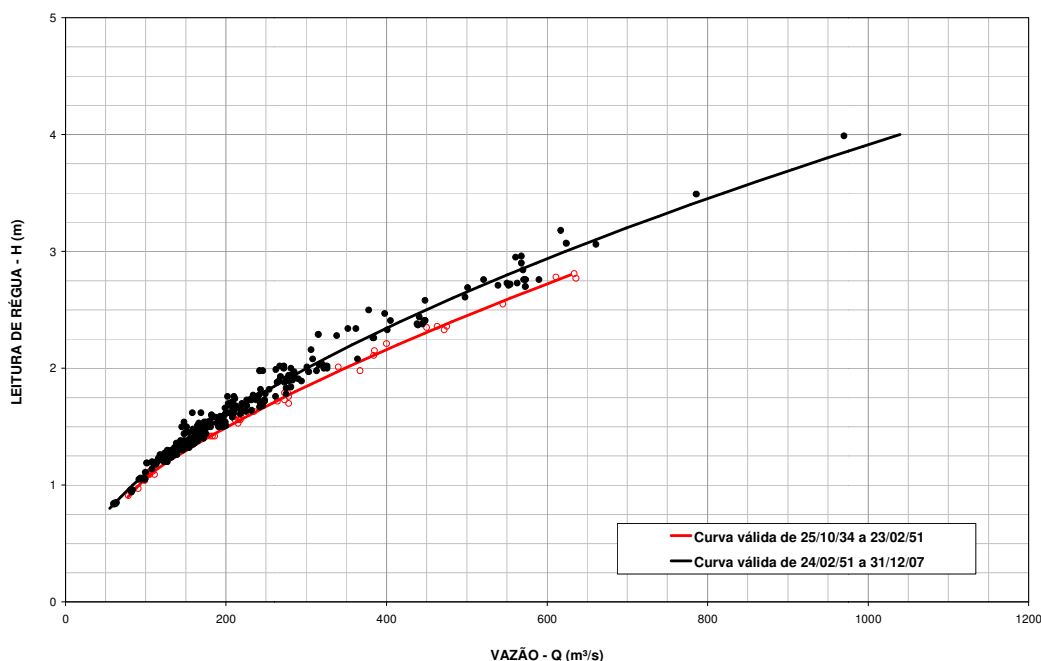
Tabela 5.15 - Equações das Curvas-Chave Ajustadas para o Posto Pindamonhangaba

| Período de validade | Equações | Coefficiente de correlação |
|---------------------|--|--|
| 01/01/39 a 16/04/46 | $Q = 67,19684 \times (H + 0,01)^{1,19148}$; para $H \leq 3,1$ m | 0,9949 |
| 25/11/68 a 29/11/71 | $Q = 21,70291 \times H^{2,19453}$; para $H > 3,1$ m | 0,9956 |
| 01/06/72 a 31/12/78 | | |
| 17/04/46 a 15/02/60 | $Q = 36,8 \times (H + 0,6)^{1,54}$; para $H \leq 3,24$ m | 0,9972 |
| | $Q = 16,4 \times (H + 0,25)^{2,305}$; para $H > 3,24$ m | 0,9924 |
| 16/02/60 a 25/12/60 | $Q = 57,5 \times (H + 0,3)^{1,43}$; para $H \leq 2,71$ m | 0,9922 |
| 01/01/79 a 14/03/82 | | |
| 26/12/60 a 09/08/62 | $Q = 76 \times (H + 0,31)^{1,18}$; para $H \leq 2,78$ m | 0,9871 |
| | 15/03/82 a 09/09/84 | $Q = 59,76791 \times H^{1,53846}$; para $H > 2,78$ m |
| 10/08/62 a 04/06/64 | $Q = 70 \times (H + 0,62)^{1,12}$; para $H \leq 1,35$ m | 0,9948 |
| | 10/09/84 a 02/09/85 | $Q = 107,1719 \times (H + 0,01)^{1,09009}$; para $H > 1,35$ m |
| 05/06/64 a 05/08/66 | $Q = 56,97497 \times (H + 0,9)^{1,28}$; para $H \leq 1,1$ m | 0,9781 |
| | 03/09/85 a 15/04/88 | $Q = 26 \times (H + 1,5)^{1,75}$; para $H > 1,1$ m |
| 06/08/66 a 24/11/68 | $Q = 56 \times (H + 1,2)^{1,35}$; para $H \leq 1,68$ m | 0,9932 |
| | 21/04/88 a 01/01/92 | $Q = 80 \times (H + 0,71)^{1,23}$; para $H > 1,68$ m |
| 30/11/71 a 31/05/72 | $Q = 50,09696 \times (H + 0,2)^{1,26}$; para $H \leq 2,35$ m | 0,9938 |
| | $Q = 49,62521 \times (H + 0,01)^{1,38495}$; para $H > 2,35$ m | 0,9973 |
| 01/01/92 a 01/03/94 | $Q = 71 \times (H + 1,25)^{1,25}$; para $H \leq 1,6$ m | 0,9334 |
| 02/03/94 a 17/11/96 | $Q = 104 \times H^{1,19}$; para $H \leq 1,29$ m | 0,9837 |
| 18/11/96 a 30/09/06 | $Q = 100,1978 \times (H + 0,2)^{1,17}$; para $H \leq 2,68$ m | 0,9959 |

5.1.7.2 Posto Queluz

A ANA disponibilizou para o posto Queluz, duas tabelas e duas equações que representavam 4(quatro) curvas-chave para o período entre 1.934 e 2.005. Após a análise de consistência desses dados, verificou-se que para o período de medição entre 25/10/1934 e 19/12/1945, representado por tabela, houve a necessidade de ser ajustada uma curva com equação potencial para possibilitar a extrapolação e subsidiar o estudo de vazões máximas. Os demais períodos de medições de descarga líquida (11/03/1.951 a 06/12/1.987, 22/02/1.988 a 19/06/1.995 e 12/09/1.995 a 14/07/2.005) apresentavam grandes desvios nos valores médios e altos de vazões. Sendo assim, ajustou-se uma única curva abrangendo esses períodos e incluindo medições do período de 23/07/2.006 a 27/07/2.007. A Figura 5.19 mostra as curvas-chaves definidas para esse posto.

Figura 5.19 - Curvas-Chaves no Posto Queluz
Período: 25/10/1934 a 23/02/1951 e 24/02/1951 a 31/12/2007



As equações das curvas-chaves ajustadas para esse posto estão apresentadas abaixo:

- Para o período de 25/10/1.934 a 23/02/1.951:

$$Q = 90,413 \times (H + 0,01)^{1,5605}; \text{ para } 0,9 \leq H \leq 1,12$$

Coeficiente de Correlação = 0,9585

$$Q = 170,8067 \times (H - 0,38)^{1,4765}; \text{ para } 1,12 < H \leq 2,8$$

Coeficiente de Correlação = 0,9977

- Para o período de 24/02/1.951 a 31/12/2.007:

$$Q = 95,48326 \times (H - 0,07)^{1,7446}; \text{ para } 0,8 \leq H \leq 4,00$$

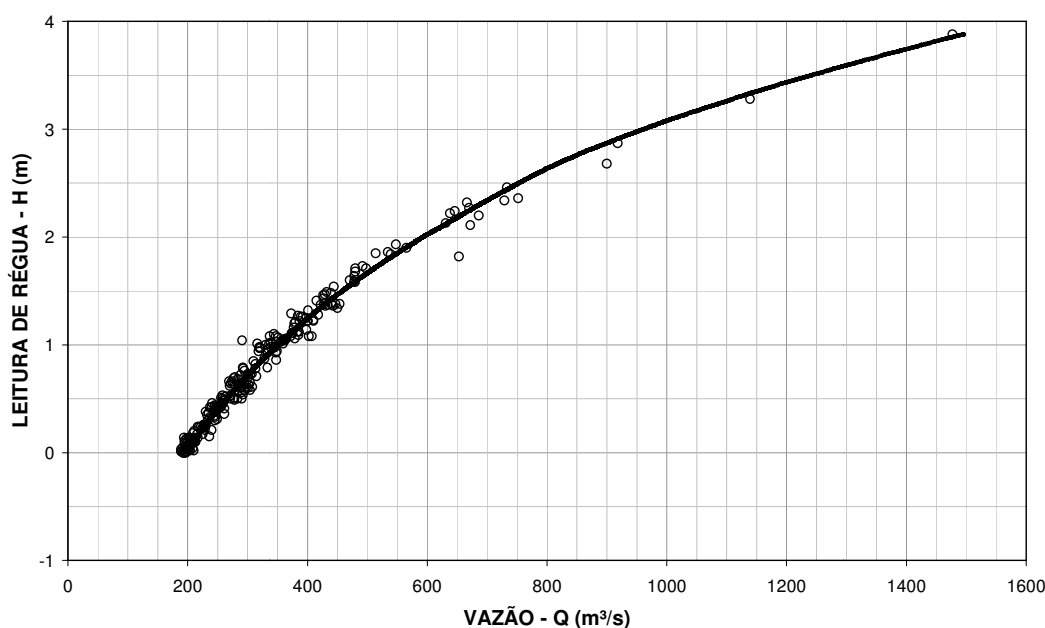
Coeficiente de Correlação = 0,9905

Essas equações foram empregadas para o cálculo de vazões máximas mensais, mesmo para níveis d'água superiores ao do seu limite de validade (extrapolação logarítmica).

5.1.7.3 Posto Anta

A curva-chave desse posto foi obtida através da tabulação dos dados de leitura de régua e vazões médias diárias. Dados estes disponibilizados no Hidroweb e que se apresentam consistentes com as vazões medidas, conforme mostrado na Figura 5.20.

**Figura 5.20 - Curva-Chave no Posto Anta
Período: 01/10/1930 a 09/09/1969**



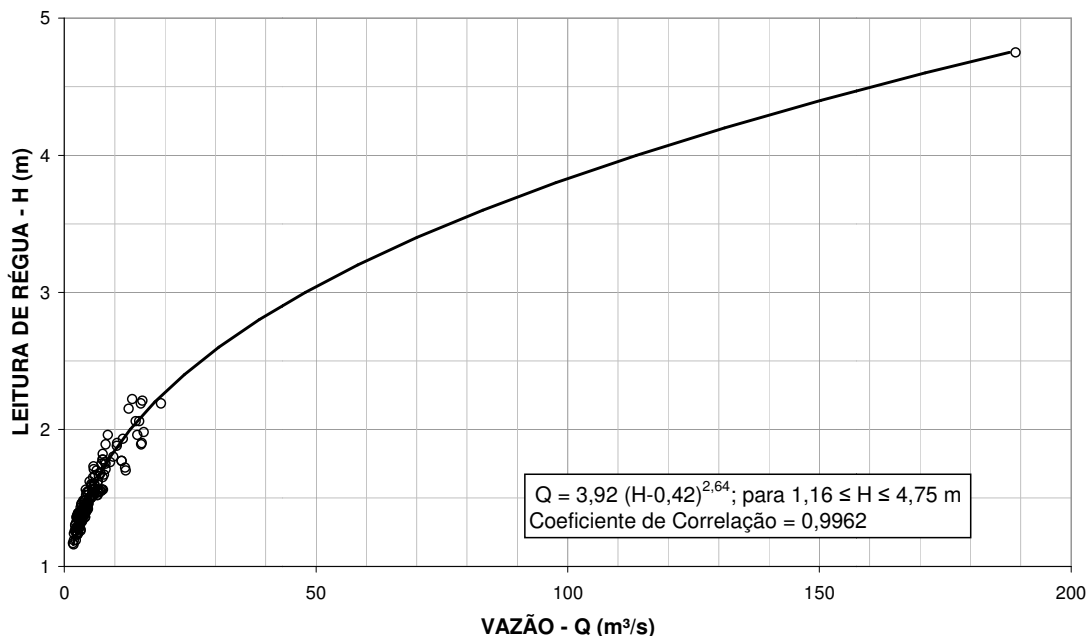
Foi verificado que a tabulação realizada é representativa de lei logarítmica, ou seja, os dados de vazões máximas do Hidroweb, determinados pela extrapolação dessa lei, podem ser considerados adequados e assim, foram adotados no presente estudo.

5.1.7.4 Posto Fazenda da Barra (Pirapetinga)

Esse posto que é o único que não está localizado no rio Paraíba do Sul, situa-se no rio Pirapetinga que é seu afluente na área do reservatório da UHE Itaocara I.

A análise da curva disponibilizada pela ANA permitiu constatar que a parte superior da curva não considerava a maior vazão medida do histórico (189 m³/s em 02/02/1.979). Por isso, ajustou-se uma nova curva-chave para esse posto, apresentada na Figura 5.21, considerada válida para todo o período de operação do posto.

**Figura 5.21 - Curva-Chave no Posto Fazenda da Barra (Pirapetinga)
Período: 07/07/1.960 a 18/05/2.008**



5.1.7.5 Posto Itacara II Montante Formiga

As vazões desse posto foram medidas, aproximadamente, 250 m a jusante dele, na seção fluviométrica S-8.1. Na Tabela 5.16 encontra-se o resumo das medições.

Tabela 5.16 - Resumo de Medições de Vazão do Posto Itacara II Montante Formiga

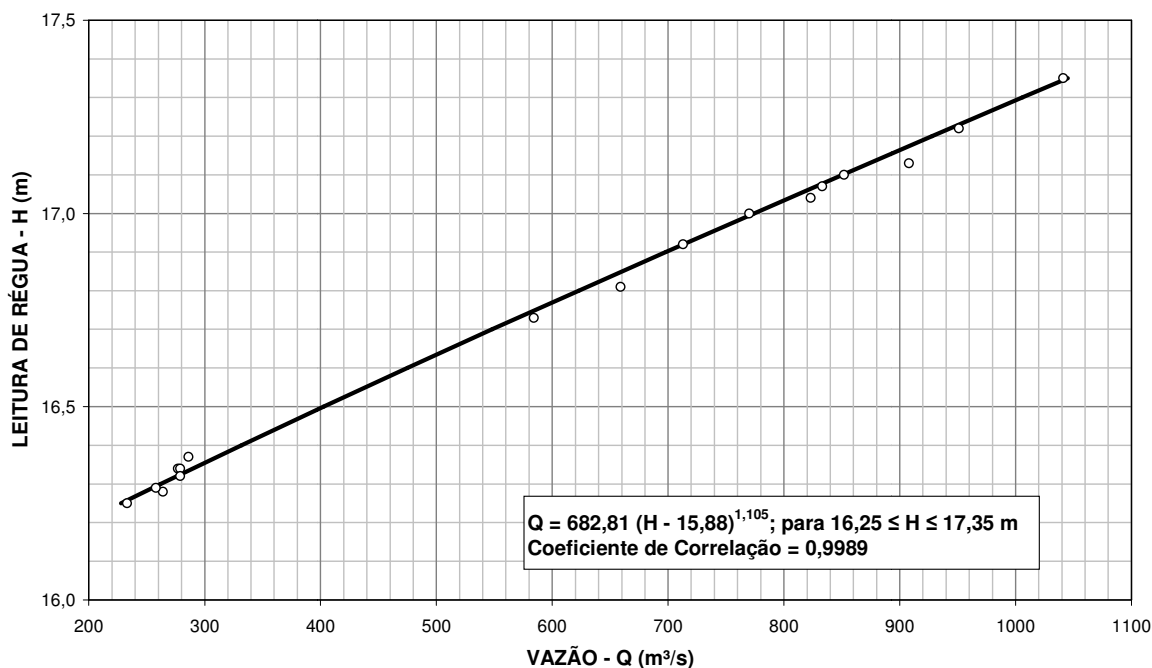
| Nº | Data | Área (m²) | Largura (m) | Profundidade Média (m) | Velocidade (m/s) | Nível d'Água (m) | Vazão (m³/s) |
|----|------------|-----------|-------------|------------------------|------------------|------------------|--------------|
| 1 | 3/3/2.009 | 767 | 112 | 6,82 | 1,36 | 17,3 | 1041 |
| 2 | 3/3/2.009 | 752 | 112 | 6,71 | 1,26 | 17,2 | 951 |
| 3 | 4/3/2.009 | 738 | 112 | 6,59 | 1,13 | 17,1 | 833 |
| 4 | 10/3/2.009 | 715 | 111 | 6,44 | 0,998 | 16,9 | 713 |
| 5 | 11/3/2.009 | 726 | 111 | 6,54 | 1,06 | 17,0 | 770 |
| 6 | 24/3/2.009 | 695 | 111 | 6,28 | 0,840 | 16,7 | 584 |
| 7 | 24/3/2.009 | 704 | 111 | 6,34 | 0,936 | 16,8 | 659 |
| 8 | 2/4/2.009 | 741 | 112 | 6,62 | 1,11 | 17,1 | 852 |
| 9 | 8/4/2.009 | 745 | 112 | 6,63 | 1,22 | 17,1 | 908 |
| 10 | 10/4/2.009 | 732 | 112 | 6,54 | 1,12 | 17,0 | 823 |

Tabela 5.16 (Continuação)
Resumo de Medições de Vazão do Posto Itaocara II Montante Formiga

| Nº | Data | Área (m ²) | Largura (m) | Profundidade Média (m) | Velocidade (m/s) | Nível d'Água (m) | Vazão (m ³ /s) |
|----|------------|------------------------|-------------|------------------------|------------------|------------------|---------------------------|
| 11 | 8/5/2.009 | 668 | 110 | 6,09 | 0,416 | 16,3 | 277 |
| 12 | 17/5/2.009 | 649 | 110 | 5,93 | 0,407 | 16,3 | 264 |
| 13 | 22/5/2.009 | 658 | 110 | 5,99 | 0,424 | 16,3 | 279 |
| 14 | 6/6/2.009 | 653 | 110 | 5,96 | 0,437 | 16,4 | 286 |
| 15 | 13/6/2.009 | 645 | 110 | 5,90 | 0,399 | 16,3 | 258 |
| 16 | 19/6/2.009 | 634 | 110 | 5,79 | 0,368 | 16,3 | 233 |
| 17 | 24/6/2.009 | 647 | 110 | 5,89 | 0,430 | 16,3 | 279 |

A partir dos pares “vazão - nível d’água” da tabela acima foi interpolada a curva-chave mostrada na Figura 5.22.

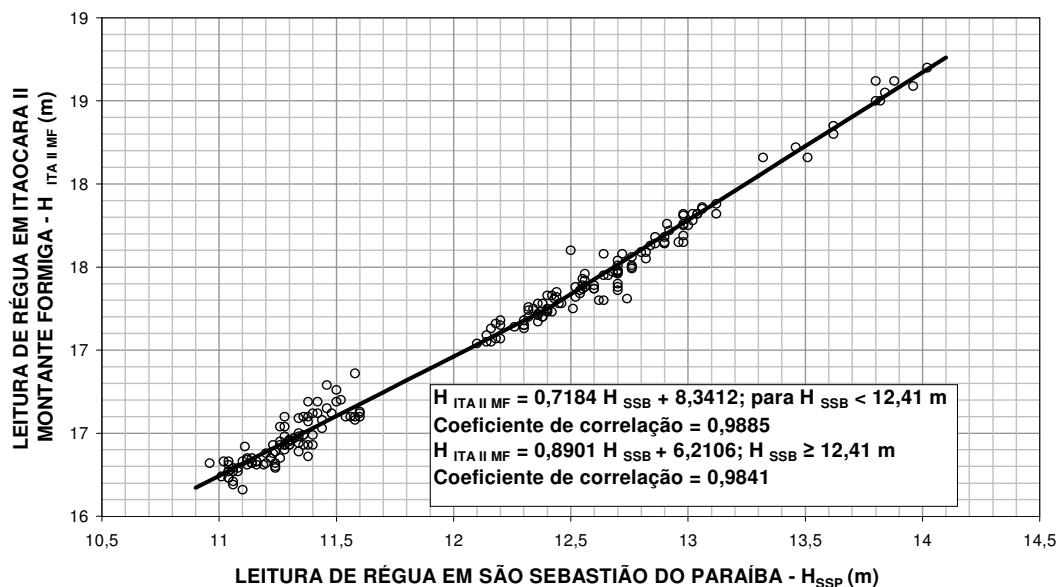
Figura 5.22 - Curva-Chave Interpolada do Posto Itaocara II Montante Formiga
Período: 03/03/2.009 a 24/06/2.009



Com a finalidade de extrapolar essa curva, procurou-se caracterizar a correspondente seção fluvial. Dessa forma, a batimetria dessa seção de medição foi obtida a partir do resumo de descarga líquida realizado no dia 03/03/2.009 que apresenta a maior medição de nível d'água (17,35 m). Acima desse nível, a topografia foi obtida a partir da restituição aerofotogramétrica realizada pela empresa LACTEC/Instituto de Tecnologia Desenvolvimento em julho de 2.009.

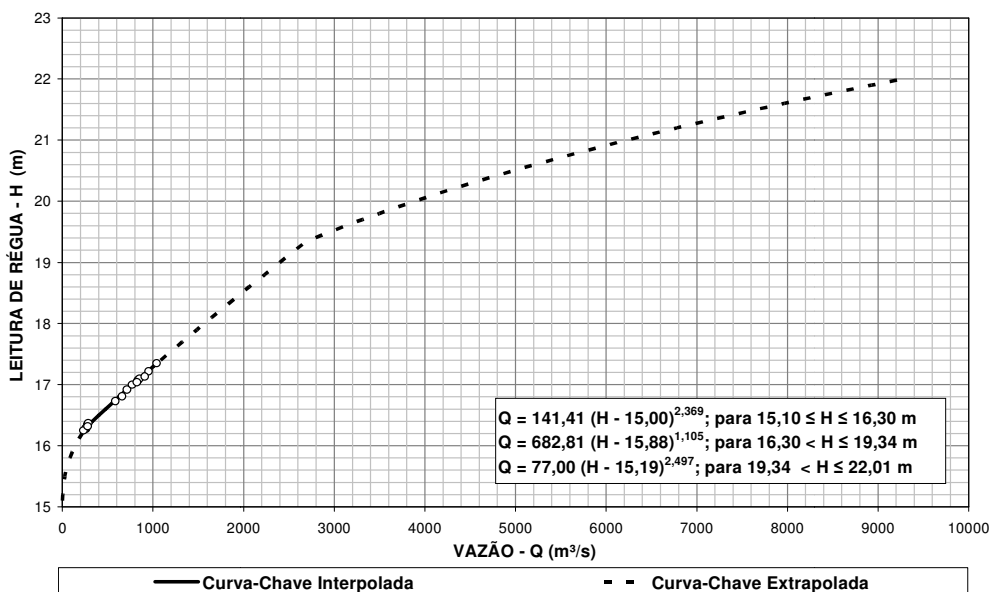
A aplicação dos "Métodos de Stevens e Área x Velocidade", contudo não possibilitaram a obtenção de uma extrapolação representativa da curva-chave para essa seção. Optou-se, então, por transferir a parte extrapolada da curva-chave de São Sebastião do Paraíba, apresentada no item 5.1.7.6 para esse local. Essa transferência foi realizada utilizando-se a correlação apresentada na Figura 5.23.

Figura 5.23 - Correlação entre Níveis d'Água dos Postos Itaocara II Montante Formiga e São Sebastião do Paraíba
Período: 18/01/2.009 a 03/06/2.009



A curva-chave estabelecida para esse posto está apresentada na Figura 5.24.

Figura 5.24 - Curva-Chave do Posto Itaocara II Montante Formiga



Nota: Cota do zero da régua, equivalente a 75,901 m, obtida a partir da cota de RN do posto, determinada pela empresa LSF Andrade e do nivelamento geométrico constante da sua ficha descritiva.

5.1.7.6 Posto Itaocara II Canal Esquerdo

Na Tabela 5.17, encontra-se o resumo das medições de vazões realizadas nesse posto, instalado junto ao eixo da futura UHE Itaocara II, na margem esquerda do rio e, na Figura 5.25, a curva interpolada com os pares “nível d’água x vazão”.

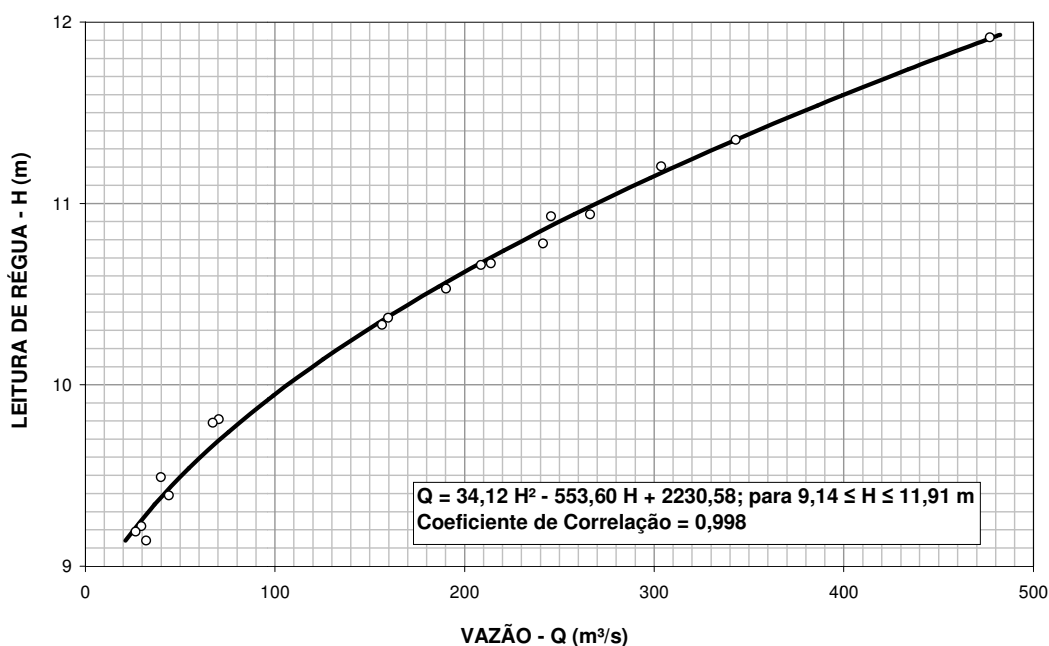
Tabela 5.17 -Resumo de Medições de Vazões do Posto Itaocara II Canal Esquerdo

| Nº | Data | Área (m ²) | Velocidade (m/s) | Nível d’Água (m) | Vazão (m ³ /s) |
|----|-----------|------------------------|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 25/1/2009 | 268 | 0,916 | 10,9 | 246 |
| 2 | 8/2/2009 | 306 | 0,992 | 11,2 | 304 |
| 3 | 11/2/2009 | 334 | 1,03 | 11,4 | 343 |
| 4 | 12/2/2009 | 405 | 1,18 | 11,9 | 477 |
| 5 | 20/2/2009 | 286 | 0,930 | 10,9 | 266 |
| 6 | 2/3/2009 | 262 | 0,796 | 10,7 | 209 |
| 7 | 20/3/2009 | 245 | 0,653 | 10,4 | 160 |
| 8 | 21/3/2009 | 241 | 0,649 | 10,3 | 156 |
| 9 | 29/3/2009 | 255 | 0,746 | 10,5 | 190 |

Tabela 5.17 (Continuação)
Resumo de Medições de Vazões do Posto Itaocara II Canal Esquerdo

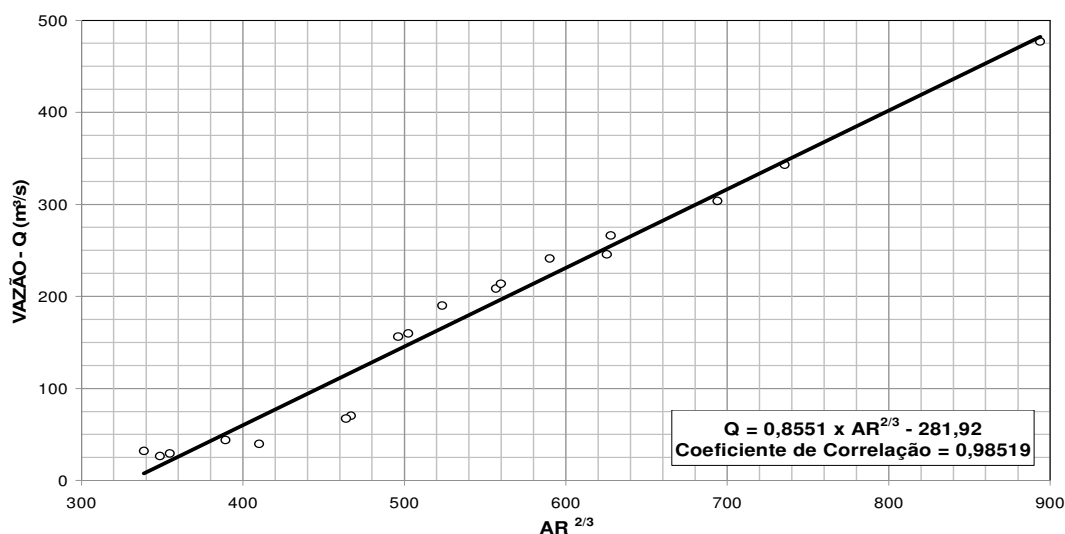
| Nº | Data | Área (m ²) | Velocidade (m/s) | Nível d'Água (m) | Vazão (m ³ /s) |
|----|-----------|------------------------|------------------|------------------|---------------------------|
| 10 | 29/3/2009 | 277 | 0,872 | 10,8 | 241 |
| 11 | 30/3/2009 | 268 | 0,798 | 10,7 | 214 |
| 12 | 7/4/2009 | 210 | 0,334 | 9,81 | 70,3 |
| 13 | 17/4/2009 | 207 | 0,326 | 9,79 | 67,3 |
| 14 | 24/4/2009 | 184 | 0,217 | 9,49 | 39,8 |
| 15 | 7/5/2009 | 182 | 0,241 | 9,39 | 44,0 |
| 16 | 22/5/2009 | 175 | 0,182 | 9,14 | 32,0 |
| 17 | 6/6/2009 | 168 | 0,176 | 9,22 | 29,5 |
| 18 | 13/6/2009 | 165 | 0,160 | 9,19 | 26,5 |

Figura 5.25 - Curva-Chave Interpolada do Posto Itaocara II Canal Esquerdo
Período: 25/01/2.009 a 13/06/2.009



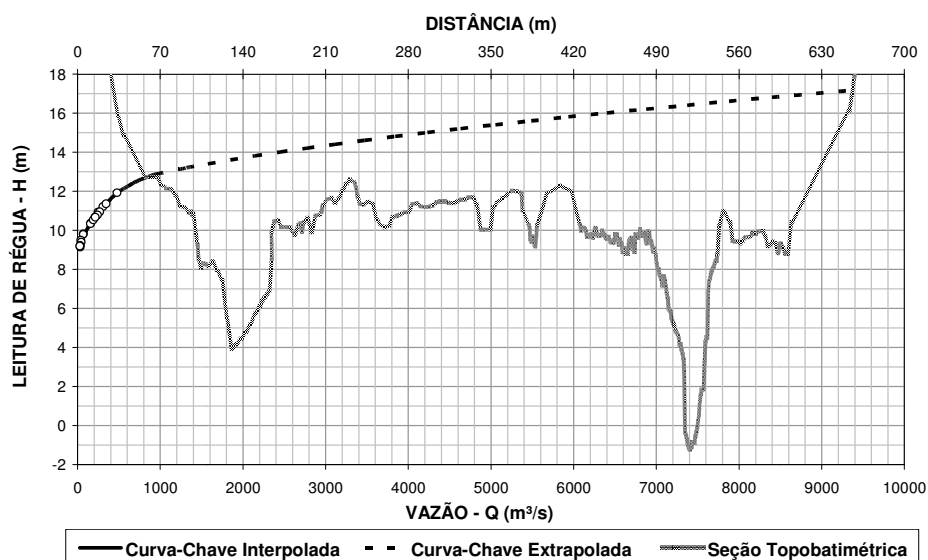
A extrapolação dessa curva-chave foi realizada considerando ausência de afluência de vazões pelo canal direito, representativa da situação com barramento implantado. Utilizou-se o “Método de Stevens”, calculando-se os valores de área molhada (A) e raio hidráulico (R), para cada nível d’água objeto de medição de vazão, bem como para níveis d’água a cada 0,20 m apresentado na Figura 5.26.

Figura 5.26 - Correlação entre Vazões e $AR^{2/3}$ do Posto Itaacara II Canal Esquerdo



A seção topobatimétrica utilizada para a extrapolação da curva-chave foi a S-8.7, localizada, aproximadamente, 20,0 m a montante da seção de réguas. Na Figura 5.27 encontra-se a seção transversal referente aos dois canais e a curva definida para esse posto.

Figura 5.27 - Curva-Chave e Seção Transversal do Rio Paraíba do Sul no Posto Itaacara II - Canal Esquerdo



Notas:

1. Cota do zero da régua, equivalente a 81,146 m, obtida a partir da cota de RN do posto, determinada pela empresa LSF Andrade e do nivelamento geométrico constante da sua ficha descritiva.
2. Vazão afluente ao canal esquerdo (canal direito represado a montante).

Abaixo, encontram-se as equações características da curva-chave para esse posto:

$$Q = 34,121521 H^2 - 553,60465 H + 2.230,5819$$

para $9,14 \leq H \leq 11,96$ m

$$Q = 332,07383 H^3 - 12.143,635 H^2 + 148,41598 \times 10^3 H - 605,62428 \times 10^3$$

para $11,96 < H \leq 13,20$ m

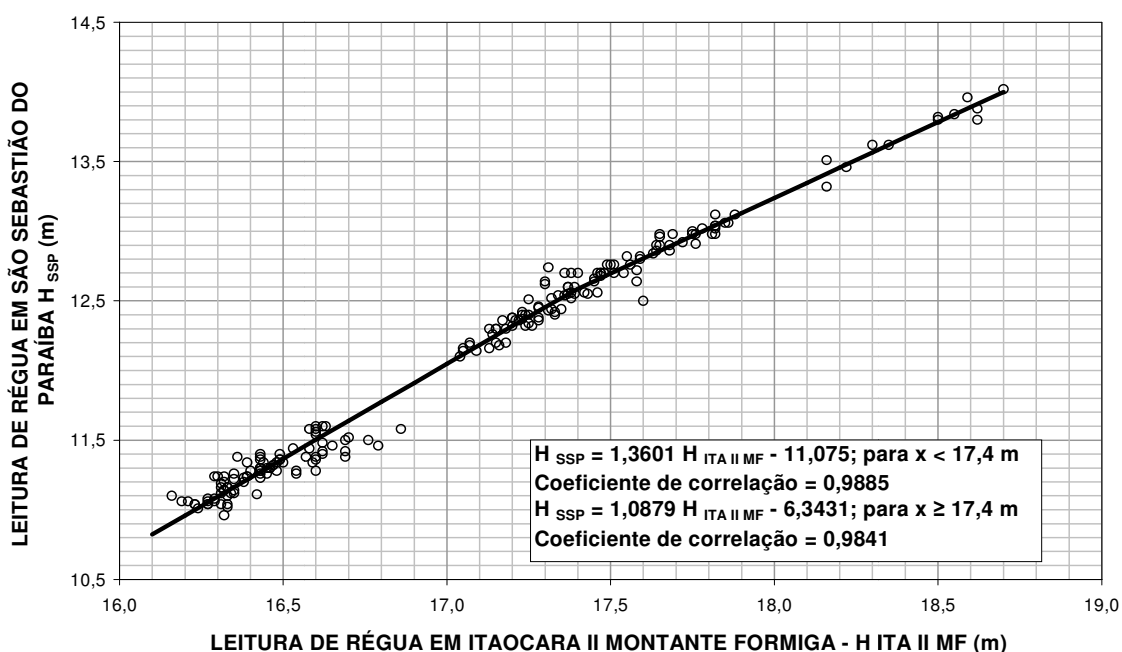
$$Q = - 4,0566607 H^3 + 376,41696 H^2 - 6.574,9051 H + 318,50873 \times 10^2$$

para $13,20 < H \leq 17,14$ m

5.1.7.7 Posto São Sebastião do Paraíba

Nesse posto não há medição de descarga líquida. Portanto para se obter sua curva-chave, foram transferidas as vazões medidas no posto Itaocara II Montante Formiga. Os níveis d'água correspondentes foram obtidos pela correlação mostrada na Figura 5.28.

Figura 5.28 - Correlação entre Níveis D'água dos Postos Itaocara II Montante Formiga e São Sebastião do Paraíba
Período: 18/01/2009 a 03/06/2009

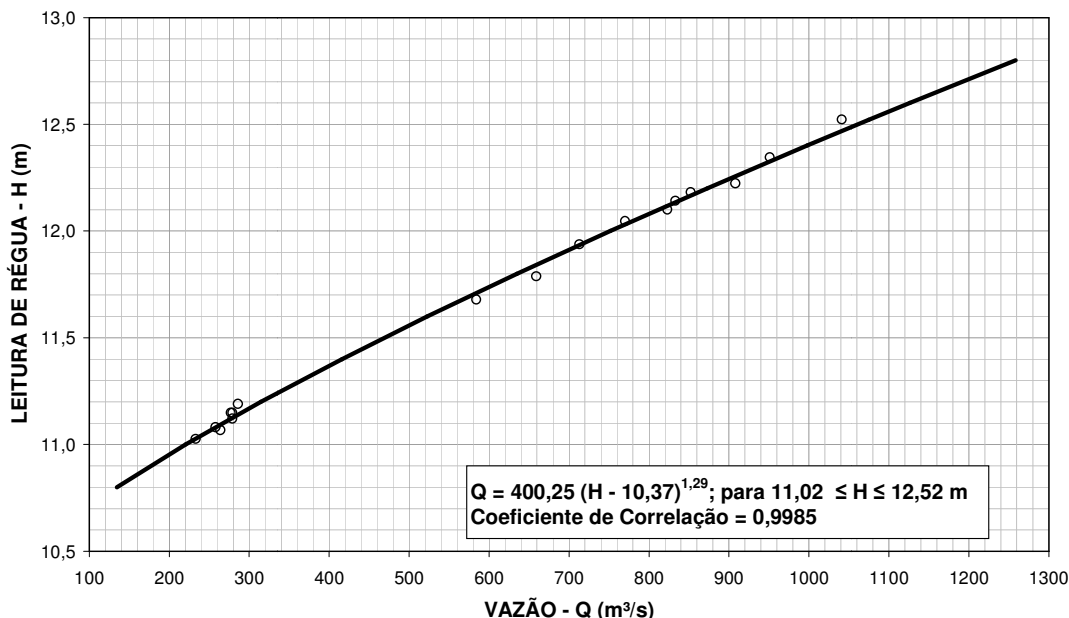


Na Tabela 5.18 são apresentadas as informações utilizadas para a interpolação da curva-chave nesse posto, ilustrada pela Figura 5.29.

Tabela 5.18 - Nível d'Água e Vazão do Posto São Sebastião do Paraíba

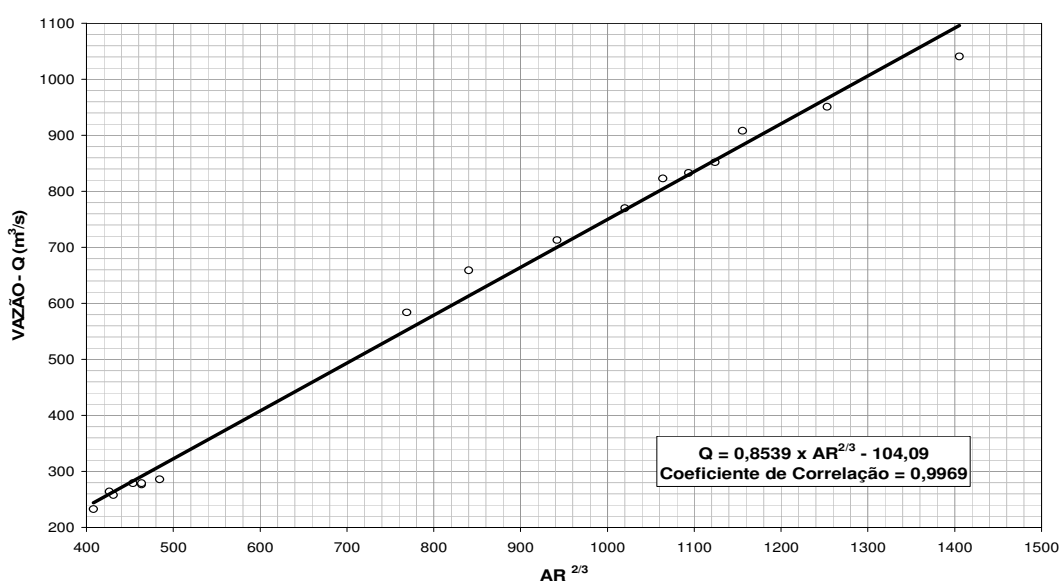
| Nº | Data | Nível d'Água (m) | Vazão (m ³ /s) |
|----|------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 3/3/2.009 | 12,5 | 1.041 |
| 2 | 3/3/2.009 | 12,3 | 951 |
| 3 | 4/3/2.009 | 12,1 | 833 |
| 4 | 10/3/2.009 | 11,9 | 713 |
| 5 | 11/3/2.009 | 12,0 | 770 |
| 6 | 24/3/2.009 | 11,7 | 584 |
| 7 | 24/3/2.009 | 11,8 | 659 |
| 8 | 2/4/2.009 | 12,2 | 852 |
| 9 | 8/4/2.009 | 12,2 | 908 |
| 10 | 10/4/2.009 | 12,1 | 823 |
| 11 | 8/5/2.009 | 11,1 | 277 |
| 12 | 17/5/2.009 | 11,1 | 264 |
| 13 | 22/5/2.009 | 11,1 | 279 |
| 14 | 6/6/2.009 | 11,2 | 286 |
| 15 | 13/6/2.009 | 11,1 | 258 |
| 16 | 19/6/2.009 | 11,0 | 233 |
| 17 | 24/6/2.009 | 11,1 | 279 |

**Figura 5.29 – Curva-Chave Interpolada do Posto São Sebastião do Paraíba
Período: 03/03/2009 a 24/06/2009**



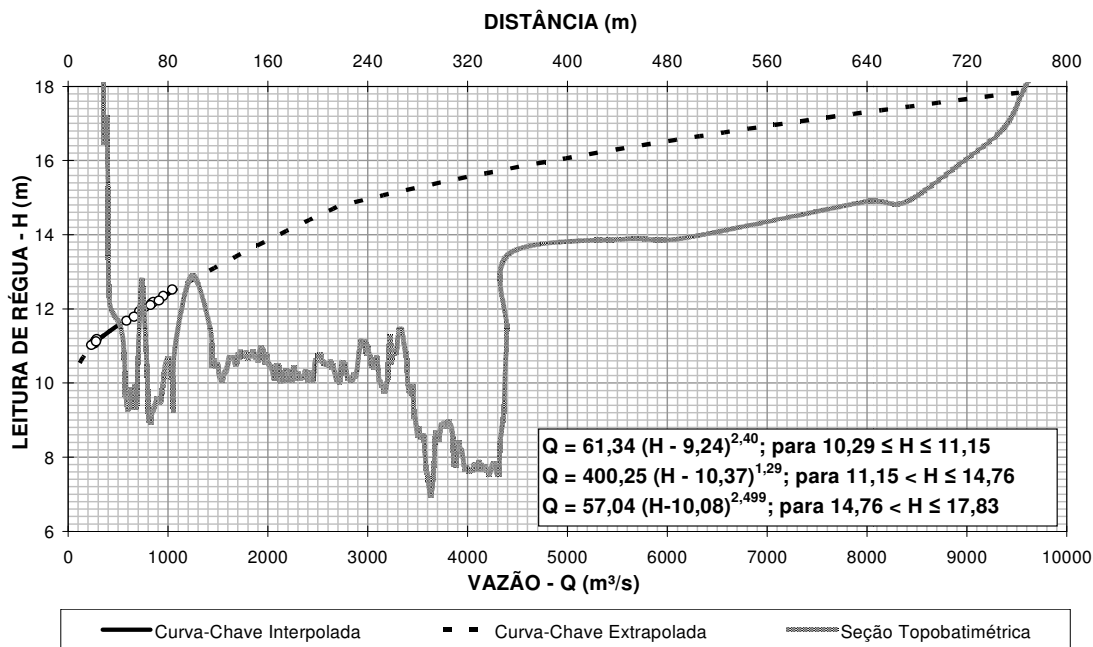
A extrapolação da curva tanto para a parte baixa quanto para a alta, foi feita pelo “Método de Stevens”. Dessa forma, a partir da seção topobatimétrica S-9,5, situada aproximadamente 20,0 m a montante do posto, foram calculadas os valores de área molhada (A) e raio hidráulico (R), para cada nível d’água objeto de medição de vazão, bem como para níveis d’água a cada 0,20 m. O gráfico obtido e utilizado na aplicação desse método é mostrado na Figura 5.30.

Figura 5.30 - Correlação entre Vazões e $AR^{2/3}$ do Posto São Sebastião do Paraíba



A Figura 5.31 mostra a curva-chave definida juntamente com a seção topobatimétrica correspondente.

Figura 5.31 – Curva-Chave e Seção Transversal do Rio Paraíba do Sul no Posto São Sebastião do Paraíba



Nota: Cota do zero da régua, equivalente a 79,108 m, obtida a partir da cota de RN do posto, determinada pela empresa LSF Andrade e do nivelamento geométrico constante da sua ficha descritiva.

5.1.7.8 Posto Itacara I Canal Esquerdo

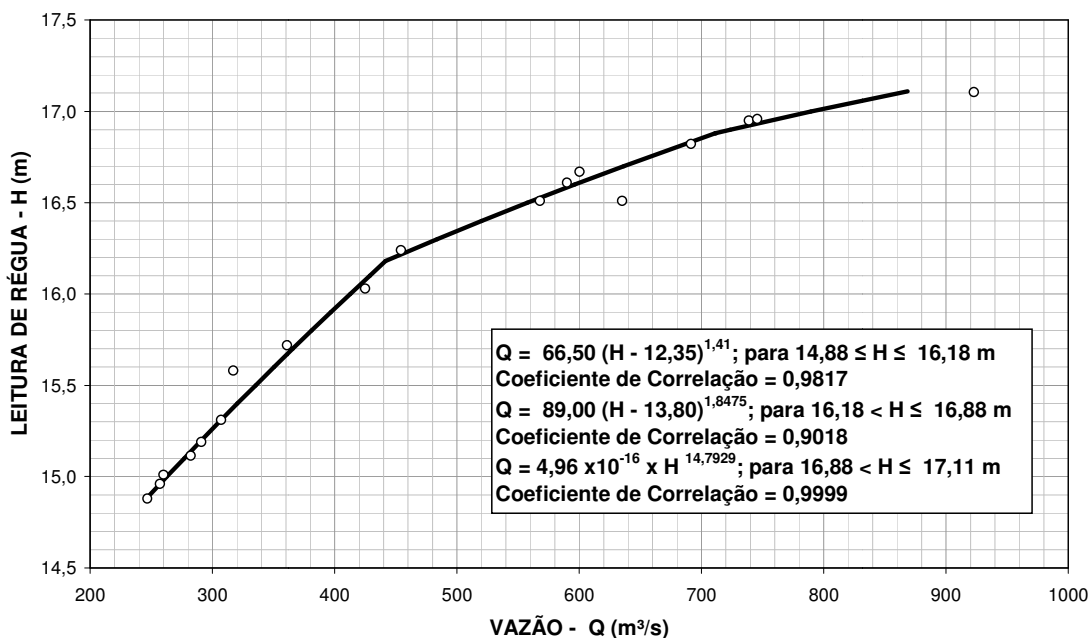
Esse posto está localizado no sítio da futura UHE Itacara I, onde a Ilha Serena divide o fluxo do rio Paraíba do Sul em dois canais principais. No canal esquerdo, onde o escoamento também é eventualmente dividido, a medição de vazão é realizada em dois pequenos canais para níveis d'água variando entre 15,0 e 17,1 m. Quando o nível d'água está abaixo de 15,0 m, o canal menor fica seco, e quando o nível está acima de 17,1 m, o divisor dos canais é afogado, tornando-se um único canal. Encontra-se na Tabela 5.19 a soma das medições de vazão e das áreas, além da média das leituras de nível d'água dos dois pequenos canais.

Tabela 5.19 - Resumo de Medições de Vazão do Posto Itaocara I Canal Esquerdo

| Nº | Data | Área (m ²) | Velocidade (m/s) | Nível d'Água (m) | Vazão (m ³ /s) |
|----|------------|------------------------|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 16/1/2.009 | 436 | 1,46 | 16,5 | 635 |
| 2 | 7/2/2.009 | 501 | 1,48 | 16,9 | 739 |
| 3 | 19/2/2.009 | 482 | 1,43 | 16,8 | 691 |
| 4 | 20/2/2.009 | 466 | 1,29 | 16,7 | 600 |
| 5 | 27/2/2.009 | 504 | 1,48 | 16,9 | 746 |
| 6 | 28/2/2.009 | 529 | 1,74 | 17,1 | 923 |
| 7 | 6/3/2.009 | 408 | 1,11 | 16,2 | 454 |
| 8 | 27/3/2.009 | 398 | 1,07 | 16,0 | 425 |
| 9 | 1/4/2.009 | 456 | 1,24 | 16,5 | 568 |
| 10 | 6/4/2.009 | 378 | 0,955 | 15,7 | 361 |
| 11 | 7/4/2.009 | 373 | 0,851 | 15,6 | 317 |
| 12 | 9/4/2.009 | 465 | 1,27 | 16,6 | 590 |
| 13 | 7/5/2.009 | 296 | 0,877 | 15,0 | 260 |
| 14 | 15/5/2.009 | 295 | 0,871 | 14,9 | 257 |
| 15 | 23/5/2.009 | 304 | 0,955 | 15,2 | 291 |
| 16 | 30/5/2.009 | 313 | 0,980 | 15,3 | 307 |
| 17 | 7/6/2.009 | 290 | 0,851 | 14,9 | 247 |
| 18 | 29/6/2.009 | 303 | 0,931 | 15,1 | 282 |

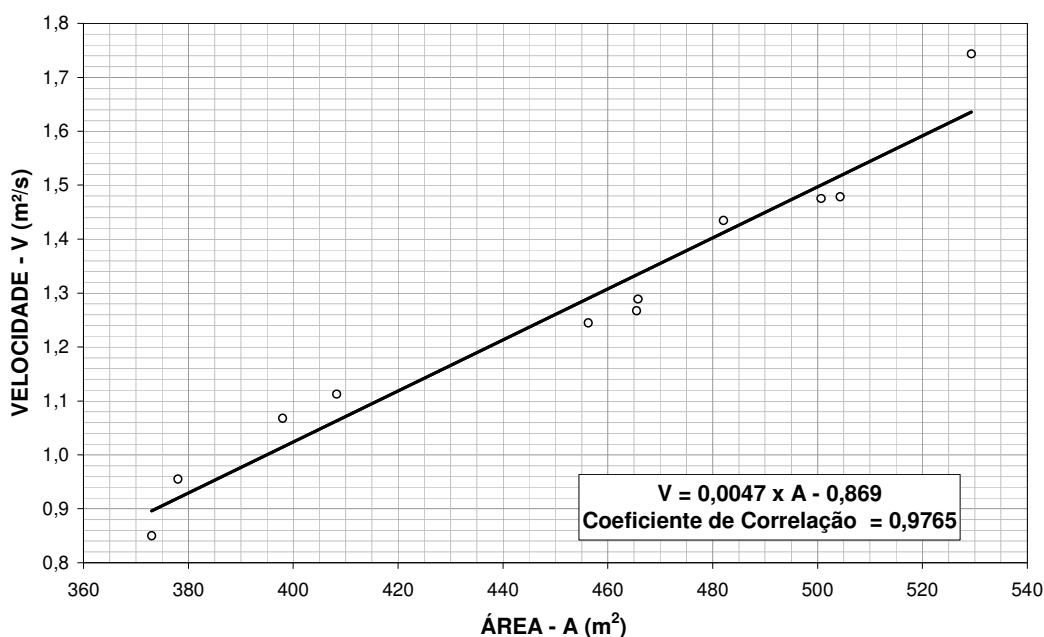
Utilizando as vazões e os níveis d'água acima, interpolou-se uma curva-chave para esse posto, apresentada na Figura 5.32.

**Figura 5.32 - Curva-Chave Interpolada do Posto Itacara I Canal Esquerdo
Período: 16/01/2009 a 29/06/2009**



Na extrapolação dessa curva foi utilizado o Método da Área x Velocidade, baseado no gráfico apresentado na Figura 5.33 que contemplou apenas as maiores áreas medidas, em virtude da finalidade dessa correlação.

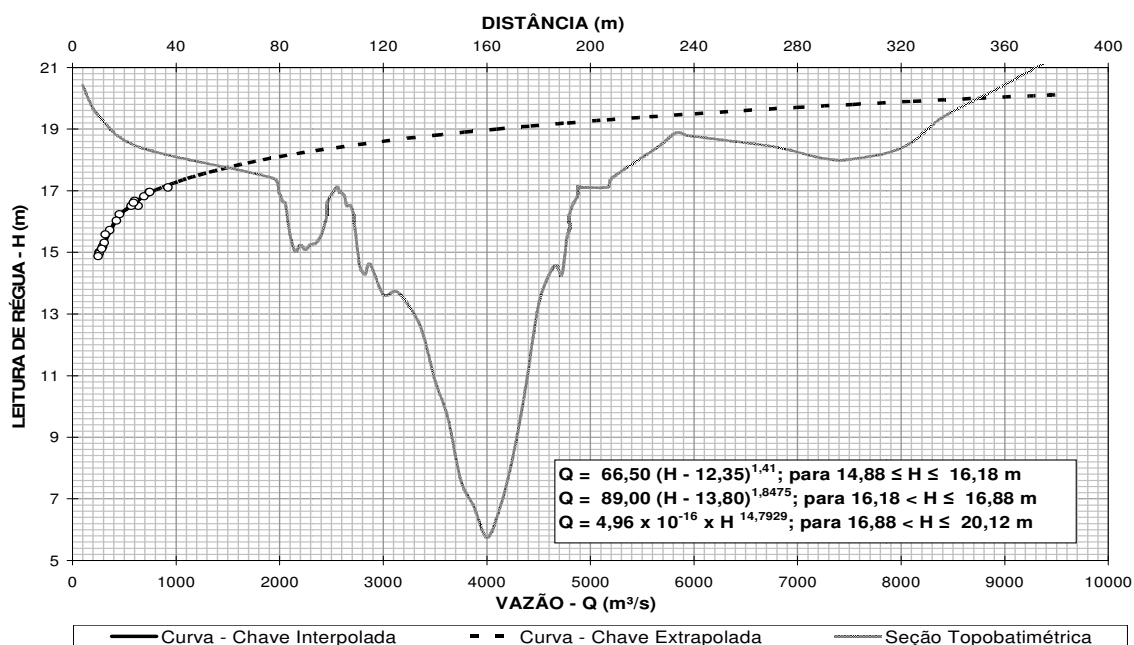
Figura 5.33 - Correlação entre Área e Velocidade do Posto Itacara I Canal Esquerdo



A seção utilizada para a extrapolação da curva S-21,5 foi obtida em escritório. As batimetrias dos pequenos canais foram levantadas a partir do resumo de descarga líquida dos dias 06/04 e 01/04/2.009, com níveis d'água iguais a 15,7 e 16,5 m, respectivamente. A partir desses níveis, a topografia foi obtida utilizando-se como referência a planta do levantamento planialtimétrico realizado pela empresa LSF Andrade Computação e Serviços LTDA.

A Figura 5.34 apresenta a curva definida para esse posto e a configuração da seção topobatimétrica utilizada para a extrapolação S-21,5, localizada aproximadamente, 8,0 m a montante da seção de réguas.

Figura 5.34 - Curva-Chave e Seção Transversal do Rio Paraíba do Sul no Posto Itacara I Canal Esquerdo

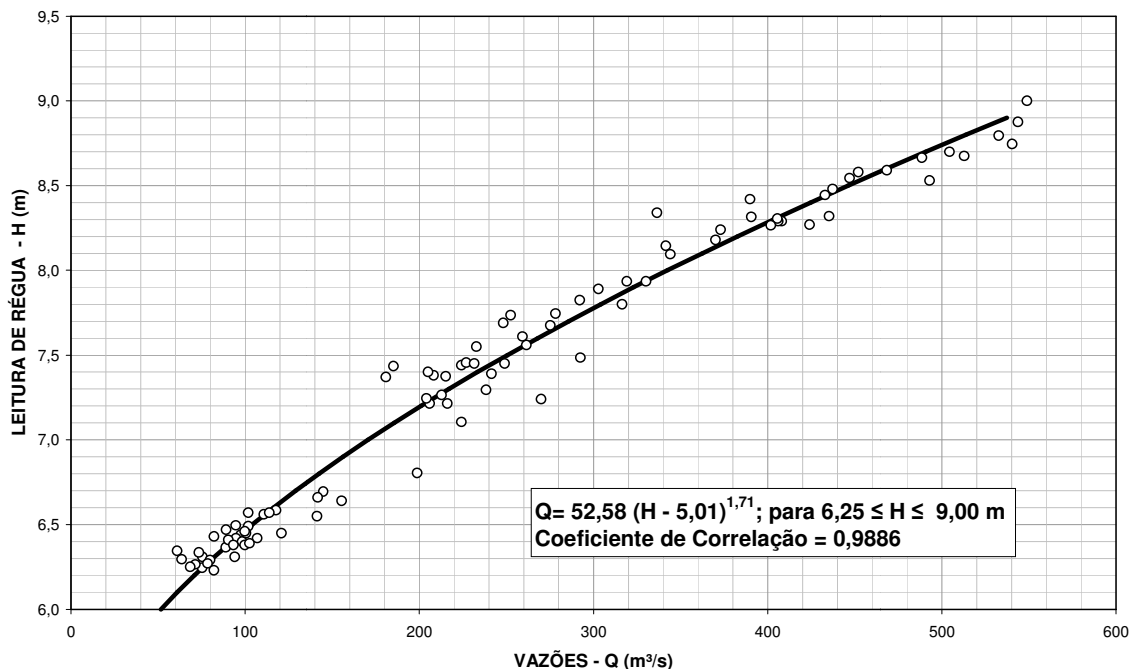


Nota: Cota do zero da régua equivalente a 46,587 m, obtida a partir da cota de RN do posto, determinada pela empresa LSF Andrade e do nivelamento geométrico constante da sua ficha descritiva.

5.1.7.9 Posto Itacara I Canal Direito

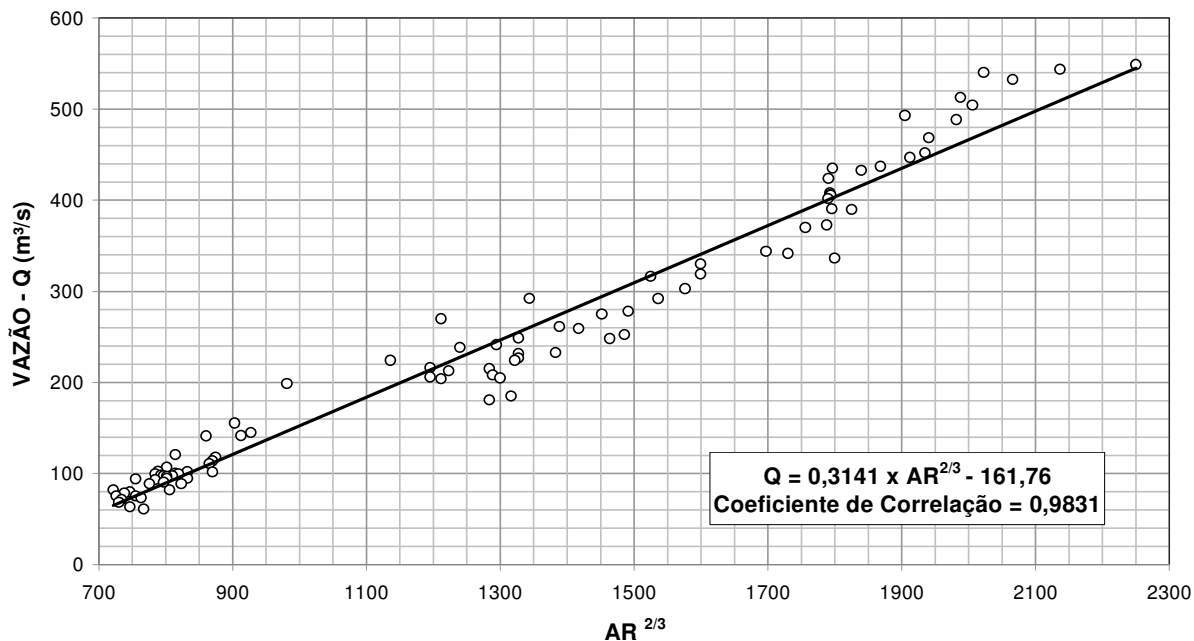
Esse posto linimétrico está situado no canal direito do rio Paraíba do Sul, no sítio da futura Barragem de Terra Margem Direita da UHE Itacara I. No traçado da curva-chave desse posto utilizou-se a diferença entre as vazões dos postos Itacara ANA e Itacara I Canal Esquerdo e as leituras de régua diárias obtidas no próprio posto Itacara I Canal Direito. Ressalta-se que tais vazões foram obtidas das curvas-chave definidas para aqueles postos. A curva-chave interpolada para esse posto encontra-se na Figura 5.35.

**Figura 5.35 - Curva-Chave Interpolada do Posto Itacara I Canal Direito
Período: 30/01/2009 a 17/06/2009**



Para a extrapolação da curva utilizou-se o método de Stevens. O gráfico $Q \times AR^{2/3}$ ajustado, encontra-se na Figura 5.36.

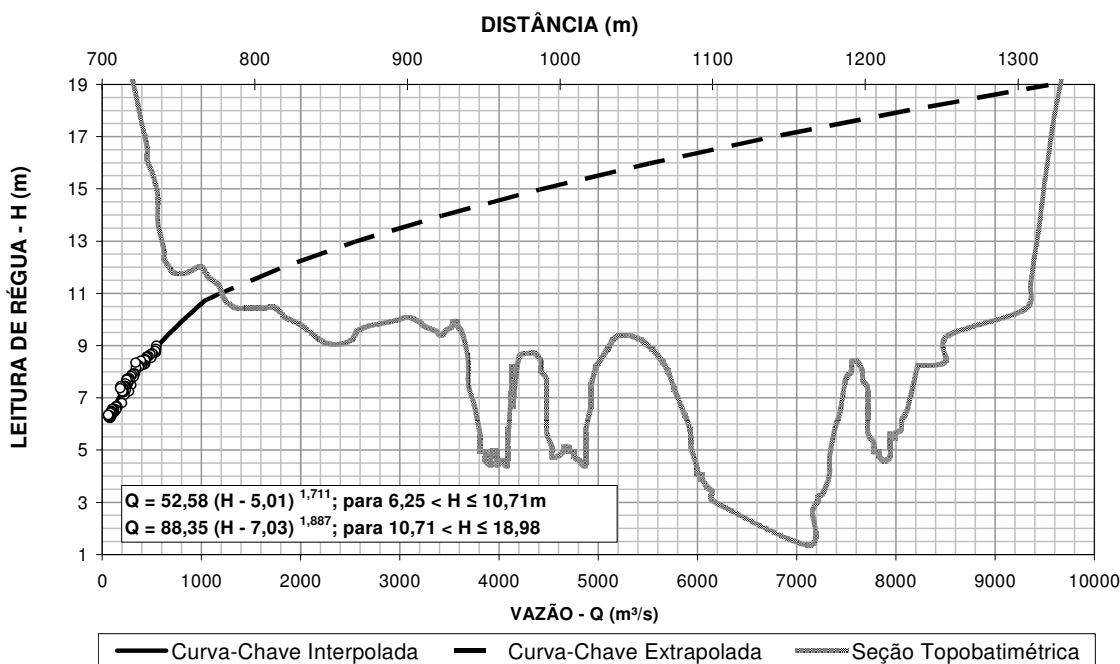
Figura 5.36 - Correlação entre Vazões e $AR^{2/3}$ do Posto Itacara I Canal Direito



A seção topobatimétrica utilizada na extrapolação, S-24, foi levantada pela Hidrotécnica no âmbito dos Estudos de Viabilidade da UHE Itacara e está localizada cerca de 70,0 m à jusante do posto.

A curva-chave extrapolada determinada para esse posto e a configuração da seção topobatimétrica do canal direito encontra-se na Figura 5.37.

Figura 5.37 - Curva-Chave e Seção Transversal do Rio Paraíba do Sul no Posto Itacara I Canal Direito



Nota: Cota do zero da régua, equivalente a 54,629 m, obtida a partir da cota de RN do posto, determinada pela empresa LSF Andrade e do nivelamento geométrico constante da sua ficha descritiva.

5.1.7.10 Posto Itacara Jusante

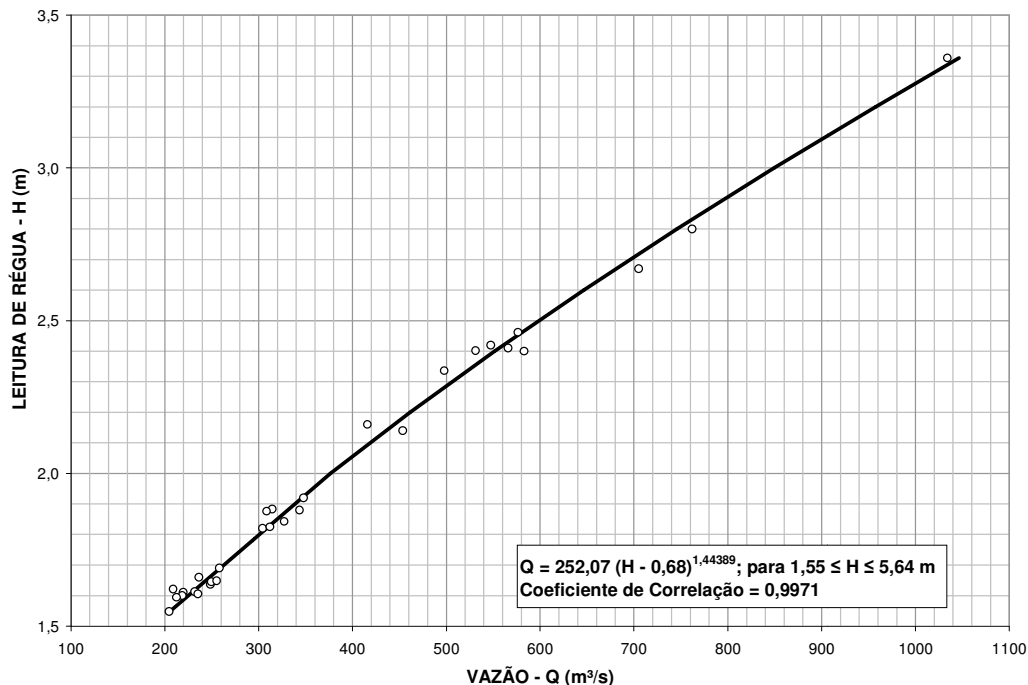
Esse posto, instalado pela Hidrotécnica para os Estudos de Viabilidade da UHE Itacara e que se encontra desativado, situa-se na margem esquerda do rio Paraíba do Sul cerca de 6,0 km à jusante do eixo da UHE Itacara I, onde também existe uma ilha, dividindo o rio em dois canais. Neles foram realizadas medições de nível d'água, de vazões líquidas e de descargas sólidas pela Hidrotécnica e pela LIGHT entre 1.998 e 2.001.

Na Tabela 5.20 encontra-se o resumo de medições desse posto e na Figura 5.38, a curva-chave interpolada.

Tabela 5.20 - Resumo de Medições de Vazão do Posto Itaacara Jusante

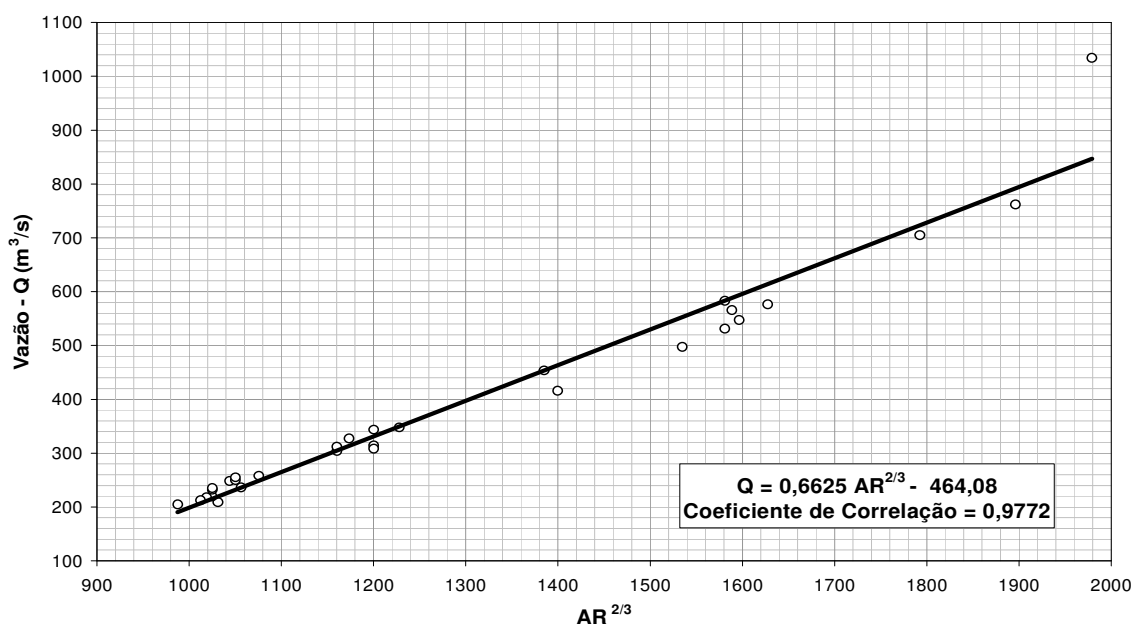
| Nº | Data | Área (m ²) | Largura (m) | Profundidade Média (m) | Velocidade (m/s) | Nível d'Água (m) | Vazão (m ³ /s) |
|----|----------|------------------------|-------------|------------------------|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 30/12/98 | 704 | 227 | 3,09 | 0,778 | 2,42 | 547 |
| 2 | 14/1/99 | 707 | 226 | 3,13 | 0,641 | 2,14 | 454 |
| 3 | 18/1/99 | 836 | 230 | 3,63 | 0,843 | 2,67 | 705 |
| 4 | 25/1/99 | 777 | 232 | 3,35 | 0,750 | 2,40 | 583 |
| 5 | 19/2/99 | 723 | 228 | 3,17 | 0,783 | 2,41 | 566 |
| 6 | 27/2/99 | 793 | 232 | 3,42 | 0,961 | 2,80 | 762 |
| 7 | 2/3/99 | 974 | 331 | 2,94 | 1,06 | 3,36 | 1034 |
| 8 | 6/4/99 | 619 | 222 | 2,79 | 0,562 | 1,92 | 348 |
| 9 | 9/4/99 | 622 | 221 | 2,81 | 0,552 | 1,88 | 344 |
| 10 | 5/5/99 | 569 | 219 | 2,60 | 0,453 | 1,69 | 258 |
| 11 | 9/6/99 | 598 | 222 | 2,69 | 0,509 | 1,82 | 304 |
| 12 | 2/8/99 | 559 | 219 | 2,55 | 0,445 | 1,64 | 249 |
| 13 | 10/8/99 | 536 | 215 | 2,48 | 0,390 | 1,62 | 209 |
| 14 | 14/9/99 | 505 | 204 | 2,48 | 0,405 | 1,55 | 205 |
| 15 | 14/10/99 | 493 | 205 | 2,40 | 0,446 | 1,61 | 220 |
| 16 | 30/11/99 | 576 | 203 | 2,83 | 0,542 | 1,82 | 312 |
| 17 | 21/12/99 | 599 | 201 | 2,98 | 0,525 | 1,88 | 314 |
| 18 | 25/1/00 | 702 | 203 | 3,45 | 0,592 | 2,16 | 416 |
| 19 | 14/3/00 | 740 | 206 | 3,60 | 0,779 | 2,46 | 576 |
| 20 | 25/4/00 | 712 | 204 | 3,50 | 0,746 | 2,40 | 531 |
| 21 | 30/5/00 | 566 | 199 | 2,85 | 0,417 | 1,66 | 236 |
| 22 | 4/7/00 | 535 | 198 | 2,70 | 0,408 | 1,60 | 218 |
| 23 | 10/8/00 | 545 | 201 | 2,71 | 0,458 | 1,65 | 250 |
| 24 | 12/9/00 | 535 | 199 | 2,69 | 0,397 | 1,59 | 213 |
| 25 | 3/10/00 | 526 | 199 | 2,64 | 0,441 | 1,61 | 232 |
| 26 | 8/11/00 | 545 | 202 | 2,69 | 0,431 | 1,61 | 235 |
| 27 | 12/12/00 | 592 | 200 | 2,95 | 0,521 | 1,88 | 308 |
| 28 | 6/2/01 | 688 | 209 | 3,30 | 0,723 | 2,34 | 498 |
| 29 | 27/3/01 | 568 | 199 | 2,85 | 0,449 | 1,65 | 255 |
| 30 | 17/4/01 | 573 | 198 | 2,90 | 0,571 | 1,84 | 327 |

**Figura 5.38 - Curva-Chave Interpolada do Posto Itaacara Jusante
Período: 30/12/1998 a 17/04/2001**



Para a extrapolação da curva interpolada utilizou-se o método de Stevens. O gráfico $Q \times AR^{2/3}$, encontra-se na Figura 5.39.

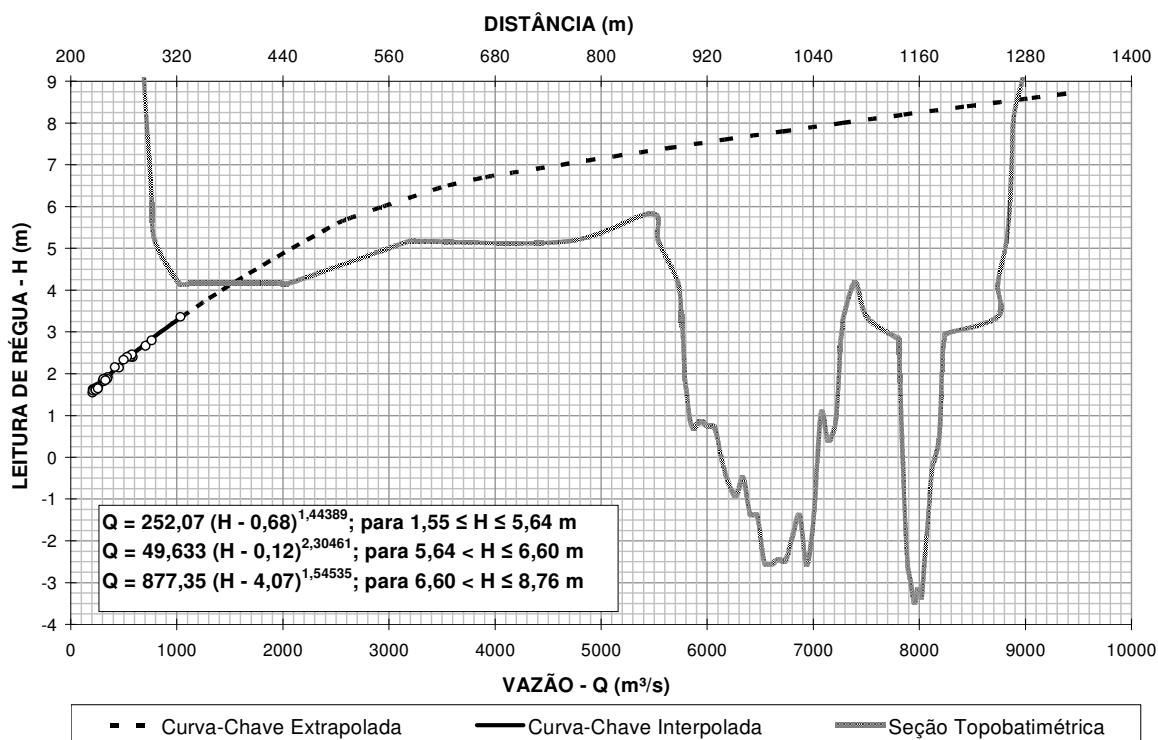
Figura 5.39 - Correlação entre Vazões e $AR^{2/3}$ do Posto Itaacara Jusante



A seção topográfica no local do posto, utilizada para a extrapolação da curva-chave, foi obtida, parcialmente, da restituição aerofotogramétrica. Assumiu-se que o trecho submerso é representado pela batimetria realizada em 02/03/1.999, durante a medição de vazão a qual corresponde o maior nível d'água.

A curva-chave extrapolada determinada para esse posto e a seção topobatimétrica acima descrita encontra-se na Figura 5.40.

Figura 5.40 - Curva-Chave e Seção Transversal do Rio Paraíba do Sul no Posto Itaocara Jusante

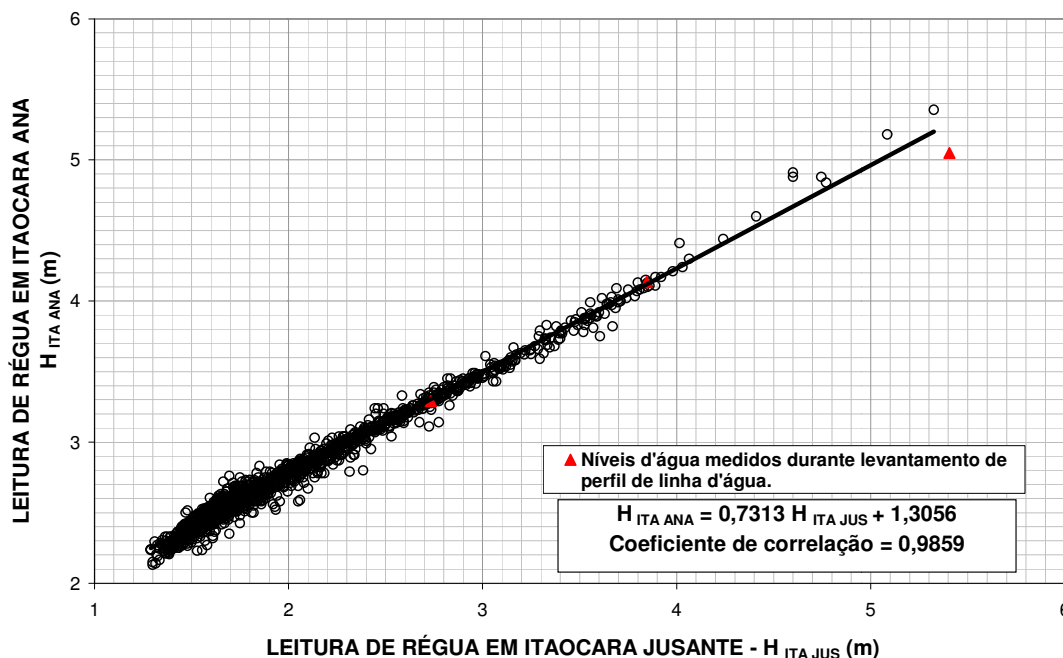


Nota: Cota do zero da régua, equivalente a 57,833 m, obtida a partir da cota de RN do posto, determinada pela empresa LSF Andrade e do nivelamento geométrico constante da sua ficha descritiva.

5.1.7.11 Posto Itaocara ANA

Esse posto fluviométrico foi instalado pela CPRM/ Serviço Geológico do Brasil e está sob responsabilidade da Agência Nacional de Águas/ANA. Como nesse posto não são realizadas medições de vazão, foram consideradas para a confecção da sua curva-chave as vazões medidas no posto Itaocara Jusante e os níveis d'água transferidos pela correlação, apresentada na Figura 5.41.

Figura 5.41
Correlação entre Níveis d'Água dos Postos Itaocara ANA e Itaocara Jusante
Período: 01/01/1.995 a 28/02/2002



Foram inseridos nesse gráfico os valores obtidos durante os levantamentos dos perfis de linha d'água, para verificação da sua consistência. Nota-se, portanto, que o maior desvio (2,8%) foi na medição de 14/02/2.009.

Na Tabela 5.21 são apresentadas as informações utilizadas para a interpolação da curva-chave nesse posto.

Tabela 5.21 - Nível d'Água e Vazão do Posto Itaocara ANA

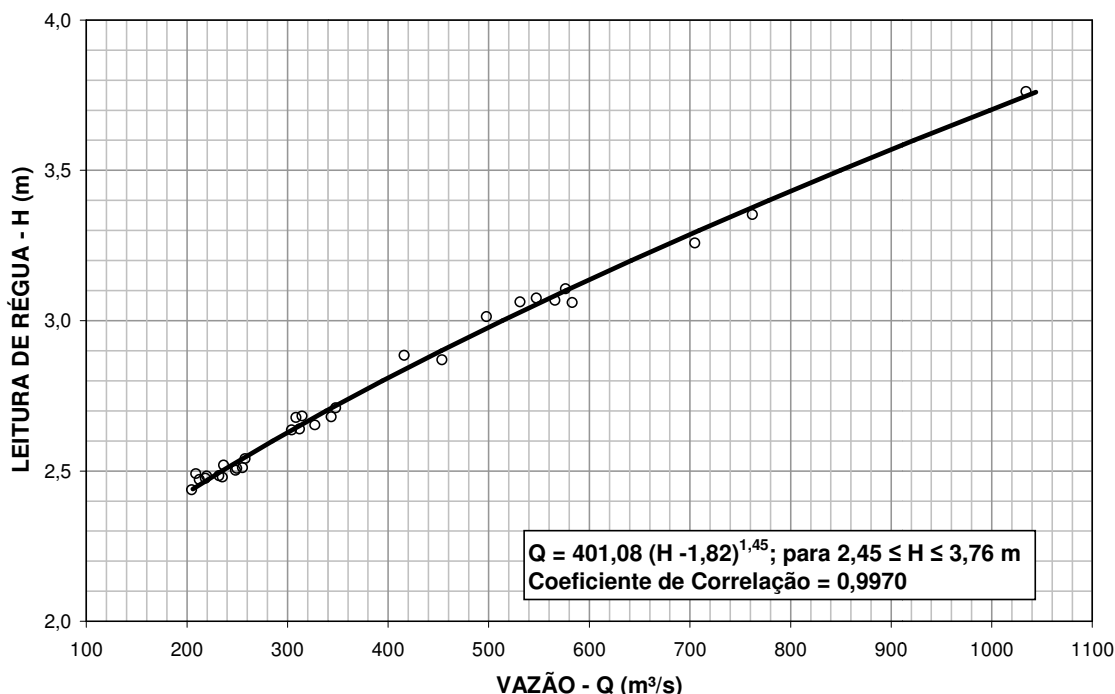
| Nº | Data | Nível d'Água (m) | Vazão (m³/s) |
|----|-------------|------------------|--------------|
| 1 | 30/12/1.998 | 3,08 | 547 |
| 2 | 14/1/1.999 | 2,87 | 454 |
| 3 | 18/1/1.999 | 3,26 | 705 |
| 4 | 25/1/1.999 | 3,06 | 583 |
| 5 | 19/2/1.999 | 3,07 | 566 |
| 6 | 27/2/1.999 | 3,35 | 762 |
| 7 | 2/3/1.999 | 3,76 | 1034 |
| 8 | 6/4/1.999 | 2,71 | 348 |

Tabela 5.21 (Continuação)
Nível d'Água e Vazão do Posto Itaacara ANA

| Nº | Data | Nível d'Água (m) | Vazão (m³/s) |
|----|----------------|------------------|--------------|
| 9 | 9/4/1.999 | 2,68 | 344 |
| 10 | 5/5/1.999 | 2,54 | 258 |
| 11 | 9/6/1.999 | 2,64 | 304 |
| 12 | 2/8/1.999 | 2,50 | 249 |
| 13 | 10/8/1.999 | 2,49 | 209 |
| 14 | 14/9/1.999..99 | 2,44 | 205 |
| 15 | 14/10/1.999 | 2,48 | 220 |
| 16 | 30/11/1.999 | 2,64 | 312 |
| 17 | 21/12/1.999 | 2,68 | 314 |
| 18 | 25/1/2.000 | 2,89 | 416 |
| 19 | 14/3/2.000 | 3,11 | 576 |
| 20 | 25/4/2.000 | 3,06 | 531 |
| 21 | 30/5/2.000 | 2,52 | 236 |
| 22 | 4/7/2.000 | 2,48 | 218 |
| 23 | 10/8/2.000 | 2,51 | 250 |
| 24 | 12/9/2.000 | 2,47 | 213 |
| 25 | 3/10/2.000 | 2,49 | 232 |
| 26 | 8/11/2.000 | 2,48 | 235 |
| 27 | 12/12/2.000 | 2,68 | 308 |
| 28 | 6/2/2.001 | 3,01 | 498 |
| 29 | 27/3/2.001 | 2,51 | 255 |
| 30 | 17/4/2.001 | 2,65 | 327 |

A Figura 5.42 apresenta a curva-chave interpolada para esse posto.

**Figura 5.42 - Curva-Chave Interpolada do Posto Itaocara ANA
Período: 30/12/1998 a 17/04/2001**



Essa curva-chave foi empregada no presente estudo mesmo para níveis d'água superiores ao do seu limite de validade (extrapolação logarítmica).

5.1.7.12 Fluviograma

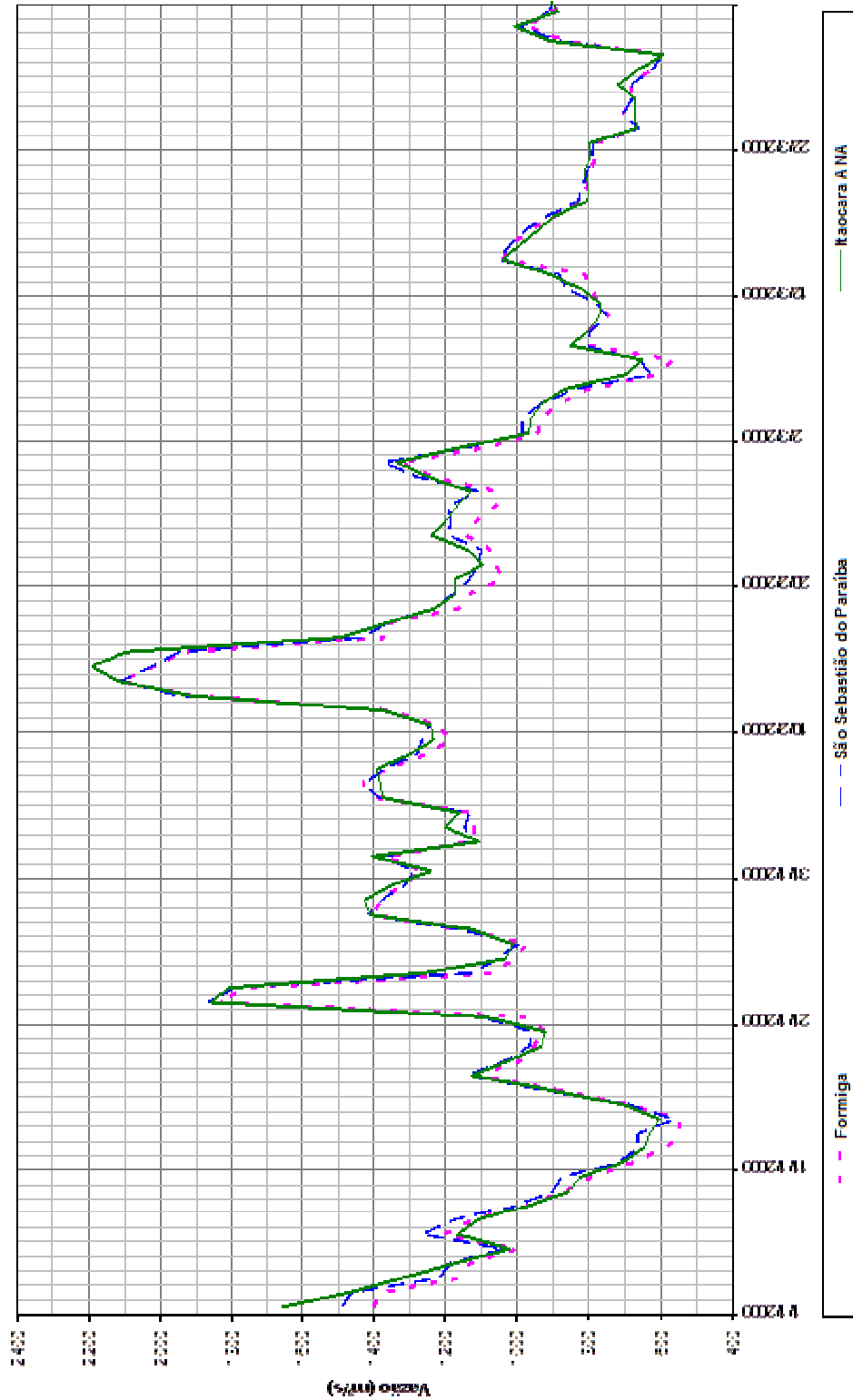
Com a finalidade de verificar a consistência das curvas-chave estabelecidas para os postos que controlam a vazão total do rio Paraíba do Sul, foram desenhados os fluviogramas mostrados na Figura 5.43.

Esses gráficos privilegiam o período janeiro/2.009 a março/2.009, no qual foram realizados os levantamentos dos perfis de linha d'água que subsidiaram, principalmente, os estudos de remanso do reservatório da UHE Itaocara I.

As vazões correspondentes foram obtidas com base em níveis d'água devidamente consistidos, os quais são apresentados no Anexo correspondente. A análise dos fluviogramas em questão permite identificar algumas vazões incrementais negativas que não comprometem a qualidade dos estudos, já que:

- São de valor reduzido, apresentando um máximo de 9% e uma média de 2%, valores esses que são compatíveis com as imprecisões inerentes às práticas hidrométricas;
- Podem ser parcialmente explicados pelo fenômeno de armazenamento temporário de calha (propagação de onda de cheia).

Figura 5.43 - Fluviogramas de Vazões Médias Mensais
Período: 01/01/2.009 a 31/03/2.009



5.1.8 Curvas Cota x Área e Cota x Volume do Reservatório

As curvas cota x área x volume do reservatório da UHE Itacara I foram obtidas a partir de plantas, em escala 1:5.000, com curvas de nível a cada 1,0 m, resultantes de levantamento aerofotogramétrico realizado pela empresa LACTEC em junho de 2.009. As áreas foram extraídas com o auxílio do programa AutoCAD e o cálculo dos volumes entre curvas de nível adjacentes, foi efetuado associando-os a “trancos de cone”.

A Tabela 5.22 apresenta os dados assim determinados.

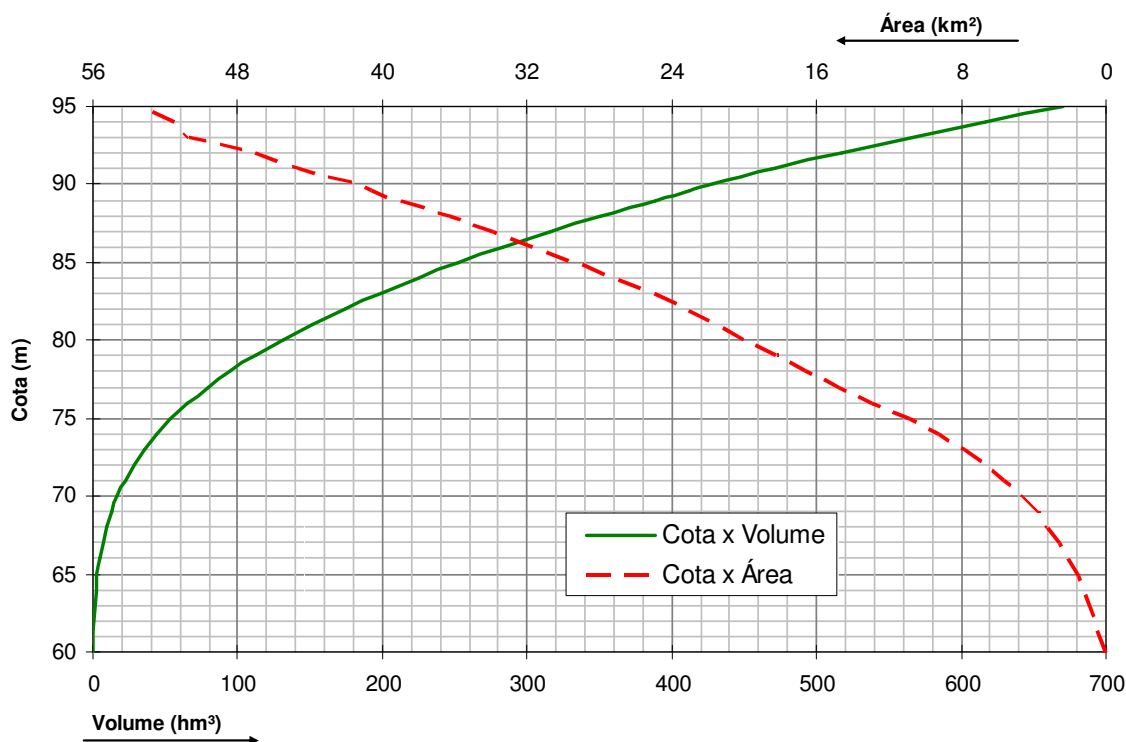
Tabela 5.22 - Curva Cota x Área x Volume para o Reservatório da UHE Itacara I

| Cota (m) | Área (km ²) | Volume (hm ³) | Cota (m) | Área (km ²) | Volume (hm ³) |
|----------|-------------------------|---------------------------|----------|-------------------------|---------------------------|
| 60 | 0,0 | 0,00 | 80 | 19,9 | 131,50 |
| 65 | 1,5 | 2,46 | 81 | 21,5 | 152,20 |
| 66 | 2,1 | 4,23 | 82 | 23,2 | 174,55 |
| 67 | 2,6 | 6,54 | 83 | 24,9 | 198,63 |
| 68 | 3,2 | 9,41 | 84 | 27,1 | 224,65 |
| 69 | 3,7 | 12,85 | 85 | 29,3 | 252,83 |
| 70 | 4,6 | 16,98 | 86 | 31,6 | 283,25 |
| 71 | 5,6 | 22,07 | 87 | 33,8 | 315,95 |
| 72 | 6,6 | 28,19 | 88 | 36,2 | 350,98 |
| 73 | 7,8 | 35,41 | 89 | 39,0 | 388,60 |
| 74 | 9,2 | 43,89 | 90 | 41,5 | 428,87 |
| 75 | 10,8 | 53,88 | 91 | 44,7 | 471,96 |
| 76 | 12,9 | 65,72 | 92 | 47,0 | 517,77 |
| 77 | 14,7 | 79,50 | 93 | 50,7 | 566,58 |
| 78 | 16,6 | 95,12 | 94 | 51,4 | 617,65 |
| 79 | 18,2 | 112,47 | 95 | 53,2 | 669,96 |

Nota: Curvas de nível entre as cotas 60 m (pé da barragem) e 65 m indisponíveis, em virtude de corresponderem às áreas submersas do rio Paraíba do Sul.

Utilizando-se os valores acima, efetuou-se o traçado das curvas em questão, que encontram-se representadas na Figura 5.44.

Figura 5.44 - Curva Cota x Área x Volume do Reservatório de Itacara I



Essas curvas podem ser expressas pelas equações seguintes:

$$A = 9,5451335 \times 10^{-5} H^4 - 3,0332551 \times 10^{-2} H^3 + 3,6389389 H^2 - 1,9350569 \times 10^2 H + 3,8314418 \times 10^3$$

$$H = -2,2447236 \times 10^{-10} V^4 + 4,1348927 \times 10^{-7} V^3 - 2,9049205 \times 10^{-4} V^2 + 1,1524476 \times 10^{-1} V + 6,8940421 \times 10^1$$

Onde:

$$A = \text{Área (km}^2\text{)}$$

$$V = \text{Volume (hm}^3\text{)}$$

$$H = \text{Cota (m)}$$

5.1.9 Hidrossedimentologia

Os estudos hidrossedimentológicos tiveram como finalidade estimar a vida útil e subsidiar as simulações de remanso que levam em conta o assoreamento do reservatório, fundamentaram-se nas “Diretrizes para Elaboração de Projeto Básico de Usinas Hidrelétricas” (ANEEL / Eletrobrás, 1.999) e no “Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios (ANEEL, 2.000).

As descargas sólidas foram calculadas com base em medições realizadas na região do aproveitamento desde 1.998, tendo sido considerados os efeitos de retenção de sedimentos nos reservatórios das UHEs Simplício e Itaocara II, a serem implantadas a montante. Utilizou-se o modelo HEC-6 para estimar a distribuição de sedimentos no reservatório e a altura de sedimentos no “pé” da Barragem.

É fundamental a realização dos monitoramentos recomendados no “Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios” a partir do momento em que o reservatório considerado seja implantado, de forma a verificar-se os resultados obtidos devem ser considerados indicativos, em função das vicissitudes dos fenômenos de erosão e transporte sólido e das incertezas inerentes aos métodos de previsão de assoreamento.

5.1.9.1 Considerações Sobre o Transporte Sólido no Rio Paraíba do Sul

Os estudos da ELETROBRÁS/IPH (1.992), no zoneamento hidrossedimentométrico do Brasil, enquadra a bacia do rio Paraíba do Sul na classe S1/Litoral Sul. Essa zona abrange a bacia do rio Paraíba do Sul e as bacias costeiras situadas ao sul desta, até o Rio Grande do Sul e caracteriza-se pelo relevo íngreme e pela alta erosividade das chuvas. A mata predomina como tipo de cobertura do solo que apresenta erodibilidade de média a alta. Estas combinações resultam, em concentrações médias anuais, da ordem de 100 mg/l e produções específicas de 155 t/km²/ano.

Vale ressaltar que nesse estudo, os valores e características indicadas em cada região constituem médias globais, destinadas a efetuar comparações. Portanto, os dados supracitados podem estar sujeitos a grandes variações locais e temporais.

5.1.9.2 Curva-Chave de Sedimentos

Para o estudo do assoreamento do futuro reservatório da UHE Itaocara I foram utilizados dados fornecidos pela LIGHT, provenientes de 31 (trinta e uma) medições de descargas sólidas efetuadas no período de 30/12/1.998 a 07/03/2.002 no posto Itaocara Jusante e 7 (sete) medições de descargas sólidas, realizadas no âmbito deste estudo pela COHIDRO, no posto Itaocara II Montante Formiga, no período de 03/03/2.009 a 24/03/2.009.

A Tabela 5.23 apresenta as descargas líquidas, as concentrações medidas e as descargas sólidas de suspensão e total fornecidas pela LIGHT e pela COHIDRO.

Tabela 5.23 - Concentrações Medidas e Descargas Sólidas do Rio Paraíba do Sul

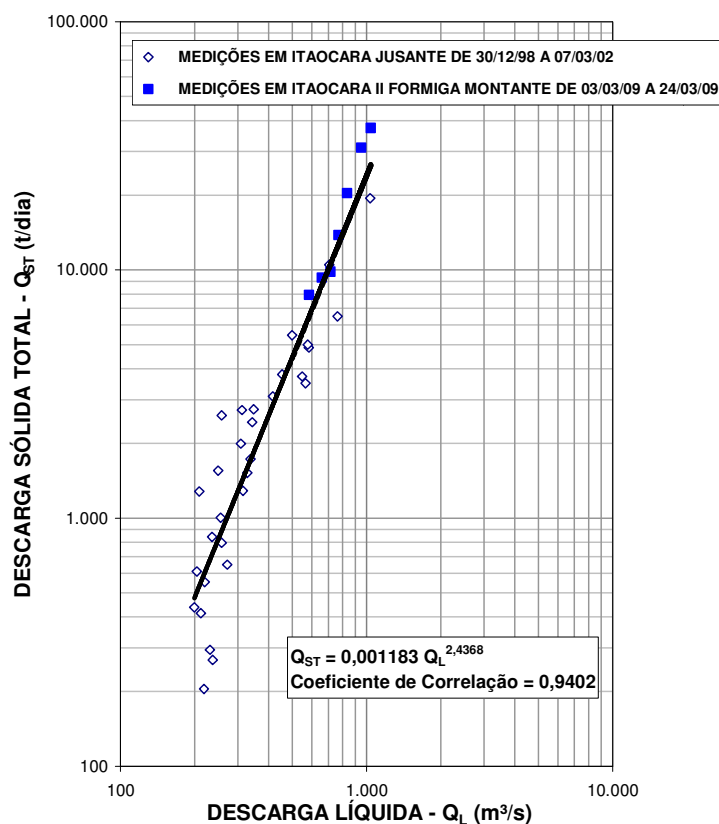
| Posto | Data da Medição | Descarga Líquida (m³/s) | Concentração de Sólidos em Suspensão (mg/l) | Descarga Sólida em Suspensão (t/dia) | Descarga Sólida Total COLBY (t/dia) |
|------------------|-----------------|-------------------------|---|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Itaocara Jusante | 30/12/1.998 | 547 | - | 2.178 | 3.723 |
| | 14/01/1.999 | 453 | - | 2.544 | 3.792 |
| | 18/01/1.999 | 705 | - | 7.370 | 10.482 |
| | 25/01/1.999 | 582 | 55 | 2.766 | 4.863 |
| | 19/02/1.999 | 565 | 35 | 1.709 | 3.494 |
| | 27/02/1.999 | 762 | 47 | 3.094 | 6.492 |
| | 02/03/1.999 | 1.034 | 117 | 10.453 | 19.451 |
| | 06/04/1.999 | 348 | 70 | 2.103 | 2.744 |
| | 09/04/1.999 | 343 | 63 | 1.868 | 2.431 |
| | 05/05/1.999 | 258 | 20 | 445 | 794 |
| | 10/08/1.999 | 209 | 52 | 944 | 1.280 |
| | 14/09/1.999 | 204 | 20 | 350 | 609 |
| | 14/10/1.999 | 220 | 16 | 298 | 552 |
| | 30/11/1.999 | 312 | 67 | 1.798 | 2.722 |
| | 21/12/1.999 | 315 | 26 | 719 | 1.287 |
| | 25/01/2.000 | 416 | 55 | 1.979 | 3.090 |
| | 14/03/2.000 | 577 | 57 | 2.850 | 5.000 |
| | 25/04/2.000 | 271 | 14 | 332 | 649 |
| | 30/05/2.000 | 237 | 6 | 114 | 268 |
| | 04/07/2.000 | 218 | 4 | 82 | 205 |
| | 10/08/2.000 | 249 | 47 | 1.005 | 1.553 |
| | 12/09/2.000 | 212 | 12 | 220 | 413 |
| | 03/10/2.000 | 231 | 6 | 120 | 294 |
| | 08/11/2.000 | 236 | 25 | 501 | 839 |
| | 12/12/2.000 | 308 | 48 | 1.271 | 1.995 |
| | 06/02/2.001 | 498 | 79 | 3.381 | 5.459 |
| | 27/03/2.001 | 255 | 28 | 614 | 1.003 |
| | 17/04/2.001 | 327 | 30 | 839 | 1.522 |
| 16/05/2.001 | 337 | 33 | 949 | 1.728 | |
| 10/07/2.001 | 199 | 14 | 235 | 437 | |
| 07/03/2.002 | 258 | 60 | 1.335 | 2.590 | |

Tabela 5.23 (Continuação)
Concentrações Medidas e Descargas Sólidas do Rio Paraíba do Sul

| Posto | Data da Medição | Descarga Líquida (m ³ /s) | Concentração de Sólidos em Suspensão (mg/l) | Descarga Sólida em Suspensão (t/dia) | Descarga Sólida Total COLBY (t/dia) |
|------------------------------------|-----------------|--------------------------------------|---|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Itaocara II Montante Formiga | 03/03/2.009 | 1.041 | 251 | 22.572 | 37.337 |
| | 03/03/2.009 | 951 | 229 | 18.814 | 31.134 |
| | 04/03/2.009 | 833 | 165 | 11.877 | 20.381 |
| | 10/03/2.009 | 713 | 82 | 5.054 | 9.833 |
| | 11/03/2.009 | 770 | 114 | 7.585 | 13.810 |
| | 24/03/2.009 | 584 | 87 | 4.386 | 7.926 |
| | 24/03/2.009 | 659 | 87 | 4.951 | 9.305 |

Considerou-se que a relação Vazão Líquida-Descarga Sólida Total obtida com os dados gerados pelo “Método de Colby” é a representativa do regime hidrossedimentométrico do Rio Paraíba do Sul na região da UHE Itaocara I. A curva-chave de sedimentos correspondente é apresentada na Figura 5.45.

Figura 5.45 - Curvas-Chave de Sedimentos do rio Paraíba do Sul naUHE Itaocara



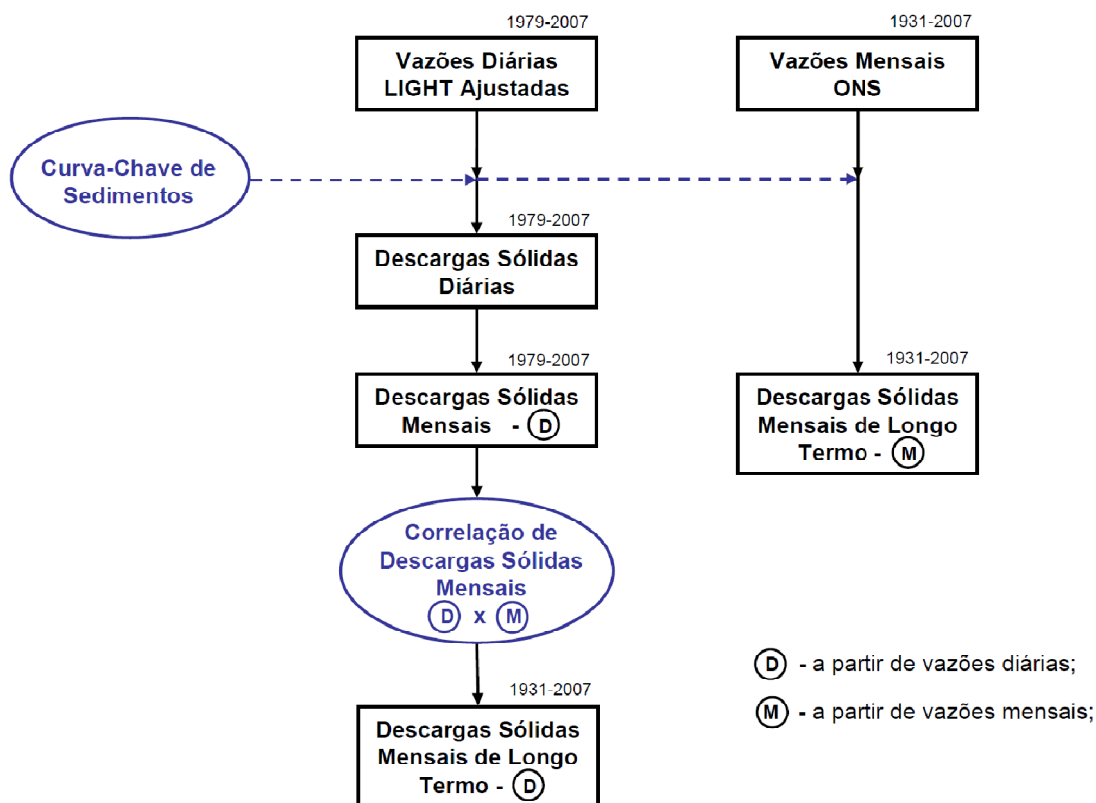
5.1.9.3 Descargas Sólidas Atuais

De posse da curva-chave de sedimentos supracitada, da série de vazões médias diárias regularizadas (fornecida pela LIGHT) e da série de vazões médias mensais regularizadas (disponibilizada pelo ONS), ambas em Ilha dos Pombos, foi possível estimar a descarga sólida total média na UHE Ilha dos Pombos já em fase de operação.

Como a utilização de vazões mensais, em detrimento de vazões diárias, leva-se à obtenção de descargas sólidas menos conservadoras, então optou-se pelo emprego de vazões diárias, a fim de se obter descargas sólidas mais realistas.

A Figura 5.46 apresenta de forma esquemática o processo utilizado na obtenção das descargas sólidas totais em Ilha dos Pombos.

Figura 5.46 - Processo de Obtenção das Descargas Sólidas Totais em UHE Ilha dos Pombos



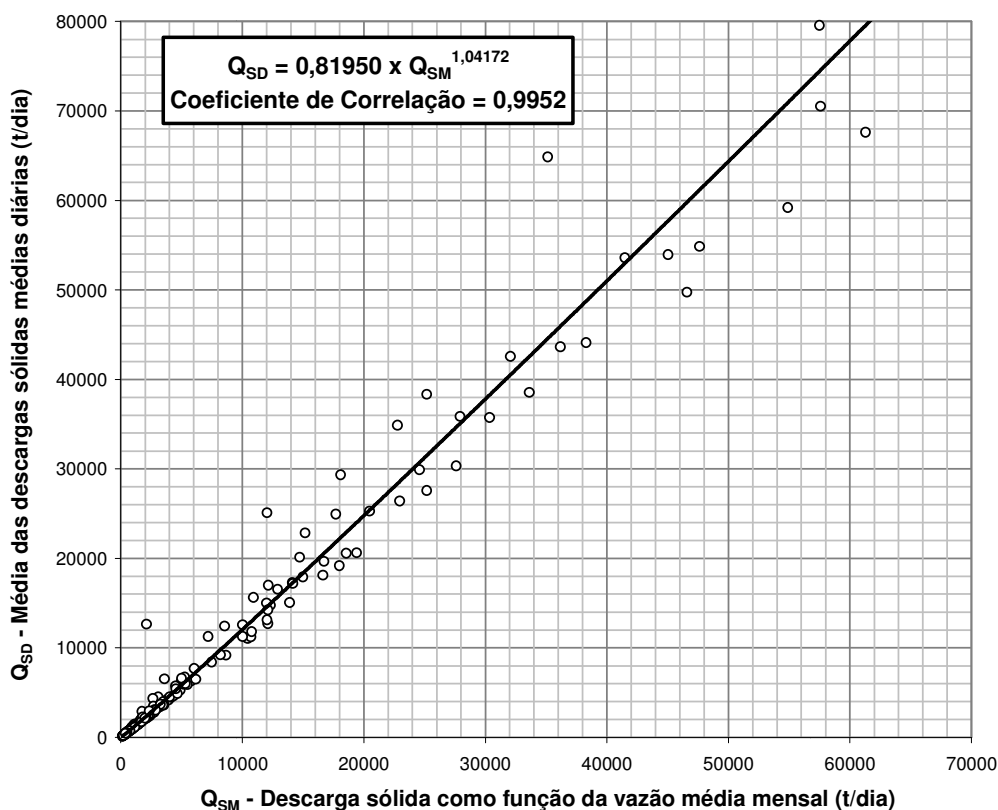
Notas:

1) Vazões Mensais ONS - *Série de Vazões Médias Mensais Regularizadas em UHE Ilha dos Pombos*: Série de vazões disponibilizada pelo ONS.

2) Vazões Diárias LIGHT Ajustadas - *Série de Vazões Médias Diárias Regularizadas AJUSTADA em UHE Ilha dos Pombos*: Série de vazões fornecida pela LIGHT, ajustada de forma a tornar-se compatível com a série de vazões médias mensais do ONS.

Observa-se que foram geradas, paralelamente, descargas sólidas mensais a partir da aplicação da curva-chave de sedimentos à série de vazões diárias fornecida pela LIGHT e à série de vazões mensais do ONS. Essas descargas sólidas mensais, originárias desses dois processos, foram correlacionadas como mostra a Figura 5.47.

Figura 5.47 - Correlação de Descargas Sólidas Médias Mensais
Período: jan/79-set/79; jan/82-dez/85; jan/95-dez/07



A partir dessa correlação foi possível estender e preencher a série de descargas sólidas médias mensais originárias da série de vazões diárias e obter a descarga sólida média em Ilha dos Pombos (8.368 t/dia), conforme relacionado na Tabela 5.24.

Tabela 5.24 - Série de Descargas Sólidas Médias Mensais na UHE Ilha dos Pombos

| ANO | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ | MÉDIA |
|------|---------|---------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 1931 | 18.293 | 156.411 | 75.756 | 25.171 | 5.168 | 2.321 | 1.349 | 815 | 903 | 1.837 | 2.025 | 11.897 | 25.162 |
| 1932 | 56.030 | 35.750 | 25.863 | 4.250 | 2.819 | 2.452 | 781 | 708 | 540 | 959 | 1.687 | 20.763 | 12.717 |
| 1933 | 35.411 | 7.505 | 5.572 | 1.837 | 1.118 | 581 | 567 | 331 | 451 | 867 | 1.236 | 13.861 | 5.778 |
| 1934 | 43.701 | 5.090 | 6.709 | 2.101 | 849 | 458 | 288 | 198 | 224 | 288 | 307 | 12.160 | 6.031 |
| 1935 | 12.606 | 109.259 | 22.069 | 6.770 | 2.025 | 1.247 | 646 | 446 | 428 | 1.851 | 940 | 894 | 13.265 |
| 1936 | 798 | 2.765 | 58.858 | 11.853 | 1.621 | 603 | 336 | 283 | 567 | 416 | 684 | 7.277 | 7.172 |
| 1937 | 37.037 | 42.277 | 6.770 | 4.344 | 3.669 | 1.067 | 495 | 288 | 228 | 1.385 | 3.691 | 51.149 | 12.700 |
| 1938 | 40.149 | 28.154 | 20.217 | 8.217 | 2.967 | 1.531 | 903 | 1.247 | 798 | 1.908 | 3.998 | 13.435 | 10.294 |
| 1939 | 22.967 | 19.270 | 5.517 | 7.671 | 1.595 | 841 | 482 | 321 | 279 | 261 | 912 | 3.953 | 5.339 |
| 1940 | 19.740 | 45.545 | 27.137 | 3.909 | 1.385 | 823 | 488 | 302 | 307 | 603 | 4.043 | 6.556 | 9.236 |
| 1941 | 10.390 | 3.062 | 6.139 | 3.005 | 959 | 603 | 588 | 297 | 1.203 | 1.582 | 2.435 | 12.833 | 3.591 |
| 1942 | 11.128 | 9.302 | 22.516 | 5.168 | 2.209 | 1.108 | 1.007 | 470 | 331 | 806 | 2.147 | 13.813 | 5.834 |
| 1943 | 87.508 | 43.893 | 24.288 | 5.572 | 1.894 | 1.326 | 724 | 632 | 540 | 1.937 | 1.647 | 9.993 | 14.996 |
| 1944 | 9.153 | 38.707 | 67.483 | 7.738 | 1.908 | 1.047 | 732 | 464 | 351 | 394 | 661 | 2.571 | 10.934 |
| 1945 | 10.837 | 42.748 | 11.128 | 6.989 | 1.269 | 1.097 | 1.149 | 458 | 416 | 316 | 1.181 | 7.671 | 7.105 |
| 1946 | 59.088 | 7.772 | 12.742 | 5.116 | 1.225 | 832 | 547 | 356 | 236 | 603 | 1.432 | 1.608 | 7.630 |
| 1947 | 33.994 | 52.853 | 209.182 | 18.349 | 4.585 | 1.996 | 2.419 | 1.349 | 1.373 | 1.809 | 4.043 | 20.278 | 29.353 |
| 1948 | 16.590 | 35.075 | 51.784 | 10.310 | 2.765 | 1.292 | 684 | 724 | 428 | 470 | 1.037 | 7.806 | 10.747 |
| 1949 | 23.163 | 44.182 | 10.111 | 3.158 | 1.017 | 969 | 639 | 411 | 283 | 554 | 912 | 4.683 | 7.507 |
| 1950 | 35.243 | 76.696 | 26.003 | 14.005 | 4.321 | 1.139 | 764 | 411 | 321 | 654 | 2.747 | 14.639 | 14.745 |
| 1951 | 21.379 | 29.646 | 43.128 | 17.074 | 2.930 | 1.097 | 969 | 646 | 411 | 446 | 367 | 1.981 | 10.006 |
| 1952 | 20.278 | 44.666 | 63.081 | 8.677 | 1.996 | 1.740 | 940 | 561 | 716 | 684 | 3.081 | 5.221 | 12.637 |
| 1953 | 1.727 | 3.277 | 2.783 | 3.669 | 1.420 | 724 | 446 | 297 | 321 | 270 | 1.713 | 3.821 | 1.706 |
| 1954 | 1.225 | 3.024 | 1.373 | 1.303 | 1.017 | 534 | 224 | 148 | 122 | 209 | 356 | 806 | 862 |
| 1955 | 8.534 | 1.396 | 1.087 | 1.303 | 476 | 341 | 170 | 119 | 96 | 157 | 588 | 3.563 | 1.486 |
| 1956 | 2.856 | 1.057 | 5.994 | 1.149 | 806 | 740 | 372 | 470 | 270 | 293 | 574 | 4.683 | 1.605 |
| 1957 | 6.739 | 7.772 | 26.566 | 19.504 | 2.162 | 1.057 | 716 | 399 | 781 | 416 | 1.494 | 4.961 | 6.047 |
| 1958 | 1.647 | 10.230 | 5.655 | 2.967 | 3.024 | 1.621 | 756 | 331 | 527 | 894 | 2.503 | 5.738 | 2.991 |
| 1959 | 27.353 | 4.274 | 14.247 | 7.277 | 997 | 514 | 331 | 388 | 202 | 311 | 2.116 | 1.781 | 4.983 |
| 1960 | 5.599 | 17.788 | 63.923 | 5.221 | 2.025 | 1.160 | 724 | 547 | 378 | 458 | 841 | 8.044 | 8.892 |
| 1961 | 80.667 | 77.780 | 82.346 | 14.101 | 5.248 | 1.996 | 1.108 | 684 | 326 | 293 | 654 | 1.880 | 22.257 |
| 1962 | 9.993 | 80.667 | 21.503 | 3.542 | 1.326 | 781 | 482 | 346 | 482 | 903 | 3.563 | 11.897 | 11.291 |
| 1963 | 12.471 | 15.493 | 4.986 | 1.108 | 534 | 394 | 266 | 209 | 184 | 205 | 781 | 311 | 3.078 |
| 1964 | 3.317 | 28.597 | 4.089 | 1.634 | 885 | 428 | 554 | 270 | 202 | 772 | 1.108 | 4.021 | 3.823 |
| 1965 | 36.091 | 71.935 | 31.815 | 5.012 | 6.465 | 2.272 | 1.457 | 885 | 540 | 1.937 | 3.887 | 8.641 | 14.245 |
| 1966 | 109.593 | 9.453 | 32.451 | 8.357 | 3.120 | 1.373 | 789 | 595 | 470 | 1.087 | 16.272 | 19.978 | 16.962 |
| 1967 | 120.626 | 143.067 | 112.292 | 21.566 | 5.090 | 2.892 | 1.634 | 885 | 700 | 654 | 4.250 | 11.551 | 35.434 |
| 1968 | 16.219 | 4.043 | 7.021 | 2.055 | 756 | 434 | 321 | 346 | 367 | 383 | 253 | 2.304 | 2.875 |
| 1969 | 8.044 | 3.864 | 5.738 | 2.225 | 669 | 632 | 372 | 362 | 236 | 646 | 3.842 | 8.750 | 2.948 |
| 1970 | 9.265 | 7.473 | 8.392 | 1.700 | 756 | 422 | 495 | 321 | 1.097 | 1.087 | 1.326 | 1.338 | 2.806 |
| 1971 | 1.469 | 236 | 2.948 | 669 | 372 | 561 | 205 | 136 | 288 | 748 | 2.272 | 12.072 | 1.831 |
| 1972 | 7.638 | 18.180 | 21.379 | 3.627 | 894 | 677 | 595 | 464 | 253 | 1.303 | 3.521 | 6.023 | 5.379 |
| 1973 | 17.183 | 22.709 | 5.627 | 5.823 | 1.647 | 858 | 661 | 446 | 351 | 885 | 3.931 | 7.671 | 5.649 |
| 1974 | 15.442 | 6.345 | 12.970 | 6.895 | 1.531 | 1.160 | 732 | 362 | 236 | 520 | 482 | 4.512 | 4.266 |

Tabela 5.24 (Continuação)
Série de Descargas Sólidas Médias Mensais na UHE Ilha dos Pombos

| ANO | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ | MÉDIA |
|---------------|----------------|----------------|----------------|---------------|--------------|---------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1975 | 19.504 | 16.219 | 6.286 | 1.952 | 832 | 428 | 422 | 249 | 177 | 781 | 3.909 | 10.592 | 5.112 |
| 1976 | 8.677 | 10.270 | 10.310 | 5.301 | 2.256 | 2.402 | 2.658 | 1.192 | 2.520 | 3.542 | 6.052 | 16.378 | 5.963 |
| 1977 | 22.580 | 7.505 | 2.537 | 4.585 | 1.225 | 724 | 405 | 232 | 534 | 372 | 1.908 | 13.813 | 4.702 |
| 1978 | 33.912 | 8.713 | 10.151 | 1.952 | 988 | 922 | 514 | 288 | 202 | 270 | 1.608 | 2.085 | 5.134 |
| 1979 | 6.273 | 53.581 | 11.141 | 2.834 | 1.824 | 998 | 666 | 596 | 947 | 495 | 4.392 | 8.044 | 7.649 |
| 1980 | 23.954 | 10.961 | 3.297 | 6.647 | 1.047 | 684 | 534 | 336 | 297 | 482 | 1.160 | 9.153 | 4.879 |
| 1981 | 30.797 | 6.286 | 5.142 | 2.640 | 959 | 617 | 341 | 244 | 167 | 588 | 3.953 | 15.958 | 5.641 |
| 1982 | 19.665 | 6.193 | 44.110 | 22.827 | 2.343 | 1.657 | 1.185 | 936 | 359 | 1.128 | 1.752 | 24.946 | 10.592 |
| 1983 | 67.614 | 30.333 | 26.399 | 18.118 | 6.303 | 43.638 | 5.872 | 1.995 | 20.123 | 12.709 | 17.917 | 38.553 | 24.131 |
| 1984 | 20.574 | 4.269 | 3.411 | 4.194 | 3.589 | 974 | 586 | 576 | 491 | 379 | 591 | 1.734 | 3.447 |
| 1985 | 64.864 | 79.557 | 59.194 | 11.046 | 3.615 | 12.651 | 961 | 637 | 678 | 651 | 1.417 | 4.510 | 19.982 |
| 1986 | 9.682 | 13.861 | 21.754 | 2.930 | 1.258 | 581 | 540 | 507 | 253 | 160 | 194 | 12.028 | 5.312 |
| 1987 | 14.738 | 19.445 | 5.517 | 12.116 | 4.909 | 2.658 | 684 | 351 | 470 | 501 | 540 | 5.435 | 5.614 |
| 1988 | 10.511 | 90.310 | 28.154 | 7.084 | 4.961 | 2.676 | 1.118 | 574 | 351 | 1.027 | 2.085 | 1.660 | 12.543 |
| 1989 | 21.503 | 31.342 | 27.570 | 8.044 | 1.923 | 1.781 | 1.017 | 1.007 | 876 | 708 | 1.047 | 3.257 | 8.340 |
| 1990 | 4.250 | 815 | 3.976 | 2.304 | 988 | 411 | 416 | 326 | 464 | 488 | 520 | 581 | 1.295 |
| 1991 | 17.237 | 23.293 | 18.124 | 27.934 | 4.392 | 1.214 | 789 | 428 | 372 | 1.349 | 561 | 1.809 | 8.125 |
| 1992 | 28.671 | 5.711 | 3.998 | 1.781 | 1.361 | 470 | 495 | 274 | 1.087 | 1.781 | 6.435 | 8.148 | 5.018 |
| 1993 | 3.459 | 11.466 | 14.589 | 9.340 | 1.292 | 1.017 | 440 | 266 | 394 | 1.077 | 434 | 815 | 3.716 |
| 1994 | 8.499 | 2.676 | 11.338 | 6.739 | 3.864 | 1.108 | 527 | 362 | 191 | 198 | 748 | 5.090 | 3.445 |
| 1995 | 2.545 | 53.930 | 5.299 | 2.193 | 779 | 371 | 349 | 182 | 134 | 1.499 | 3.207 | 5.933 | 6.368 |
| 1996 | 35.755 | 27.581 | 49.750 | 9.196 | 2.489 | 1.232 | 709 | 529 | 4.344 | 1.080 | 25.086 | 11.216 | 14.081 |
| 1997 | 54.867 | 15.060 | 12.584 | 2.791 | 1.388 | 1.440 | 319 | 249 | 346 | 727 | 1.807 | 3.960 | 7.961 |
| 1998 | 4.477 | 17.006 | 4.664 | 1.851 | 688 | 661 | 287 | 274 | 228 | 1.397 | 1.904 | 2.599 | 3.003 |
| 1999 | 29.910 | 19.181 | 14.769 | 2.554 | 863 | 783 | 504 | 284 | 232 | 286 | 700 | 6.518 | 6.382 |
| 2000 | 38.314 | 11.805 | 7.702 | 4.544 | 824 | 524 | 464 | 408 | 1.046 | 372 | 1.169 | 6.003 | 6.098 |
| 2001 | 6.737 | 8.408 | 3.507 | 1.991 | 652 | 344 | 227 | 174 | 209 | 497 | 1.013 | 3.998 | 2.313 |
| 2002 | 16.558 | 20.623 | 4.882 | 1.222 | 797 | 372 | 313 | 257 | 338 | 167 | 1.467 | 12.426 | 4.952 |
| 2003 | 34.873 | 11.260 | 6.592 | 2.224 | 877 | 542 | 434 | 367 | 348 | 898 | 2.898 | 5.728 | 5.587 |
| 2004 | 15.626 | 29.330 | 17.303 | 13.119 | 3.682 | 3.083 | 2.238 | 928 | 512 | 1.205 | 2.260 | 15.016 | 8.692 |
| 2005 | 35.873 | 42.570 | 17.212 | 9.221 | 3.623 | 2.159 | 1.471 | 897 | 819 | 717 | 2.530 | 11.271 | 10.697 |
| 2006 | 5.429 | 25.257 | 6.496 | 2.131 | 1.104 | 683 | 499 | 433 | 435 | 1.258 | 3.690 | 15.188 | 5.217 |
| 2007 | 70.518 | 14.245 | 3.061 | 1.729 | 1.148 | 751 | 510 | 455 | 214 | 441 | 2.162 | 2.962 | 8.183 |
| MÍNIMO | 798 | 236 | 1.087 | 669 | 372 | 341 | 170 | 119 | 96 | 157 | 194 | 311 | 862 |
| MÉDIA | 24.904 | 27.901 | 22.702 | 6.716 | 2.083 | 1.796 | 771 | 488 | 778 | 965 | 2.658 | 8.660 | 8.368 |
| MÁXIMO | 120.626 | 156.411 | 209.182 | 27.934 | 6.465 | 43.638 | 5.872 | 1.995 | 20.123 | 12.709 | 25.086 | 51.149 | 35.434 |

Através de relação entre áreas de drenagem foram calculadas as descargas sólidas naturais nos sítios da UHE Simplício, da UHE Itaocara I e da UHE Itaocara II. A Tabela 5.25 apresenta essas descargas médias sólidas totais.

**Tabela 5.25 - Descargas Sólidas Totais Médias Naturais
Período: 1.931 a 2.007**

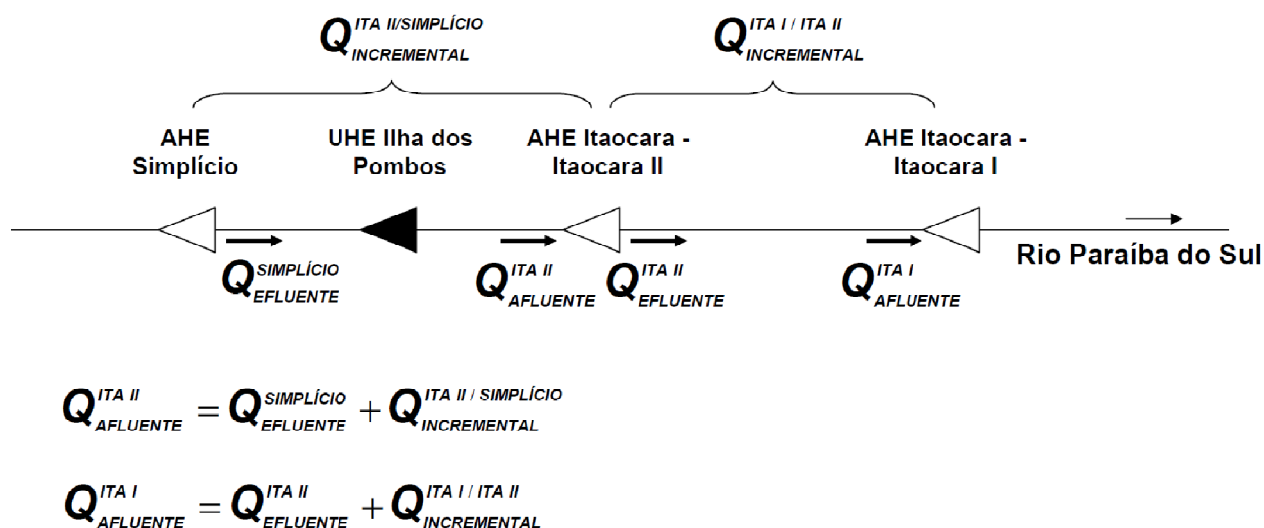
| UHE | Área de drenagem (km ²) | Descarga Sólida (t/dia) |
|-----------------|-------------------------------------|-------------------------|
| Ilha dos Pombos | 32.137 | 8.368 |
| Simplício | 29.815 | 7.764 |
| Itaocara II | 32.806 | 8.543 |
| Itaocara I | 33.680 | 8.770 |

5.1.9.4 Descargas Sólidas Após a Implantação das Usinas Hidrelétricas

Tendo em vista, também, a futura criação dos reservatórios das UHEs Simplício e de Itaocara II, fez-se mister considerar a retenção de sedimentos por eles promovida. Desprezou-se, contudo, a influência do reservatório da UHE Ilha dos Pombos, em virtude de sua pequena dimensão e avançada idade que resultam num presumido equilíbrio sedimentológico.

A Figura 5.48 mostra o esquema utilizado no cálculo das futuras descargas sólidas afluentes aos reservatórios das UHEs Itaocara I e Itaocara II.

Figura 5.48 - Esquema de Obtenção das Descargas Sólidas Afluentes aos Reservatórios



As descargas sólidas incrementais entre as futuras UHEs Itaocara II/Simplício e Itaocara I/Itaocara II, foram obtidas pela diferença das descargas sólidas atuais apresentadas na Tabela 5.25.

Para a determinação das descargas sólidas efluentes dos reservatórios de Simplício e Itaocara II foram realizadas simulações do assoreamento dos seus reservatórios, utilizando o método descrito no **item 5.1.9.6**. Os resultados obtidos mostram que a retenção de sedimentos nesses reservatórios se dá a uma taxa aproximadamente constante ao longo das primeiras décadas. Dessa forma, para as eficiências de retenção podem ser considerados os valores de cerca de 55% para aUHE Simplício e de 16% para aUHE Itaocara II.

A Tabela 5.26 reúne as descargas sólidas totais afluentes aos aproveitamentos consideradas neste estudo.

Tabela 5.26 - Descargas Sólidas Após Implantação dos Reservatórios

| UHE | Descarga Sólida (t/dia) | | |
|-------------|-------------------------|----------|-------------|
| | Afluente | Efluente | Incremental |
| Simplício | 7.764 | 3.494 | N/A |
| Itaocara II | 4.273 | 3.589 | 779 |
| Itaocara I | 3.816 | 661 | 227 |

Nota: A descarga sólida incremental refere-se à bacia da UHE em questão e aquele a montante.

5.1.9.5 Granulometria e Peso Específico dos Sedimentos

A análise granulométrica dos sedimentos transportados em suspensão e arrasto pelo rio Paraíba do Sul, realizada pela COHIDRO e pela LIGHT, a partir de medições de descargas sólidas executadas no posto Itaocara II Montante Formiga e Itaocara Jusante, apresentou os valores médios mostrados na Tabela 5.27.

Tabela 5.27 - Granulometria Média dos Sedimentos

| Sedimento | Argila (%) | Silte (%) | Areia (%) |
|-----------------|------------|-----------|-----------|
| Suspensão | 44,93 | 50,67 | 4,40 |
| Fundo (arrasto) | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| Total | 42,68 | 48,14 | 9,18 |

Nota: Na determinação da granulometria do sedimento total, considerou-se o sedimento de arrasto como 5% do sedimento em suspensão. Este percentual é inferior ao usualmente adotado, o que se justifica pela existência de reservatórios a montante que retêm grande parcela do material de fundo.

O peso específico aparente inicial do sedimento foi calculado segundo as equações abaixo (Lara e Pemberton apresentado por Strand, 1.974):

$$\gamma_i = W_c \times p_c + W_m \times p_m + W_s \times p_s$$

$$K = K_c \times p_c + K_m \times p_m + K_s \times p_s$$

onde:

- γ_i = peso específico aparente inicial do depósito de sedimentos (t/m^3);
- c, m, s = índices representativos das faixas granulométricas correspondentes a silte, argila e areia, respectivamente;
- W = peso específico inicial, tabelado segundo a faixa granulométrica e o tipo de operação do reservatório;
- K = constante de compactação tabelada segundo descrito acima;
- p = frações médias de argila, silte e areia presentes no depósito de sedimento;

Considerando que o reservatório da UHE Itaipava I terá uma operação do “Tipo 1 – Sedimento sempre ou quase sempre submerso”, segundo os critérios de Strand, 1.974 e que para este tipo de reservatório os valores de W_i e K_i são os indicados na Tabela 5.28, a seguir, essas equações resultam em:

$$\gamma_i = 0,86 \text{ t/m}^3;$$

$$K = 0,15334$$

Tabela 5.28 - Constantes W_i e K_i para Cálculo do Peso Específico Aparente (Strand, 1.974)

| Argila | | Silte | | Areia | |
|--------|--------|-------|--------|-------|-------|
| W_c | K_c | W_m | K_m | W_s | K_s |
| 0,416 | 0,2563 | 1,121 | 0,0913 | 1,554 | 0 |

Nota: Reservatórios com operação do “Tipo 1 – Sedimento sempre ou quase sempre submerso”.

O peso específico médio das várias camadas de sedimentos depositadas ao longo do tempo (γ_T) varia conforme as idades dessas camadas e pode ser estimado pela equação a seguir:

$$\gamma_T = \gamma_i + 0,4343 \times K \left(\frac{T}{T-1} \times \ln T \right)$$

onde:

T = tempo de operação do reservatório (anos).

5.1.9.6 Cálculo dos Volumes de Assoreamento do Reservatório

Na simulação do assoreamento dos reservatórios em estudo foi empregada a seguinte equação:

$$S = \frac{365 \times Q_{ST} \times E_r}{\gamma_T}$$

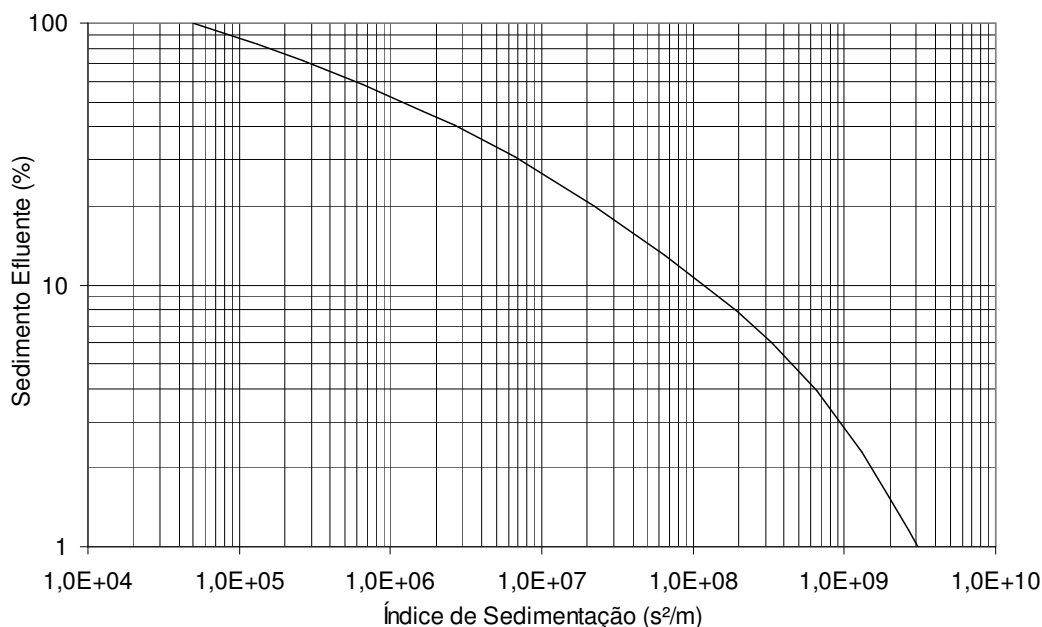
onde:

- S = Volume de sedimento retido no reservatório (m³/ano);
- Q_{ST} = Descarga sólida total média afluyente ao reservatório (t/dia);
- E_r = Eficiência de retenção do reservatório;
- γ_T = Peso específico aparente médio dos depósitos (t/m³);

Para a obtenção dos valores da eficiência de retenção E_r utilizou-se a “Curva de Churchill”, em decorrência dos resultados dos estudos de Borland (“River Mechanics”, Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, 1.971) que indicaram que essa curva conduz a melhores resultados que a “Curva de Brune”.

A Figura 5.49 representa essa curva, adaptada para unidades métricas.

Figura 5.49 - Curva de Churchill



Dessa forma, foram determinados os índices de sedimentação (IS), empregando-se a equação:

$$IS = \frac{V^2}{Q^2 \times L}$$

onde:

V = volume do reservatório = variável com o tempo;

Q = vazão média afluente;

L = comprimento do reservatório.

Esses dados, relativos aos reservatórios considerados, são apresentados na Tabela 5.29.

Tabela 5.29 - Dados para a Simulação do Assoreamento

| Reservatório das UHEs | Volume inicial do Reservatório (m ³) | Vazão média Afluente (m ³ /s) | Comprimento (m) |
|-----------------------|--|--|-----------------|
| Simplício | 83,8 x 10 ⁶ | 395 | 17.500 |
| Itacara II | 28,6 x 10 ⁶ | 432 | 22.248 |
| Itacara I | 412,8 x 10 ⁶ | 448 | 23.759 |

Nota: Dados da UHE Simplício extraídos do Relatório do Projeto Básico/FURNAS 2.006). Ver, também, outros dados incluídos no Anexo correspondente aos Estudos Hidrometeorológicos.

Empregando-se os valores das Tabela 5.27 e Tabela 5.29 foram efetuadas simulações de assoreamento dos reservatórios em questão.

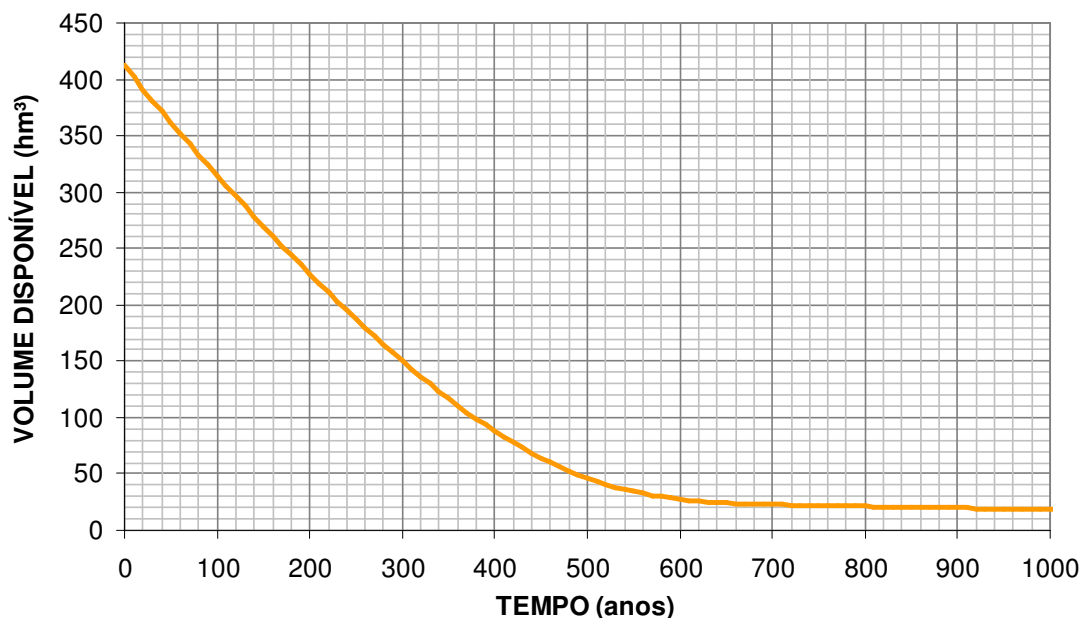
A Tabela 5.30 apresenta as estimativas das variáveis envolvidas no processo de simulação do assoreamento para diversos anos de operação do reservatório da UHE Itacara I.

A Figura 5.50 permite visualizar a diminuição da capacidade do reservatório devido ao processo de assoreamento.

Tabela 5.30 - Simulação do Assoreamento do Reservatório da UHE Itacara I

| Ano | | Índice de Sedimentação (s ² /m) | Sedimento Efluente (%) | Sedimento retido (t) | Sedimento retido acumulado (t) | Peso específico (t/m ³) | Volume final (hm ³) | |
|-----------|-----------|---|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------------|---|---------------------------------|---------------|
| Início | Fim | | | | | | Assoreado | Disponível |
| 0 | 10 | 3,60E+07 | 16,93 | 11.573.392 | 11.573.392 | 1,040 | 11,13 | 401,63 |
| 10 | 20 | 3,41E+07 | 17,17 | 11.539.787 | 23.113.179 | 1,075 | 21,51 | 391,25 |
| 20 | 30 | 3,23E+07 | 17,40 | 11.508.355 | 34.621.534 | 1,096 | 31,58 | 381,18 |
| 30 | 40 | 3,07E+07 | 17,62 | 11.477.774 | 46.099.308 | 1,112 | 41,46 | 371,30 |
| 40 | 50 | 2,91E+07 | 17,83 | 11.447.772 | 57.547.080 | 1,124 | 51,18 | 361,58 |
| 50 | 60 | 2,76E+07 | 18,04 | 11.418.236 | 68.965.316 | 1,135 | 60,78 | 351,98 |
| 60 | 70 | 2,62E+07 | 18,25 | 11.389.112 | 80.354.428 | 1,144 | 70,27 | 342,49 |
| 70 | 80 | 2,48E+07 | 18,46 | 11.360.374 | 91.714.802 | 1,151 | 79,66 | 333,10 |
| 80 | 90 | 2,34E+07 | 18,66 | 11.332.012 | 103.046.813 | 1,158 | 88,98 | 323,78 |
| 90 | 100 | 2,22E+07 | 18,86 | 11.304.024 | 114.350.837 | 1,164 | 98,21 | 314,55 |
| 100 | 110 | 2,09E+07 | 19,13 | 11.266.975 | 125.617.812 | 1,170 | 107,36 | 305,40 |
| 110 | 120 | 1,97E+07 | 19,52 | 11.212.166 | 136.829.978 | 1,175 | 116,42 | 296,34 |
| 120 | 130 | 1,86E+07 | 19,93 | 11.155.155 | 147.985.133 | 1,180 | 125,38 | 287,38 |
| 130 | 140 | 1,75E+07 | 20,36 | 11.095.790 | 159.080.923 | 1,185 | 134,25 | 278,51 |
| 140 | 150 | 1,64E+07 | 20,80 | 11.033.909 | 170.114.832 | 1,189 | 143,03 | 269,73 |
| 150 | 160 | 1,54E+07 | 21,27 | 10.969.341 | 181.084.173 | 1,194 | 151,72 | 261,04 |
| 160 | 170 | 1,44E+07 | 21,75 | 10.901.903 | 191.986.076 | 1,198 | 160,31 | 252,45 |
| 170 | 180 | 1,35E+07 | 22,26 | 10.831.397 | 202.817.473 | 1,201 | 168,81 | 243,95 |
| 180 | 190 | 1,26E+07 | 22,79 | 10.757.613 | 213.575.085 | 1,205 | 177,21 | 235,55 |
| 190 | 200 | 1,17E+07 | 23,34 | 10.680.323 | 224.255.408 | 1,209 | 185,52 | 227,24 |
| 290 | 300 | 5,23E+06 | 30,73 | 9.650.877 | 325.836.183 | 1,241 | 262,55 | 150,21 |
| 390 | 400 | 1,84E+06 | 43,43 | 7.880.979 | 413.395.134 | 1,273 | 324,68 | 88,08 |
| 490 | 500 | 5,14E+05 | 63,89 | 5.030.490 | 477.373.413 | 1,302 | 366,55 | 46,21 |
| 590 | 600 | 1,73E+05 | 82,71 | 2.409.380 | 511.911.232 | 1,329 | 385,19 | 27,57 |
| 690 | 700 | 1,11E+05 | 89,34 | 1.484.735 | 529.900.337 | 1,358 | 390,10 | 22,66 |
| 790 | 800 | 9,51E+04 | 91,40 | 1.197.810 | 543.013.291 | 1,386 | 391,69 | 21,07 |
| 890 | 900 | 8,29E+04 | 93,13 | 956.798 | 553.646.533 | 1,408 | 393,09 | 19,67 |
| 990 | 1000 | 7,35E+04 | 94,55 | 758.801 | 562.082.306 | 1,426 | 394,21 | 18,55 |
| 1990 | 2000 | 4,79E+04 | 98,91 | 152.258 | 596.270.869 | 1,499 | 397,72 | 15,04 |
| 2990 | 3000 | 4,43E+04 | 99,57 | 60.033 | 605.824.688 | 1,521 | 398,28 | 14,48 |
| 3990 | 4000 | 4,33E+04 | 99,78 | 31.100 | 610.140.510 | 1,531 | 398,45 | 14,31 |

Figura 5.50 - Redução do Volume do Reservatório da UHE Itacara I pelo Assoreamento



A Tabela 5.31 apresenta os tempos estimados para o assoreamento do reservatório até as cotas do canal de aproximação/adução da estrutura da Tomada d'Água, soleira do Vertedouro e assoreamento total do reservatórios, na cota do NA máximo normal.

Tabela 5.31 - Tempos Estimados de Assoreamento (anos)

| Discriminação | Cota (m) | Volume (hm³) | Tempo (anos) |
|--|----------|--------------|--------------|
| Canal de Aproximação/Adução da Tomada d'Água | 60,00 | 35,41 | 34 |
| Soleira do Vertedouro | 76,00 | 65,72 | 65 |
| NA Máximo Normal | 89,60 | 412,76 | 4.000 |

Na obtenção desses tempos, considerou-se que a superfície do depósito de sedimentos é horizontal, o que se constitui em hipótese conservadora, já que o assoreamento tende a ocorrer de montante para jusante. Dessa forma, realizou-se o estudo, considerando a distribuição desuniforme dos depósitos ao longo do reservatório, de forma a permitir uma caracterização mais realista do tempo para que a operação do empreendimento seja afetada, o que ocorre a partir do momento que os sedimentos atingem a soleira do canal de aproximação/adução da Tomada d'Água.

5.1.9.7 Distribuição dos Sedimentos no Reservatório

Para avaliar a distribuição dos sedimentos no reservatório, foi utilizado o Modelo Matemático/HEC-6 "Scour and Deposition in Rivers and Reservoirs", distribuído pelo U.S Army Corps of Engineers.

O modelo *HEC-6* é um modelo numérico unidimensional de fundo móvel, destinado à simulação do escoamento em canais e à previsão de mudanças geométricas nas seções fluviais e nos perfis de linha de água, resultantes da erosão e do assoreamento, através de longos períodos de tempo.

Nas simulações aplicadas em reservatórios, caso do presente trabalho, o modelo calcula os depósitos ao longo do perfil longitudinal, prevendo os volumes e locais de assoreamento e fornecendo as seções transversais modificadas após o processo de transporte sólido.

Essas seções foram utilizadas para subsidiar os estudos de remanso referentes aos cenários de 10 e 30 anos de idade do reservatório e para avaliar a vida útil operacional do empreendimento UHE.

a) Dados de Entrada

O modelo necessita que sejam fornecidos os elementos discriminados em seguida. Seguem, também, comentários sobre o uso das informações disponíveis que em alguns casos, sofreram adequações visando à calibração do modelo (**item c**).

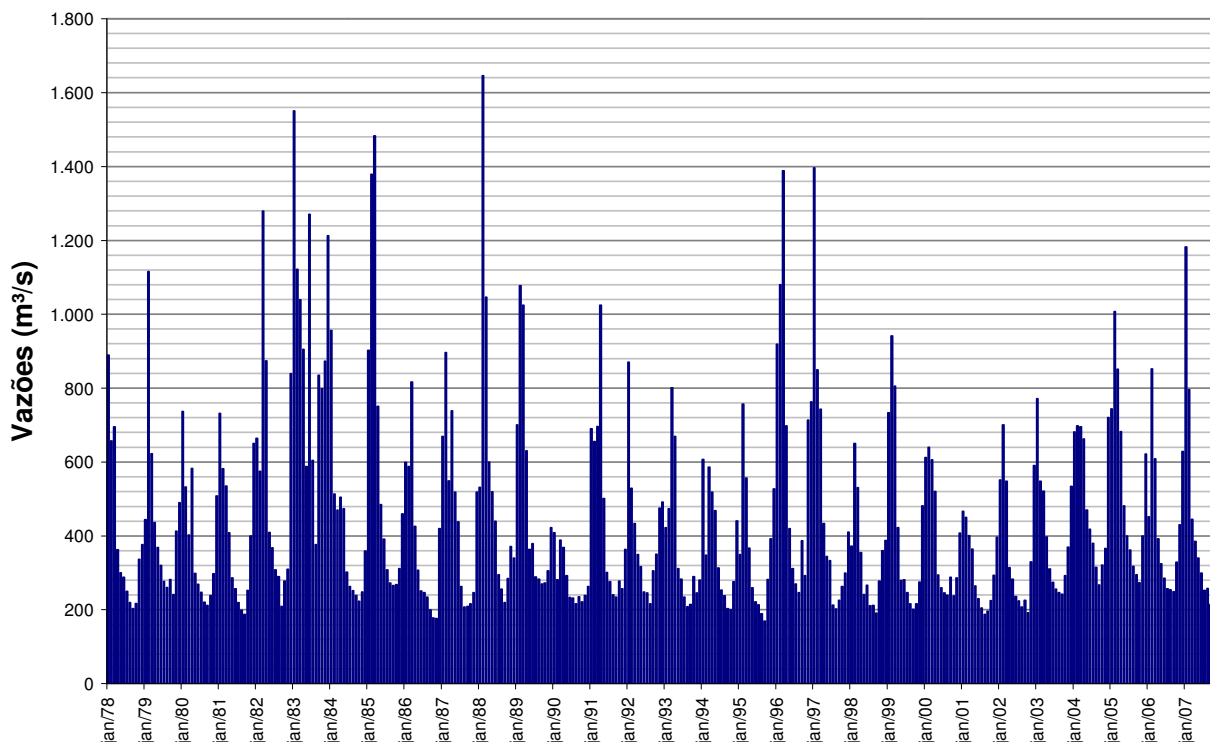
- **Geometria do trecho fluvial a ser simulado**, a qual é representada pelas seções topobatimétricas e pelas distâncias entre as mesmas. Na modelagem sedimentológica foi mantida a mesma geometria construída e calibrada para o modelo hidráulico (**Ver item 5.1.10**);
- **Características do leito móvel de cada uma das seções**. A modelagem de leito móvel necessita que sejam especificados os limites, horizontais e verticais, do volume de controle, os quais devem ser definidos para cada seção transversal do modelo. Esses limites definem a região da seção transversal passível de erosão.

No presente estudo, admitiu-se que a erosão pode ocorrer apenas entre os pontos que caracterizam a calha principal no modelo hidráulico, tendo sido considerada nula a máxima profundidade erodível abaixo de cada seção inicial. Essa premissa justifica-se pela constatação *“in situ”* da predominância de leito rochoso ao longo de todo estirão modelado.

- **Hidrograma a ser simulado** - o modelo se baseia na equação de movimento permanente, uniformemente variado, aproximando o hidrograma afluente por uma sequência de períodos de escoamento permanente (vazão variável por patamares);

Da série de vazões médias mensais regularizadas em UHE Itaipava I, foi utilizado para a modelagem o período de 30 anos mais recente – 1.978 a 2.007. Dessa forma, tem-se um período compatível com os cenários de simulação acima mencionados e vazões teoricamente mais representativas das condições fluviais futuras. A Figura 5.51 apresenta o hidrograma correspondente.

Figura 5.51 - Hidrograma Empregado na Modelagem



- **Características hidráulicas** - o perfil de linha d'água é calculado para cada período de regime permanente simulado, usando o "standard step method" para resolver as equações de continuidade e de energia. As perdas por atrito são calculadas pela fórmula de Manning, com os coeficientes de rugosidade (n) podendo variar em função da altura do escoamento, em cada seção transversal. O modelo calcula ainda as perdas localizadas devido à contração ou à expansão do escoamento.

Conforme já mencionado, neste estudo foram mantidos os coeficientes de Manning, de contração e expansão obtidos na calibração do modelo hidráulico HEC-RAS, realizada na primeira etapa do estudo de remanso (ver item 5.1.10).

- **Condição de contorno** - os níveis d'água a jusante do trecho a ser modelado devem ser especificados, através de uma curva-chave.

No caso da calibração do modelo foi adotada a seção S-27, correspondente ao posto Itaocara Jusante. Já para as simulações, considerou-se a seção S-22 (Eixo da UHE Itaocara I) com nível constante de 89,6 m, correspondente ao nível d'água máximo normal do reservatório de UHE Itaocara I.

- **Carga de sedimentos** - o aporte de sedimentos ao estirão simulado é calculado através da curva-chave de sedimentos, dada pela relação entre a descarga líquida e a descarga sólida total (arraste + suspensão). Essa curva deve ser inserida na seção mais a montante do trecho modelado (S-9). Foi utilizada a curva-chave de sedimentos definida no item 5.1.9.2 (Figura 5.53).

Para a caracterização do material transportado pelo rio foram utilizadas as granulometrias médias do material do leito e do material em suspensão, obtidas com base nas medições de descarga sólida realizadas pela LIGHT e pela COHIDRO. A Tabela 5.32 apresenta os percentuais relativos às faixas granulométricas adotadas.

Tabela 5.32 - Granulometria do Material Sólido Transportado

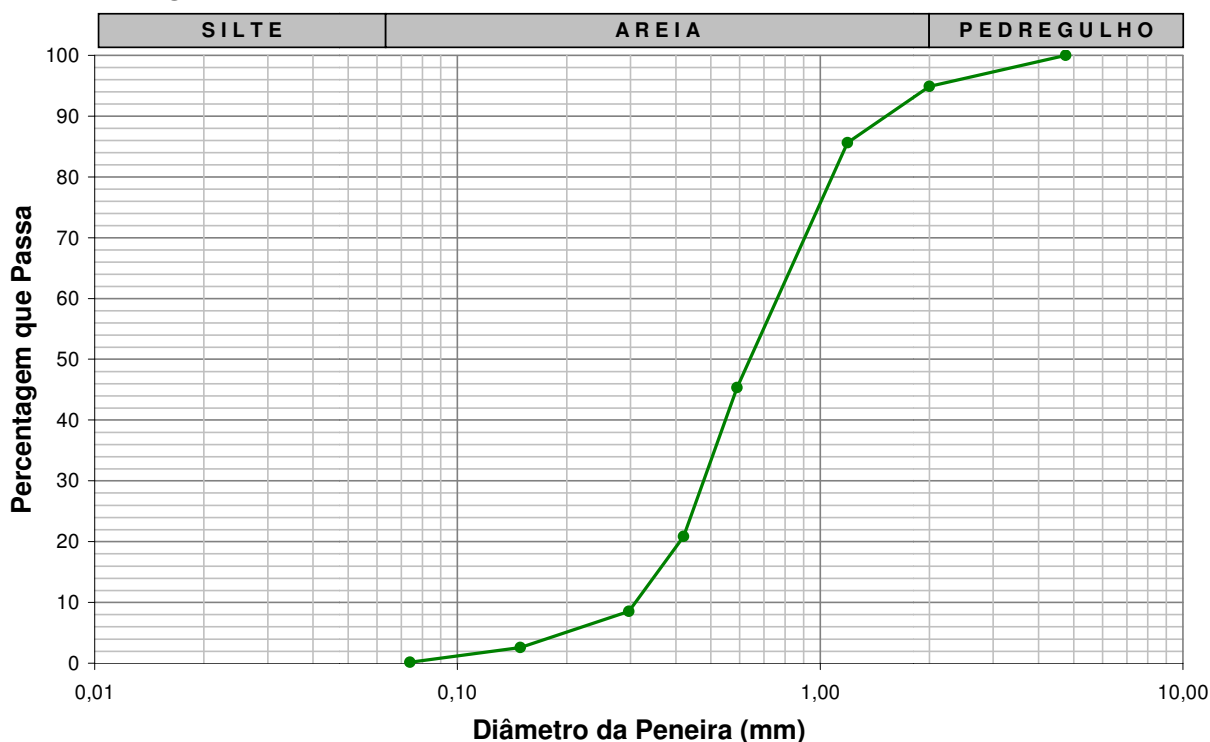
| Diâmetro | Classificação HEC-6 | | Granulometria Padrão Adotada |
|----------------|---------------------|--------------------|------------------------------|
| 0 / 0,004 | CLA | Argila Grossa | 42,68 |
| 0,004 / 0,008 | SILT | Silte muito fino | 10,25 |
| 0,008 / 0,016 | SILT | Silte fino | 14,86 |
| 0,016 / 0,031 | SILT | Silte médio | 10,07 |
| 0,031 / 0,0625 | SILT | Silte Grosso | 12,96 |
| 0,062 / 0,125 | VFS | Areia muito fina | 3,05 |
| 0,125 / 0,25 | FS | Areia fina | 1,44 |
| 0,25 / 0,5 | MS | Areia média | 1,50 |
| 0,5 / 1 | CS | Areia Grossa | 2,00 |
| 1 / 2 | VCS | Areia muito grossa | 0,95 |
| 2 / 4 | VFG | Pedregulho muito | 0,17 |
| 4 / 8 | FG | Pedregulho fino | 0,07 |
| 8 / 16 | MG | Pedregulho médio | 0,00 |
| Totalização | | | 100 |

Nota: Na determinação da granulometria do material sólido transportado, considerou-se o sedimento de arrasto como 5% do sedimento em suspensão. Este percentual é inferior ao usualmente adotado, o que se justifica pela existência de reservatórios a montante que retêm grande parcela do material de fundo.

- **Granulometria do material de fundo** - deve ser fornecida para cada seção, de acordo com a classificação do AGU/ American Geophysical Union.

Com base nas medições de descarga sólida realizadas pela LIGHT e pela Cohidro, foi definida uma granulometria média representativa de todas as seções do modelo. Este padrão granulométrico é apresentado na Figura 5.52, onde se percebe uma predominância de areia média no material de fundo.

Figura 5.52 - Curva Granulométrica Média do Material Sólido do Leito



b) Parâmetros do Modelo

- **Velocidade de Queda das Partículas em Suspensão**

Para o cálculo da velocidade de queda das partículas em suspensão foi utilizado o “default” do modelo HEC-6, que se baseia em curvas elaboradas de maneira experimental para cálculo do número de Reynolds e calcula de maneira iterativa a velocidade até atingir o valor teórico esperado.

- **Equações de Transporte de Sedimento**

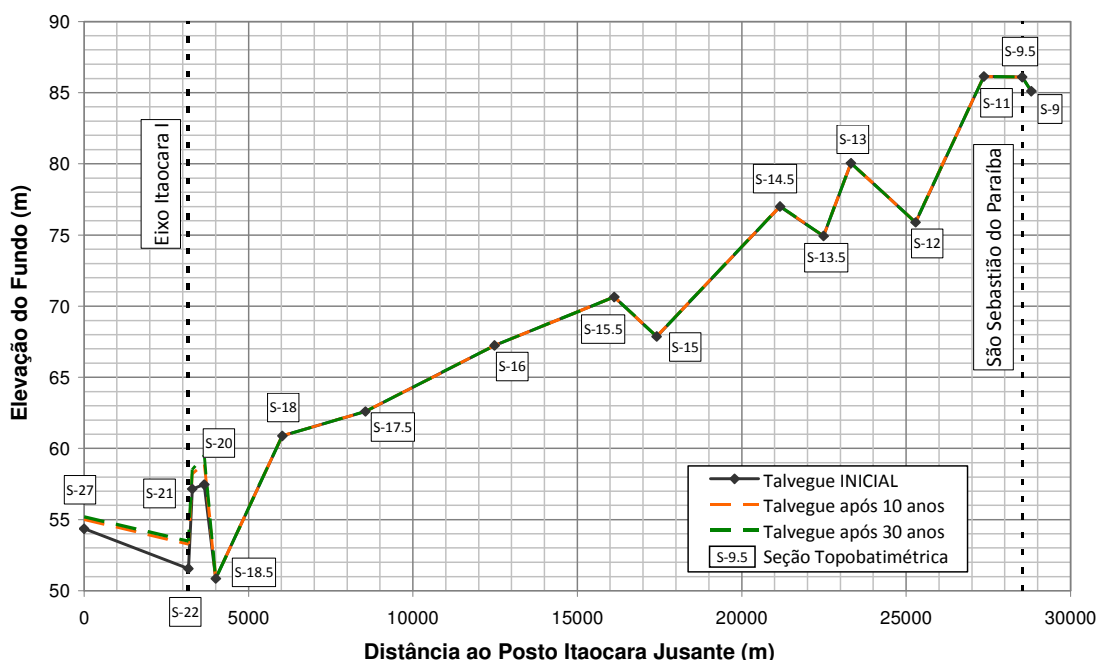
O potencial de transporte de sedimento, medida de quanto material sólido pode ser transportado sob determinada condição hidrodinâmica, pode ser calculado por meio de várias equações. Neste estudo foi utilizada a equação de “Meyer-Peter-Muller”, considerada a mais indicada para representar as condições locais.

c) Calibração do Modelo HEC-6

Tendo em vista a obtenção de resultados compatíveis com as condições atuais do rio Paraíba do Sul que se encontra em equilíbrio geomorfológico, as informações disponíveis foram criteriosamente analisadas e ajustadas num processo de aproximações sucessivas, de forma a se obter perfil de leito do rio que se aproximasse das condições atuais do curso d'água. Constam do **item (a)** acima, premissas e adequações empregadas no processo.

A Figura 5.53 permite comparar os perfis de leito atual e leito resultante da simulação com o HEC-6 para os tempos de 10 e 30 anos.

Figura 5.53 - Perfil Longitudinal do Leito do Rio em Condições Naturais após 0, 10 e 30 Anos



Nota-se que a modelagem apresenta resultados adequados, configurando diferenças em relação ao curso d'água natural em seções localizadas no sítio do aproveitamento UHE Itaocara I, principalmente à jusante do Barramento que tem influência desprezível no remanso do reservatório.

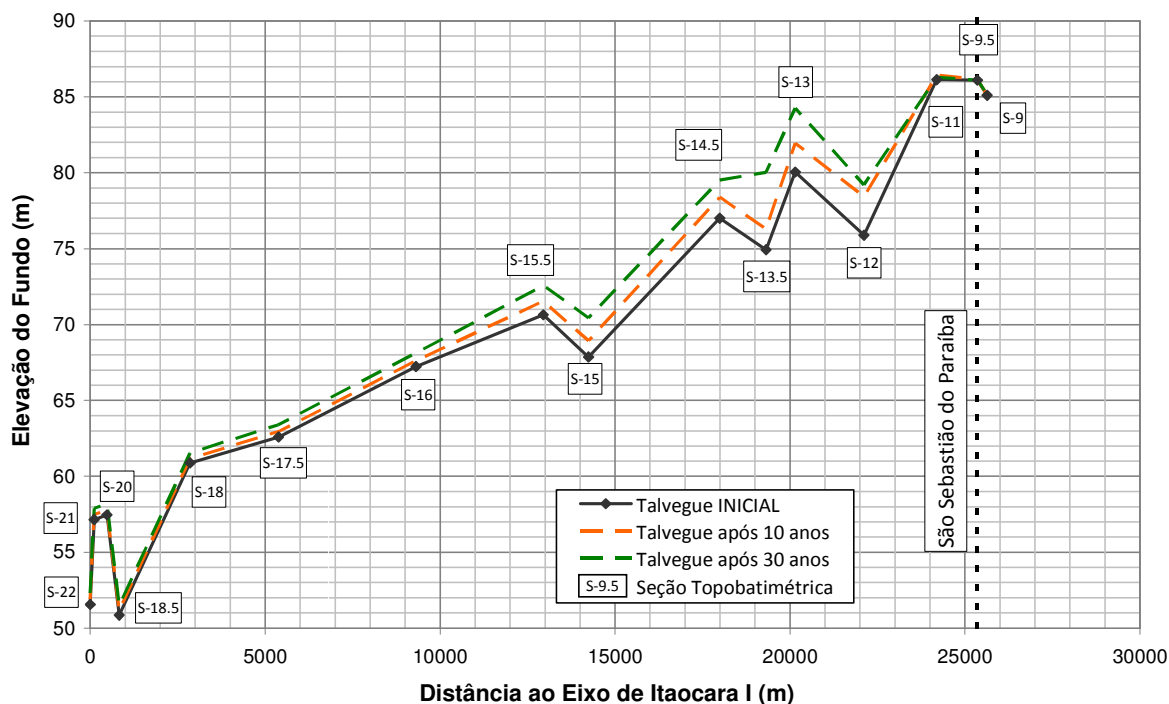
d) Simulação de Assoreamento do Reservatório

Com o modelo HEC-6 calibrado foi possível simular a evolução do leito e das seções transversais do rio Paraíba do Sul ao longo do tempo, considerando a implantação da UHE Itaocara I, de forma a caracterizar as modificações esperadas em função da retenção de sedimentos no reservatório formado.

- **Perfil longitudinal do rio Paraíba do Sul**

A Figura 5.54 apresenta os perfis longitudinais do leito do rio Paraíba do Sul em início de operação do empreendimento UHE Itacara I e após 10(dez) e 30(trinta) anos de operação do seu reservatório.

Figura 5.54 - Perfil Longitudinal do Leito do Rio após 0, 10 e 30 Anos de Operação do Reservatório



- **Seções Transversais do rio Paraíba do Sul**

Para cada um dos cenários considerados, foram obtidas as seções transversais modificadas pelos depósitos de sedimentos. As Figura 5.55 e Figura 5.56 exemplificam os resultados encontrados para as seções transversais de São Sebastião do Paraíba e do local do Barramento da UHE Itacara I.

Figura 5.55 - Seção Transversal do rio Paraíba do Sul em São Sebastião do Paraíba nos Anos 0, 10 e 30 de Operação do Reservatório

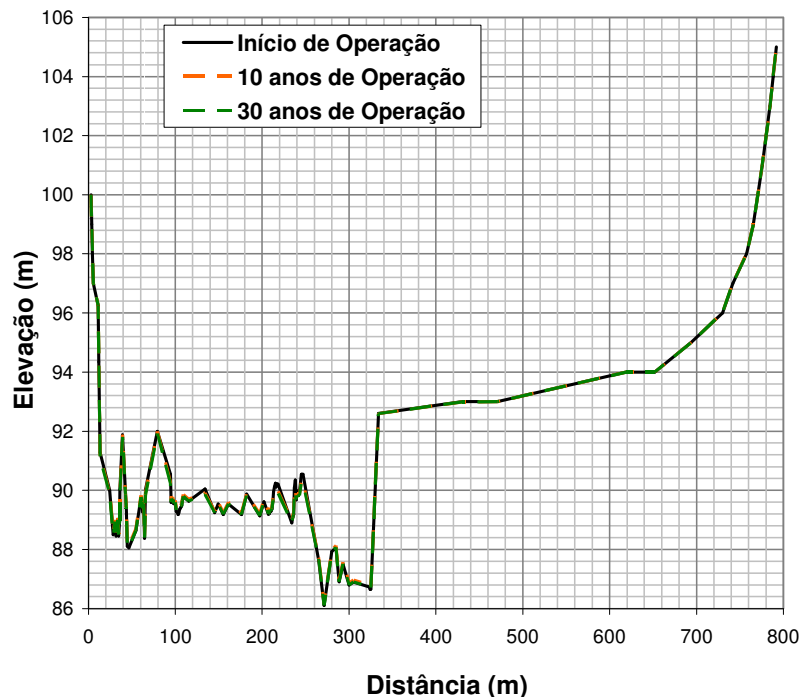
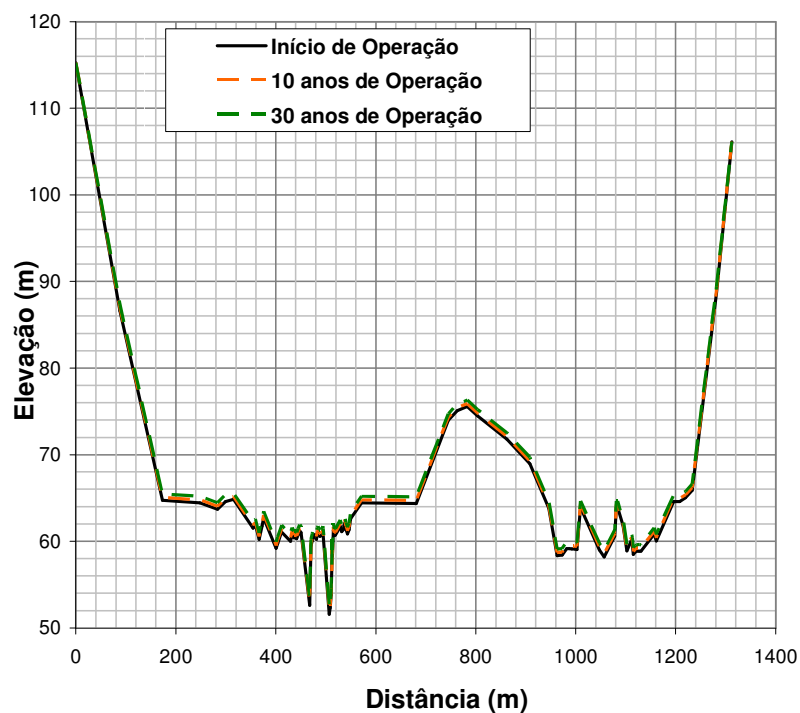


Figura 5.56 - Seção Transversal do rio Paraíba do Sul no local do barramento da UHE Itaocara I nos Anos 0, 10 e 30 de Operação do Reservatório



Estas e as demais seções transversais, correspondentes aos cenários em estudo, subsidiaram os estudos de remanso com reservatório assoreado (item 5.1.10.6) e são apresentadas no Anexo correspondente aos “Estudos Hidrometeorológicos”.

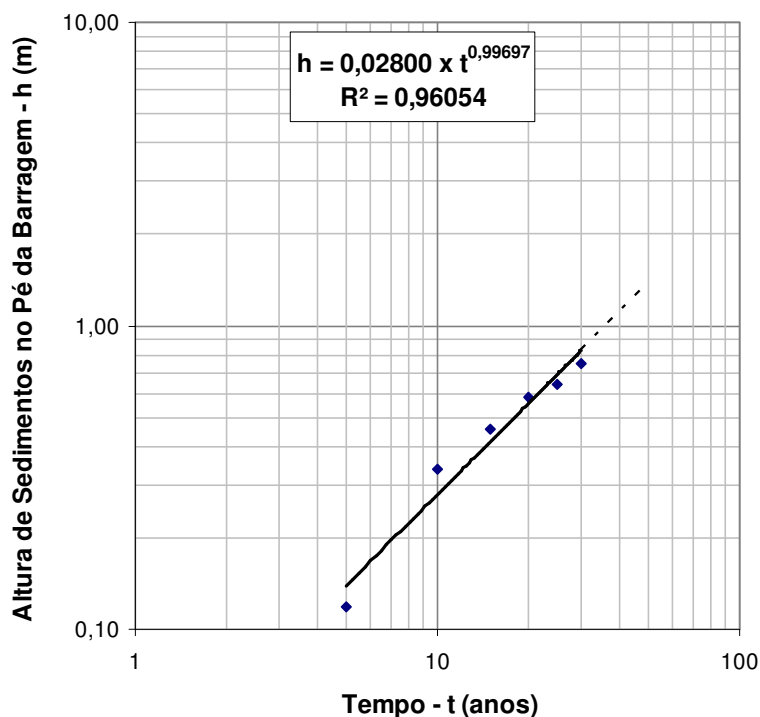
e) Altura de Sedimentos no “Pé” da Barragem UHE Itaipava I

As simulações realizadas também permitiram estimar a evolução dos depósitos de sedimentos no “pé” da Barragem. A Tabela 5.33 reúne as alturas desses depósitos para diversos tempos de operação do empreendimento, enquanto a Figura 5.57 relaciona esses dados.

Tabela 5.33 - Altura dos Depósitos no “Pé” da Barragem

| Tempo de Operação (anos) | Altura do Depósito (m) |
|--------------------------|------------------------|
| 0 | 0,00 |
| 5 | 0,12 |
| 10 | 0,34 |
| 15 | 0,46 |
| 20 | 0,58 |
| 25 | 0,64 |
| 30 | 0,75 |

Figura 5.57 - Evolução da Altura de Sedimentos no “Pé” da Barragem da UHE Itaipava I



A partir da relação estabelecida na Figura 5.64 foi estimada a altura de sedimentos no “pé” da Barragem para um assoreamento de 50(cinquenta) anos e sua correspondente altitude para o reservatório estudado. A Tabela 5.34 apresenta esse resultado e outros dados de interesse.

Tabela 5.34 - Dados e Resultados do Estudo de Distribuição dos Sedimentos no Reservatório

| Discriminação | Valor |
|--|--------|
| Cota do pé da barragem (m) | 46,00 |
| Altura de sedimentos (m) | 1,38 |
| Cota dos sedimentos no pé da barragem (m) | 47,38 |
| Cota da Soleira do Canal de Adução Tomada d'Água (m) | 60,000 |

A análise conjugada da cota de sedimentos no “pé” da barragem EL. 47,38m, após 50 anos de operação do reservatório da UHE Itacara I, com a cota da soleira do canal de aproximação da Tomada d'Água EL. 60,00m, permite concluir que a UHE Itacara I deverá operar sem problemas sedimentológicos durante mais de 50(cinquenta) anos.

Conseqüentemente, não é de se esperar que o processo de sedimentação/assoreamento do reservatório venha a ocasionar problemas operacionais para a Tomada d'Água da UHE Itacara I durante sua vida útil. Apesar disso, recomenda-se a realização de levantamentos topobatimétricos, após decorridos cerca de 10(dez) anos da implantação do reservatório. Em função dos resultados obtidos neste levantamento decenal, deverão ser programados novos levantamentos, tudo visando o monitoramento da real evolução do assoreamento.

5.1.10 Remanso do Reservatório

Diferentemente dos estudos de remanso usualmente desenvolvidos na fase de Projeto Básico, nos quais se realizam simulações de escoamento em um reservatório com nível d'água conhecido, a UHE Itacara I foi contemplado com análises específicas de diferentes cenários, em consequência das seguintes peculiaridades:

- Existência dopovoado de São Sebastião do Paraíba no extremo de montante do reservatório da UHE Itacara I;
- Necessidade de se considerar a formação de depósitos de sedimentos no reservatório, na medida em que esse fenômeno tem influência no remanso.

Em face do acima exposto, fez-se mister uma otimização do “Nível d’Água Máximo Normal” estabelecido no “Relatório de Validação de Alternativa Para Viabilização Ambiental” (PCE Engenharia, Maio/2.009), partindo-se da premissa de que com a implantação do reservatório da UHE Itaocara I não deve provocar o recrudescimento das inundações que assolam periodicamente o povoado de São Sebastião do Paraíba, mesmo após 30(trinta) anos de assoreamento. Nesse estudo de “otimização”, realizado por aproximações sucessivas, foi utilizado o Modelo HEC-RAS, devidamente calibrado com base em resultados de levantamentos de campo, conjugado com os resultados das análises sedimentológicas apresentadas no **item 5.1.9**. Uma vez definido o nível d’água máximo normal do reservatório em questão, outras simulações de remanso foram efetuadas, incluindo o “braço”/remanso do reservatório a ser formado no vale do rio Pirapetinga, principal afluente local do rio Paraíba do Sul, conforme detalha-se em seguida.

5.1.10.1 Dados Básicos

Foram utilizados os seguintes dados:

- Curvas-chave naturais dos postos Itaocara Jusante, São Sebastião do Paraíba e Itaocara II Canal Esquerdo, apresentadas no **item 5.1.7**;

Seções topobatimétricas transversais ao rio Paraíba do Sul, resultantes de levantamentos de campo (12 seções em 2.009 e 14 seções em 1.995) e de análises de escritório fundamentadas em restituição aerofotogramétrica realizada em 2.009 na escala 1:5.000 (06 seções). A Figura 5.58 ilustra, como exemplo, a seção S-14.5, obtida em escritório, utilizada para caracterizar o controle fluvial identificado nesse trecho do rio. A Figura 5.66 e o desenho G13-DEB-0021 apresentam a localização dessas seções, enquanto a Tabela 5.35 apresenta as distâncias entre elas.

Seções topobatimétricas transversais ao rio Pirapetinga, resultantes de levantamentos de campo realizados em 2.009 (05 seções) e baseadas na restituição supracitada (07 seções).

A Tabela 5.36 relaciona essas seções e as distâncias entre elas (ver também Figura 5.59);

Quando necessário, as seções transversais levantadas em campo foram complementadas a partir do aerolevantamento supracitado.

Figura 5.58 - Seção Topobatimétrica S-14.5



Figura 5.59 - Localização das Seções Topobatimétricas

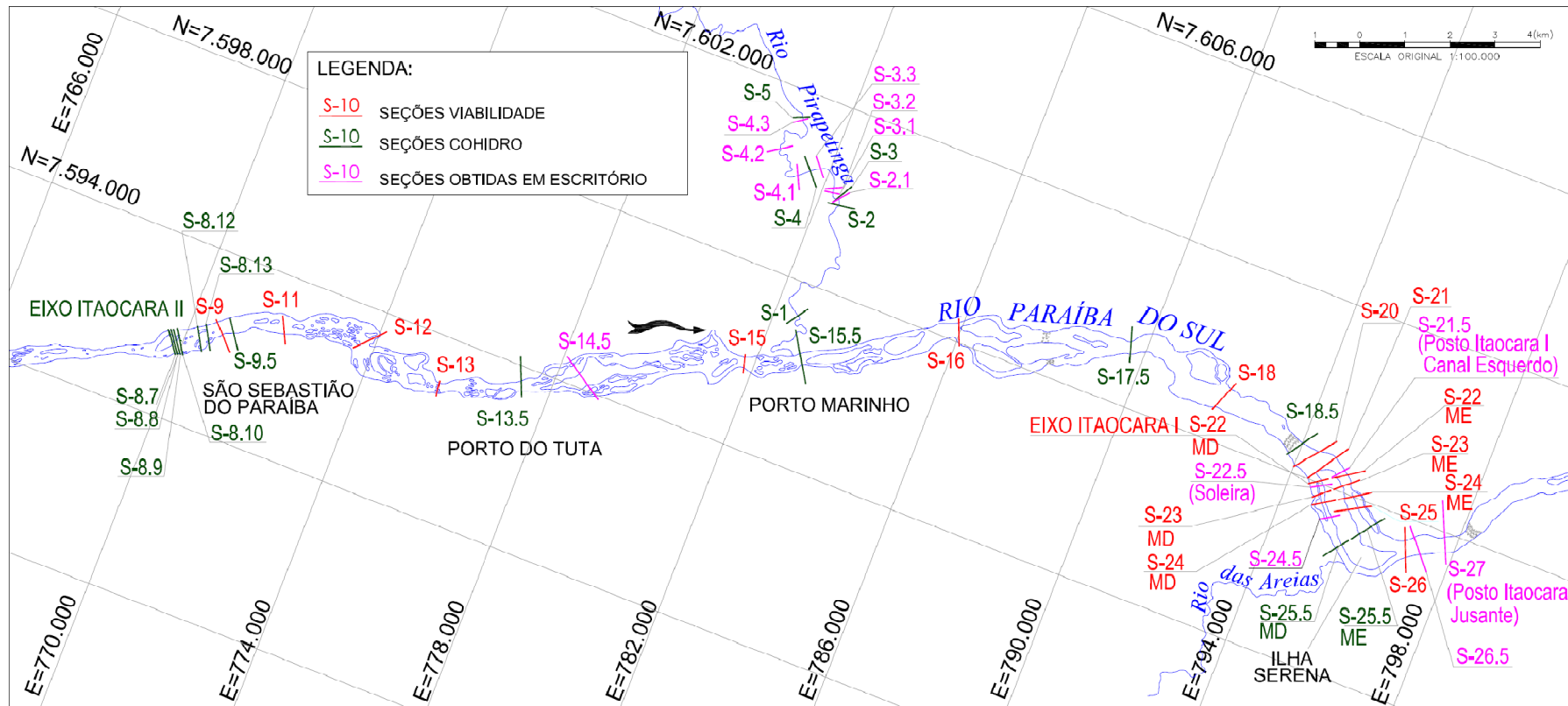


Tabela 5.35 - Distâncias das Seções Topobatimétricas do Rio Paraíba do Sul

| Trecho | Seção | Local | Distâncias entre as seções (m) | | | |
|----------|----------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|--------|-------|-------|
| | | | ME | Centro | MD | |
| Superior | S-8.7 | | 50 | 50 | 68 | |
| | S-8.8 | | 59 | 56 | 59 | |
| | S-8,9 | Eixo Itaocara II | 89 | 76 | 69 | |
| | S-8.10 | | 458 | 444 | 491 | |
| | S-8.12 | | 203 | 203 | 212 | |
| | S-8.13 | Montante São Sebastião do Paraíba | 247 | 332 | 440 | |
| Médio | S-09 | São Sebastião do Paraíba | 309 | 277 | 281 | |
| | S-9.5 | Posto São Sebastião do Paraíba | 1.293 | 1.162 | 1.278 | |
| | S-11 | | 2.473 | 2.083 | 1.867 | |
| | S-12 | | 2.475 | 1.962 | 2.552 | |
| | S-13 | | 857 | 835 | 994 | |
| | S-13.5 | Porto do Tuta | 1.400 | 1.324 | 1.731 | |
| | S-14.5 | | 4.524 | 3.747 | 4.024 | |
| | S-15 | | 1.342 | 1.294 | 1.539 | |
| | S-15.5 | Porto Marinho | 3.857 | 3.635 | 4.055 | |
| | S-16 | | 4.551 | 3.930 | 4.808 | |
| | S-17.5 | Porto das Cruzes | 3.441 | 2.529 | 3.036 | |
| | S-18 | | 2.305 | 2.025 | 2.208 | |
| | S-18.5 | | 396 | 346 | 348 | |
| | S-20 | | 479 | 368 | 401 | |
| S-21 | Montante da Ilha Serena | 113 | 113 | 113 | | |
| Inferior | Canal Direito Ilha Serena | S-22MD | Eixo Itaocara I | 149 | 107 | 106 |
| | | S-22.5 MD | Barragem Abandonada | 136 | 168 | 221 |
| | | S-23 MD | | 227 | 202 | 192 |
| | | S-24 MD | | 402 | 357 | 450 |
| | | S-24.5 MD | | 754 | 684 | 780 |
| | | S-25.5 MD | | 1.966 | 1.945 | 2.156 |
| | Canal Esquerdo Ilha Serena | S-21.5 ME | Posto Itaocara I Canal Esquerdo | 143 | 106 | 88 |
| | | S-22 ME | Eixo Itaocara I | 224 | 211 | 248 |
| | | S-23 ME | | 320 | 286 | 318 |
| | | S-24 ME | | 309 | 382 | 455 |
| | | S-25 ME | | 499 | 497 | 554 |
| | | S-25.5 ME | | 1.062 | 1057 | 1.340 |
| | Jusante Ilha Serena | S-26 | Jusante Ilha Serena | 268 | 290 | 376 |
| | | S-26.5 | | 688 | 613 | 579 |
| | | S-27 | Posto Itaocara Jusante | 0 | 0 | 0 |

Tabela 5.36 - Distâncias das Seções Topobatimétricas do Rio Pirapetinga

| Seções | Distâncias entre as seções (m) | | |
|-------------|--------------------------------|--------|-------|
| | ME | Centro | MD |
| S-5 | 55 | 61 | 74 |
| S-4.3 | 1.344 | 1.333 | 1.389 |
| S-4.2 | 1.378 | 1.230 | 1.339 |
| S-4.1 | 300 | 310 | 341 |
| S-4 | 244 | 241 | 252 |
| S-3.3 | 676 | 665 | 648 |
| S-3.2 | 134 | 118 | 126 |
| S-3.1 | 145 | 152 | 169 |
| S-3 | 18 | 16 | 15 |
| S-2.1 | 278 | 163 | 132 |
| S-2 | 3.804 | 3.780 | 3.839 |
| S-1 | 2.170 | 2.102 | 2.432 |
| Confluência | 0 | 0 | 0 |

Níveis d'água (NAs) referentes a três(03) perfis de superfície líquida do rio Paraíba do Sul e três (03) perfis do rio Pirapetinga, relacionados nas Tabela 5.37eTabela 5.38, respectivamente.

Tabela 5.37 - Níveis d'Água do Rio Paraíba do Sul (m)

| Seção | Local | Data | | |
|---------|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | | 30/01/2.009 | 14/02/2.009 | 06/03/2.009 |
| S-9,5 | São Sebastião do Paraíba | 92,00 | 92,99 | 91,11 |
| S-13,5 | Porto do Tuta | 85,69 | 86,57 | 84,92 |
| S-15,5 | Porto Marinho | 77,82 | 78,85 | 76,74 |
| S-17,5 | Porto das Cruzes | 70,54 | 71,43 | 69,62 |
| S-18,5 | Montante da Ilha Serena | 64,46 | 65,44 | 63,65 |
| S-22 MD | Eixo Itaocara I | 63,96 | 64,94 | 63,39 |
| S-23 MD | Jusante Barragem Abandonada | 63,47 | 64,70 | 62,09 |
| S-24 MD | Posto Itaocara I Canal Direito | 63,43 | 64,64 | 62,02 |
| S-21.5 | Seção de Medição ME | 63,64 | 64,57 | 62,83 |
| S-27 | Seção de Medição | 61,68 | 63,24 | 60,57 |

Tabela 5.38 - Níveis d'Água do Rio Pirapetinga (m)

| Seção | Data | | |
|-------|-------------|-------------|-------------|
| | 14/02/2.009 | 06/03/2.009 | 19/08/2.009 |
| S-1 | 79,11 | 79,11 | 78,89 |
| S-2 | 84,43 | 84,32 | 84,19 |
| S-3 | 85,72 | 85,61 | 85,54 |
| S-4 | - | 87,67 | 87,56 |
| S-5 | 111,80 | 111,74 | 111,66 |

- Vazões do rio Paraíba do Sul correspondentes aos perfis de superfície líquida, determinadas utilizando-se a curva-chave do posto Itaocara Jusante e os níveis d'água nele observados nos mesmos dias do levantamento dos perfis. Na Tabela 5.39 são relacionadas essas vazões.

Tabela 5.39 - Vazões do Rio Paraíba do Sul Correspondentes aos Perfis de Linha d'Água

| Data | Vazão (m ³ /s) |
|-------------|---------------------------|
| 30/01/2.009 | 1.332 |
| 14/02/2.009 | 2.374 |
| 06/03/2.009 | 714 |

- Vazões do rio Pirapetinga transferidas do posto Fazenda da Barra (A= 531 km²) para a foz do rio Pirapetinga (A= 633 km²) pela relação entre as áreas de drenagem. As vazões desse posto foram calculadas de forma análoga à descrita acima. A Tabela 5.40 relaciona as vazões assim obtidas.

Tabela 5.40 - Vazões do Rio Pirapetinga Correspondentes aos Perfis de Linha d'Água

| Data | Vazão (m ³ /s) |
|-------------|---------------------------|
| 14/02/2.009 | 12,8 |
| 06/03/2.009 | 8,91 |
| 19/08/2.009 | 5,29 |

5.1.10.2 Método do Modelo HEC-RAS

Nos estudos em questão utilizou-se o programa “HEC-RAS” versão 4.0, desenvolvido pelo *US Army Corps of Engineers* (1.997), que permite calcular perfis de linhas d’água e respectivas linhas de energia numa abordagem permanente, unidimensional e gradualmente variada. O procedimento de cálculo baseia-se na aplicação das equações de conservação de massa e de energia entre as seções de cálculo.

A técnica de aferição do modelo consiste em tornar compatíveis os valores dos níveis d’água obtidos por simulação com os relativos aos perfis instantâneos observados ao longo do trecho de rio em estudo, considerando-se as respectivas descargas.

Os cálculos são iniciados em uma seção de controle do rio, com propagação para montante, se o regime de escoamento for subcrítico, ou em sentido oposto se for supercrítico. O nível d’água para a primeira seção de cálculo deve corresponder a uma elevação conhecida ou ao nível d’água referente à profundidade crítica para uma certa descarga.

Para determinação das perdas de carga por atrito entre as seções de cálculo é utilizada a fórmula de Manning, na qual o coeficiente de rugosidade é função de diversos fatores, tais como vegetação, material do leito, configuração e nível d’água no canal. Normalmente três valores para o coeficiente de rugosidade são suficientes para a caracterização de uma seção; são eles os referentes à calha principal do rio e às duas margens.

As perdas de carga devido à variação da área de escoamento, por expansão ou contração, são calculadas através da aplicação de coeficientes de perda de carga, que devem ser informados ao modelo para cada seção. Esses coeficientes multiplicam a diferença absoluta das cargas cinéticas entre as seções transversais para obtenção da perda de energia causada pela transição.

5.1.10.3 Calibração do Modelo HEC-RAS

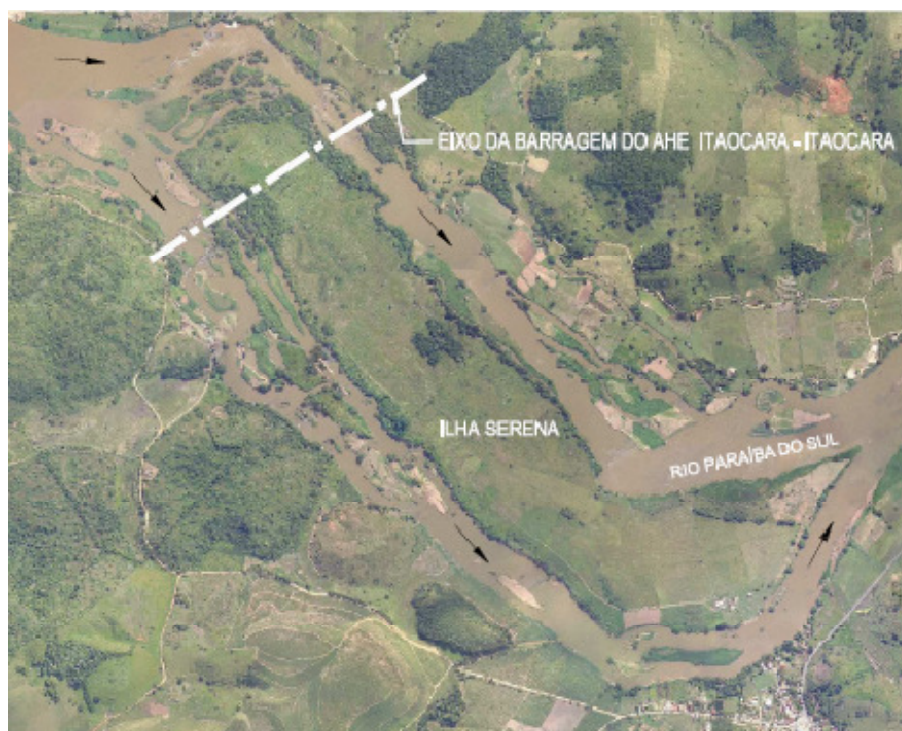
A etapa de calibração do modelo consiste no estabelecimento de coeficientes de rugosidade em cada seção e de coeficientes de perdas de carga localizadas, devidas às transições em cada trecho, de forma a obter níveis d’água simulados aproximadamente iguais aos observados. Essa etapa tem fundamental importância para **assegurar um prognóstico realista das condições hidráulicas de escoamento para outras vazões, em condições naturais sem Barramento e com reservatório formado devido à implantação do Barramento.**

Foi considerado no processo o estirão fluvial compreendido pelo posto Itaocara Jusante e pelo sítio da UHE Itaocara II, onde foi instalado o posto Itaocara II Canal Esquerdo. Para sistematizar a análise em questão e considerando os principais objetivos do estudo que inclui a obtenção de curvas-chaves em condições de operação do empreendimento para três seções estratégicas, esse estirão foi dividido em três, conforme explicado a seguir.

a) **Trecho Inferior** (Posto Itaocara Jusante – Ilha Serena)

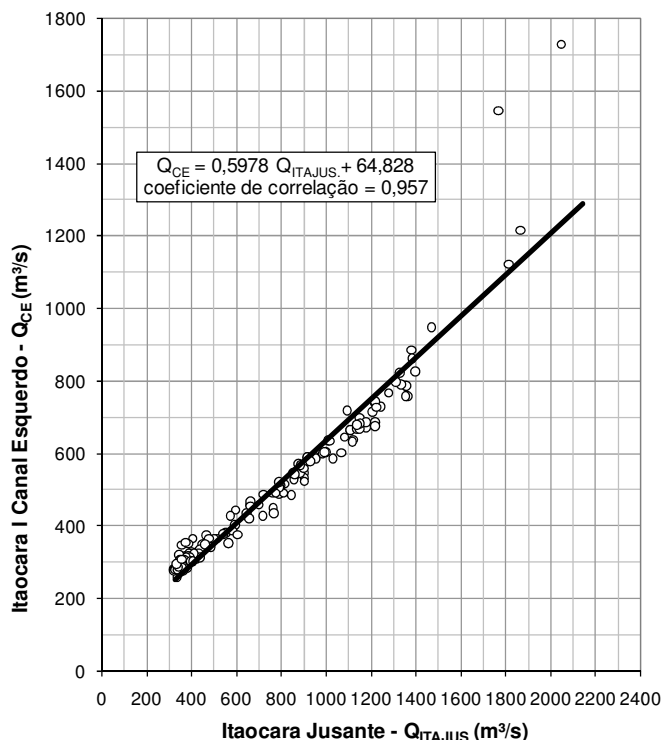
O estudo desse trecho permitiu caracterizar o efeito da implantação da UHE Itaocara I na curva-chave do posto Itaocara I Canal Esquerdo, futuro local do canal de fuga da UHE Itaocara I. A Figura 5.60 permite vislumbrar a complexidade do escoamento local, o qual, além de se repartir em vários canais, sofre a influência de controles naturais e de uma estrutura hidráulica abandonada no canal direito a montante do posto supracitado.

Figura 5.60 - Foto Aérea do Sítio do Aproveitamento



Durante a etapa de calibração, a partição de vazões entre as margens esquerda e direita da Ilha Serena foi realizada utilizando-se a correlação apresentada na Figura 5.61.

Figura 5.61 - Correlação de Vazões Médias Diárias entre Itaocara Jusante e Itaocara I Canal Esquerdo



Para esse trecho utilizou-se como condição de contorno a curva-chave do posto Itaocara Jusante.

Os coeficientes de Manning resultantes da calibração desse trecho que contempla os dois principais canais formados pela Ilha Serena, estão apresentados na Tabela 5.41.

Tabela 5.41 - Coeficientes de Manning do Rio Paraíba do Sul no Trecho Inferior

(a) Canal Direito da Ilha Serena

| Seções | Local | Faixa de Vazões (m ³ /s) | | | |
|-----------|---------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|
| | | ≤ 100 | 225 | 480 | ≥ 890 |
| S-22MD | Eixo Itaocara I | 0,085 | 0,085 | 0,085 | 0,065 |
| S-22,5 MD | Barragem Abandonada | 0,085 | 0,085 | 0,085 | 0,065 |
| S-23 MD | | 0,013 | 0,065 | 0,085 | 0,045 |
| S-24 MD | | 0,013 | 0,055 | 0,085 | 0,025 |
| S-24,5 MD | | 0,013 | * | 0,065 | 0,055 |
| S-25,5 MD | | 0,013 | * | 0,085 | 0,085 |

Nota: 1 - *Valores interpolados

2 - Valores interpolados para vazões intermediárias

(b) Canal Esquerdo da Ilha Serena

| Seções | Local | Faixa de Vazões (m ³ /s) | |
|-----------|---------------------------------|-------------------------------------|--------|
| | | ≤ 860 | ≥ 1485 |
| S-21.5 ME | Posto Itaocara I Canal Esquerdo | 0,085 | 0,035 |
| S-22 ME | Eixo Itaocara I | 0,085 | 0,035 |
| S-23 ME | | 0,055 | 0,035 |
| S-24 ME | | 0,035 | 0,035 |
| S-25 ME | | 0,035 | 0,035 |
| S-25,5 ME | | 0,035 | 0,035 |

Nota: Valores interpolados para vazões intermediárias

(c) Jusante Ilha Serena

| Seções | Local | Faixa de Vazões (m ³ /s) |
|--------|------------------------|-------------------------------------|
| | | Todas as vazões |
| S-26 | Jusante Ilha Serena | 0,035 |
| S-26.5 | | 0,035 |
| S-27 | Posto Itaocara Jusante | 0,035 |

A comparação entre os perfis de linha d'água simulados e os níveis d'água medidos no campo é mostrada na Tabela 5.42 e nas Figura 5.62 a Figura 5.67.

Tabela 5.42 - Níveis d'Água Observados e Simulados na Calibração do Modelo HEC-RAS (m)

| Trecho | Seção | Data | | | | | | | | |
|-------------------------------|-----------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------------|-------|------|
| | | 30/01/2.009 | | | 14/02/2.009 | | | 06/03/2.009 | | |
| | | Obs. | Sim. | Dif. | Obs. | Sim. | Dif. | Obs. | Sim. | Dif. |
| Canal Direito da Ilha Serena | S-22 MD | 63,96 | 63,81 | 0,15 | 64,94 | 64,88 | 0,06 | 63,39 | 63,18 | 0,21 |
| | S-23 MD | 63,47 | 63,46 | 0,01 | 64,70 | 64,72 | -0,02 | 62,09 | 62,02 | 0,07 |
| | S-24 MD | 63,43 | 63,38 | 0,05 | 64,64 | 64,69 | -0,05 | 62,02 | 62,00 | 0,02 |
| Canal Esquerdo da Ilha Serena | S-21.5 ME | 63,64 | 63,75 | -0,11 | 64,57 | 64,59 | -0,02 | 62,83 | 62,61 | 0,22 |

Notas:

1. Obs = Observado; Sim = Simulado; e Dif = Diferença;
2. As diferenças obtidas para a seção S-22 MD, relativas às menores vazões, são consequência da existência de barragem abandonada à jusante;
3. As diferenças relativas a seção S-21,5 ME, para as menores vazões, se devem a existência de corredeira à jusante.

Como é demonstrado no próximo subitem (b), as diferenças entre NA observados e simulados não tem repercussão na calibração do trecho a montante (trecho médio).

Figura 5.62 - Perfis de Linha d'Água Observado em 30/01/2009 e Simulado Canal Direito da Ilha Serena

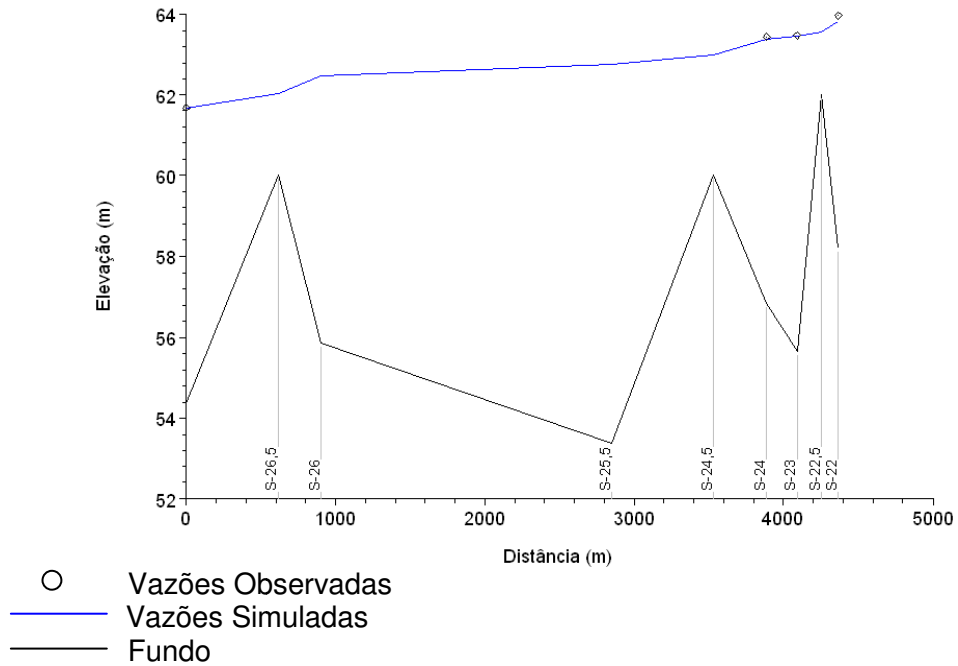


Figura 5.63 - Perfis de Linha d'Água Observado em 30/01/2009 e Simulado Canal Esquerdo da Ilha Serena

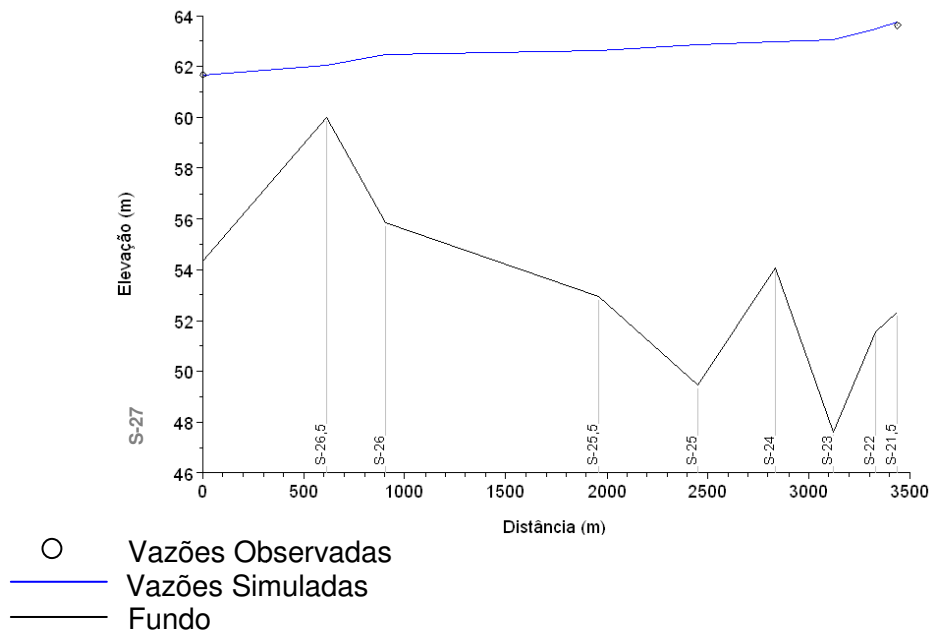


Figura 5.64 - Perfis de Linha d'Água Observado em 14/02/2009 e Simulado Canal Direito da Ilha Serena

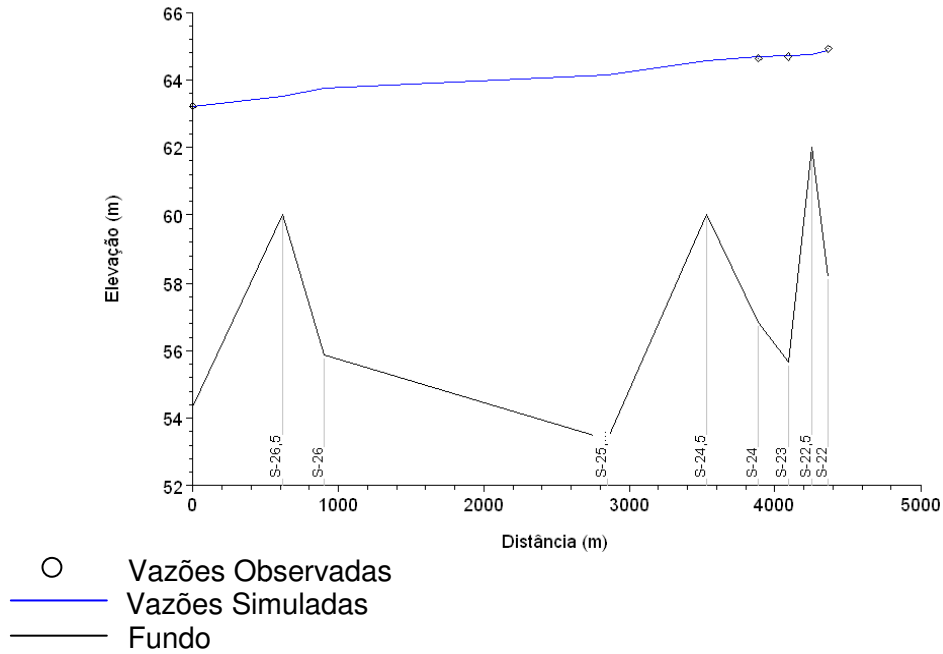


Figura 5.65 - Perfis de Linha d'Água Observado em 14/02/2009 e Simulado Canal Esquerdo da Ilha Serena

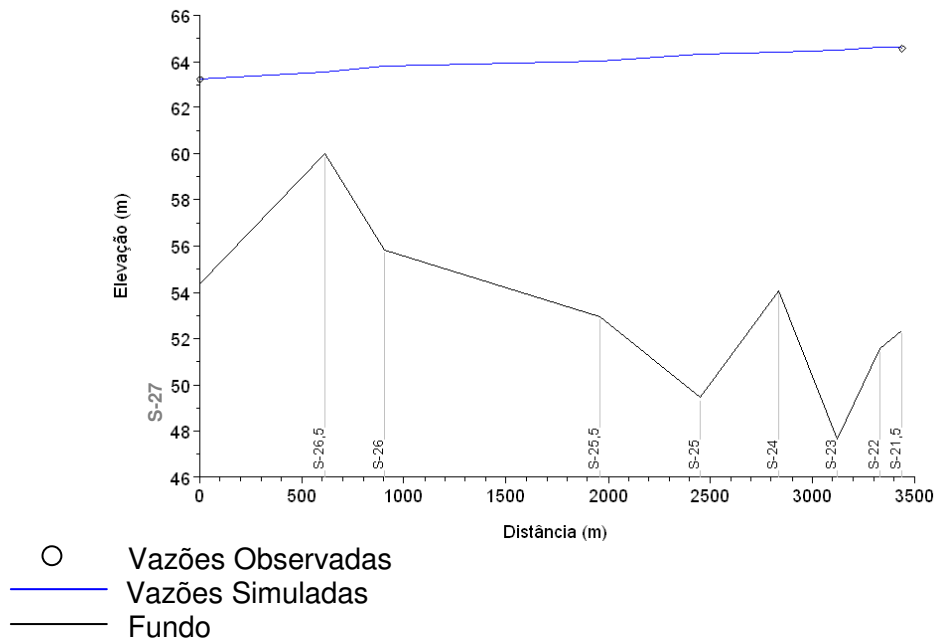


Figura 5.66 - Perfis de Linha d'Água Observado em 06/03/2009 e Simulado Canal Direito da Ilha Serena

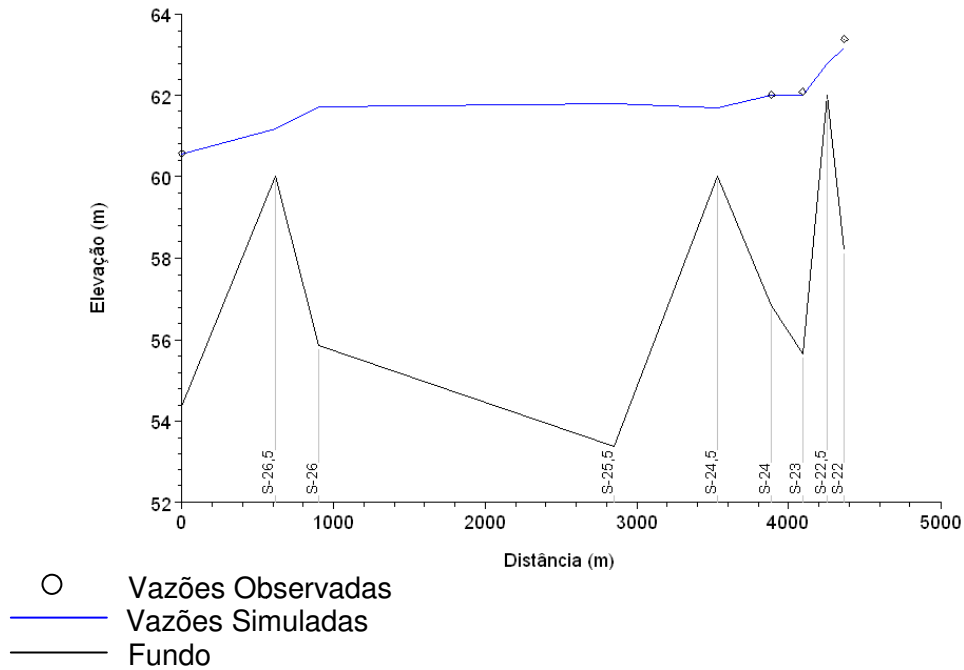
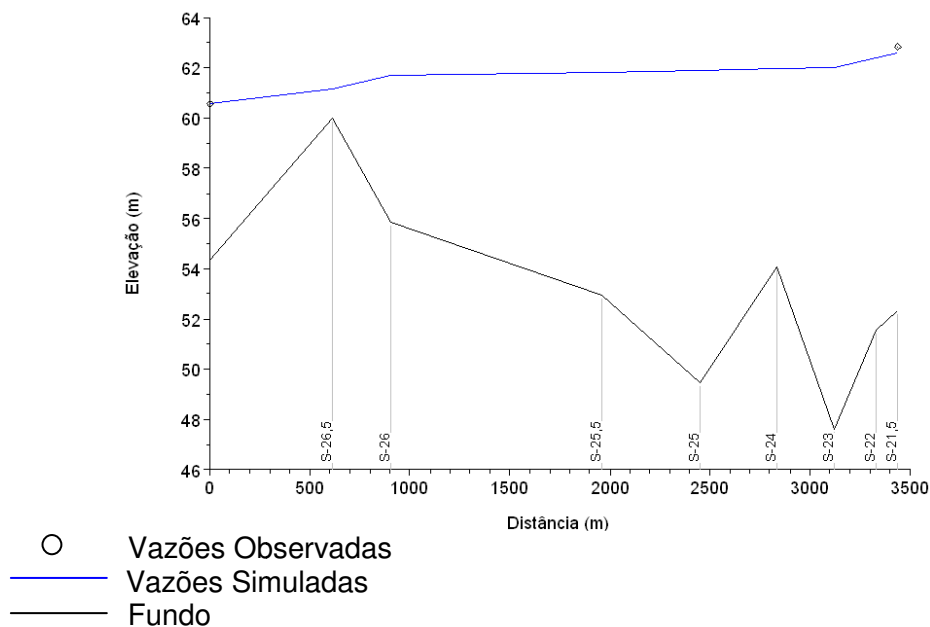


Figura 5.67 - Perfis de Linha d'Água Observado em 06/03/2009 e Simulado Canal Esquerdo da Ilha Serena



b) **Trecho Médio** (Ilha Serena – Posto São Sebastião do Paraíba)

Para esse trecho, manteve-se como condição de contorno o posto Itaocara Jusante, obtendo-se os coeficientes de Manning relacionados na Tabela 5.43.

Tabela 5.43 - Coeficientes de Manning do Rio Paraíba do Sul no Trecho Médio

| Seções | Local | Faixa de Vazões (m³/s) | | |
|--------|--------------------------------|------------------------|-------|--------|
| | | ≤ 715 | 1330 | ≥ 2380 |
| S-9,5 | Posto São Sebastião do Paraíba | 0,028 | 0,032 | 0,028 |
| S-11 | | 0,035 | 0,035 | 0,035 |
| S-12 | | 0,035 | 0,035 | 0,035 |
| S-13 | | 0,035 | 0,035 | 0,035 |
| S-13,5 | Porto do Tuta | 0,068 | 0,045 | 0,028 |
| S-14,5 | | 0,080 | 0,080 | 0,055 |
| S-15 | | 0,080 | 0,080 | 0,055 |
| S-15,5 | Porto Marinho | 0,065 | 0,055 | 0,05 |
| S-16 | | 0,068 | 0,068 | 0,04 |
| S-17,5 | Porto das Cruzes | 0,045 | 0,055 | 0,075 |
| S-18 | | 0,035 | 0,035 | 0,035 |
| S-18,5 | | 0,085 | 0,062 | 0,067 |
| S-20 | | 0,085 | 0,085 | 0,07 |
| S-21 | Montante da Ilha Serena | 0,085 | 0,065 | 0,045 |

Nota: Valores interpolados para vazões intermediárias

A comparação entre os perfis de linha d'água simulados e os níveis d'água medidos no campo é mostrada na Tabela 5.44 e nas Figura 5.68 a Figura 5.70.

Tabela 5.44 - Níveis d'Água Observados e Simulados na Calibração do Modelo HEC-RAS (m)

| Seção | Data | | | | | | | | |
|--------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|--------------|-------|-------|
| | 30/01/2.009 | | | 14/02/2.009 | | | 06/03/2.009 | | |
| | Obs. | Sim. | Dif. | Obs. | Sim. | Dif. | Obs. | Sim. | Dif. |
| S-9,5 | 92,00 | 91,97 | 0,03 | 92,99 | 92,96 | 0,03 | 91,11 | 91,12 | -0,01 |
| S-13,5 | 85,69 | 85,67 | 0,02 | 86,57 | 86,73 | -0,16 | 84,92 | 84,92 | 0,00 |
| S-15,5 | 77,82 | 77,91 | -0,09 | 78,85 | 78,89 | -0,04 | 76,74 | 76,71 | 0,03 |
| S-17,5 | 70,54 | 70,52 | 0,02 | 71,43 | 71,47 | -0,04 | 69,62 | 69,62 | 0,00 |
| S-18,5 | 64,46 | 64,48 | -0,02 | 65,44 | 65,39 | 0,05 | 63,42 | 63,32 | 0,10 |

Notas: 1 - Obs = Observado; Sim = Simulado; e Dif = Diferença.

2 - Dado de NA em negrito ajustado em face de medição inconsistente

Figura 5.68 - Perfis de Linha d'Água Observado em 30/01/2.009 e Simulado Trecho Médio

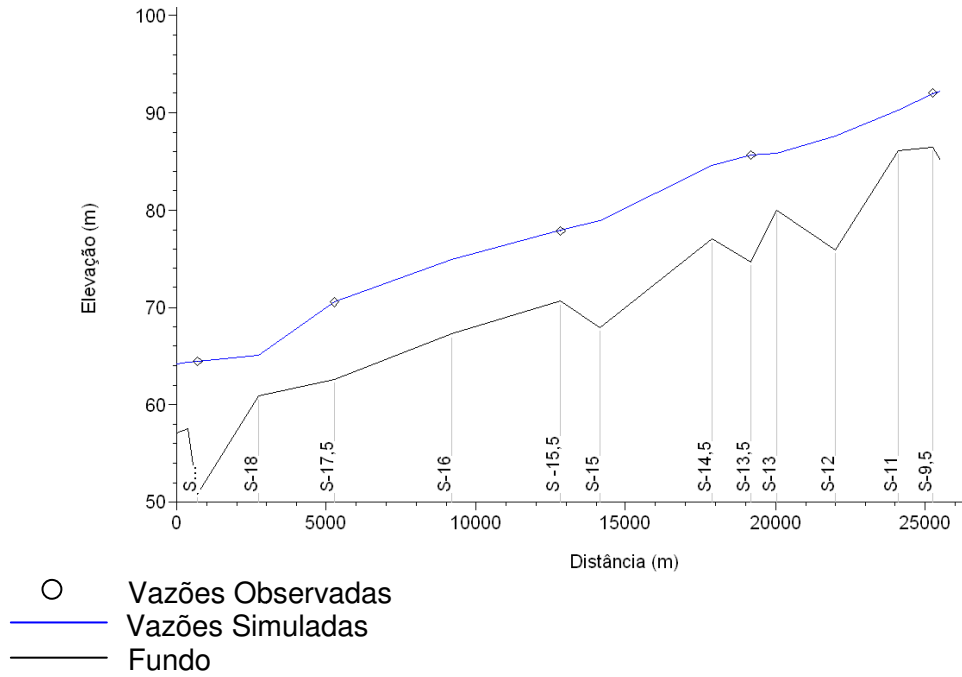


Figura 5.69 - Perfis de Linha d'Água Observado em 14/02/2.009 e Simulado Trecho Médio

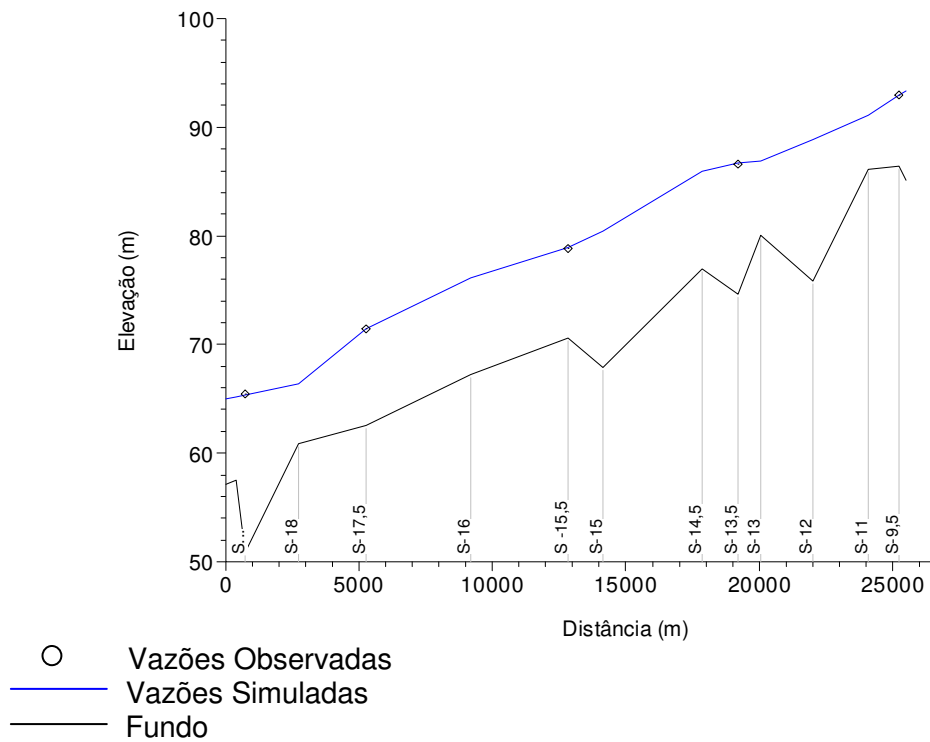
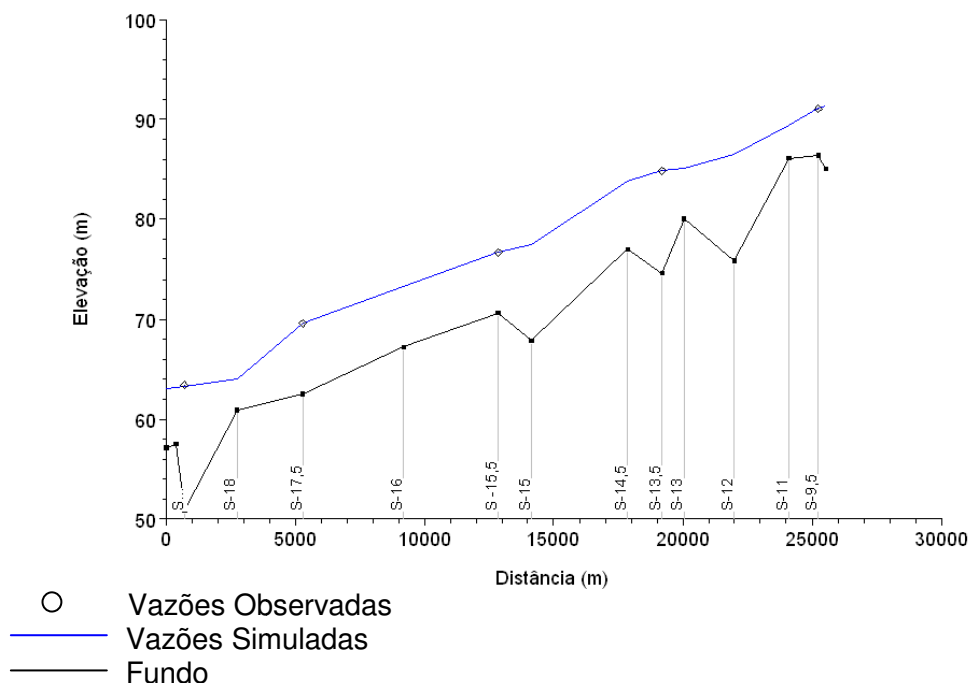


Figura 5.70 - Perfis de Linha d'Água Observado em 06/03/2.009 e Simulado Trecho Médio

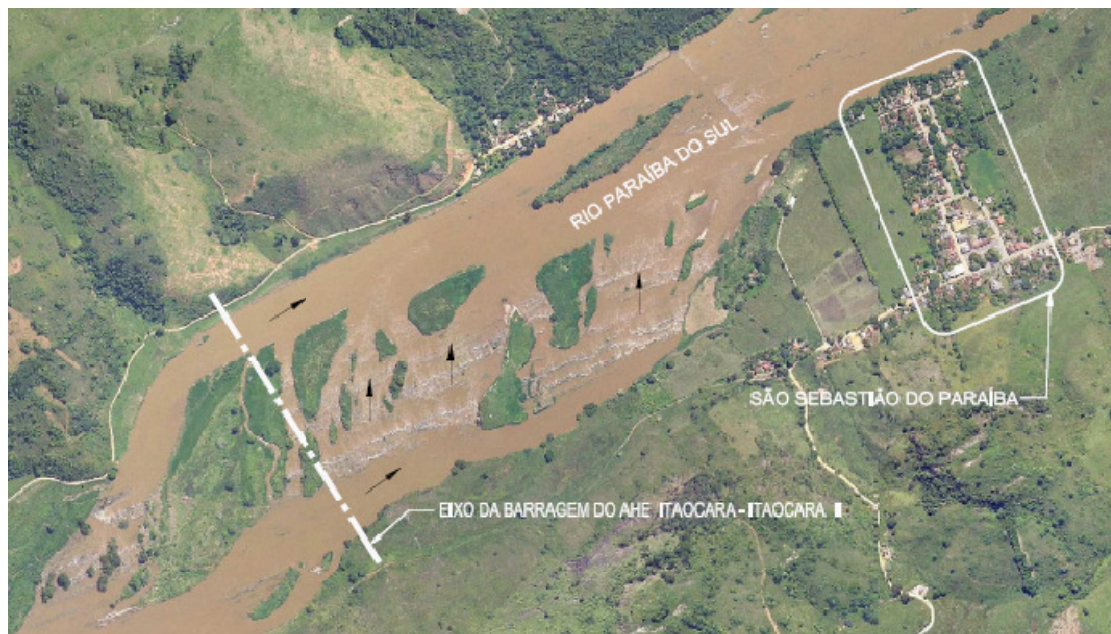


c) Trecho Superior (Posto São Sebastião do Paraíba - Itaocara II)

Admite-se como condição de contorno para este trecho a curva-chave natural de São Sebastião do Paraíba e para a calibração do mesmo, a curva-chave natural de Itaocara II Canal Esquerdo (item 5.1.7).

O estudo desse trecho teve como finalidade a caracterização do efeito do remanso na curva-chave do posto Itaocara II Canal Esquerdo, localizado nas proximidades do canal de fuga e do canal de restituição de vazões vertidas da UHE Itaocara II. A Figura 5.71 permite uma análise visual do trecho em questão.

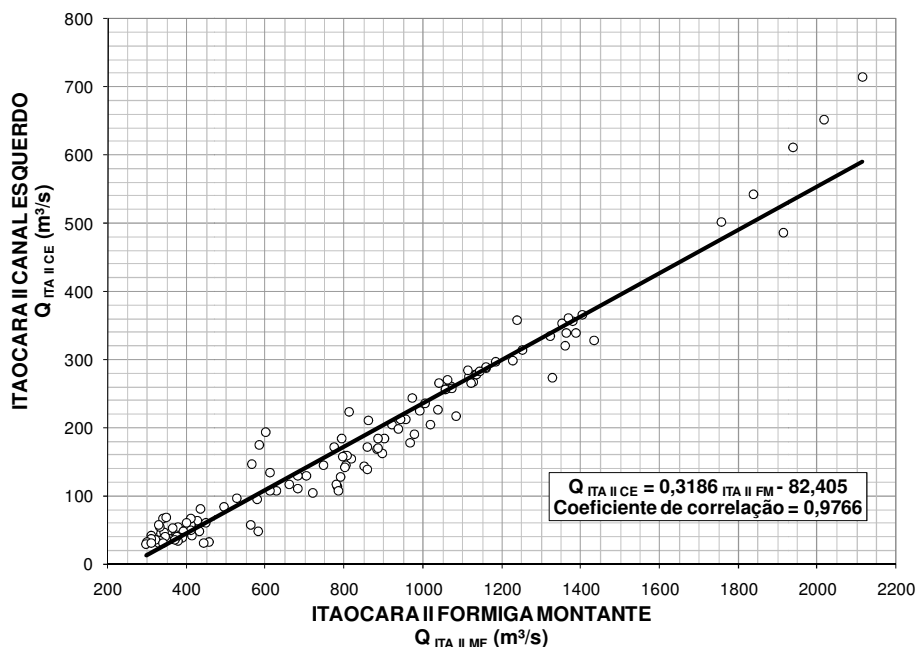
Figura 5.71 - Foto Aérea do Trecho Superior do Futuro Reservatório da UHE Itacara II



A geomorfologia local confere significativa complexidade ao escoamento no trecho, apresentando as seguintes características predominantes:

- A existência de uma ilha no eixo da UHE Itacara II divide o escoamento em dois canais principais;
- O lineamento gnáissico NE, caracterizado na foto por corredeiras, direciona a maior parte da vazão do rio Paraíba do Sul para o canal esquerdo, como se pode observar na Figura 5.72.

Figura 5.72 - Correlação de Vazões Médias Diárias dos postos Itaocara II Canal Esquerdo e Itaocara II Montante Formiga



- O fluxo no canal direito é controlado pela referida formação geológica que funciona como se fosse um vertedouro lateral, restituindo as vazões para o canal esquerdo. Adotando-se a hipótese simplificadora de que essa restituição ocorre uniformemente ao longo desse controle fluvial, elaborou-se a Tabela 5.45 que apresenta uma estimativa das vazões supracitadas, entre as seções topobatimétricas disponíveis.

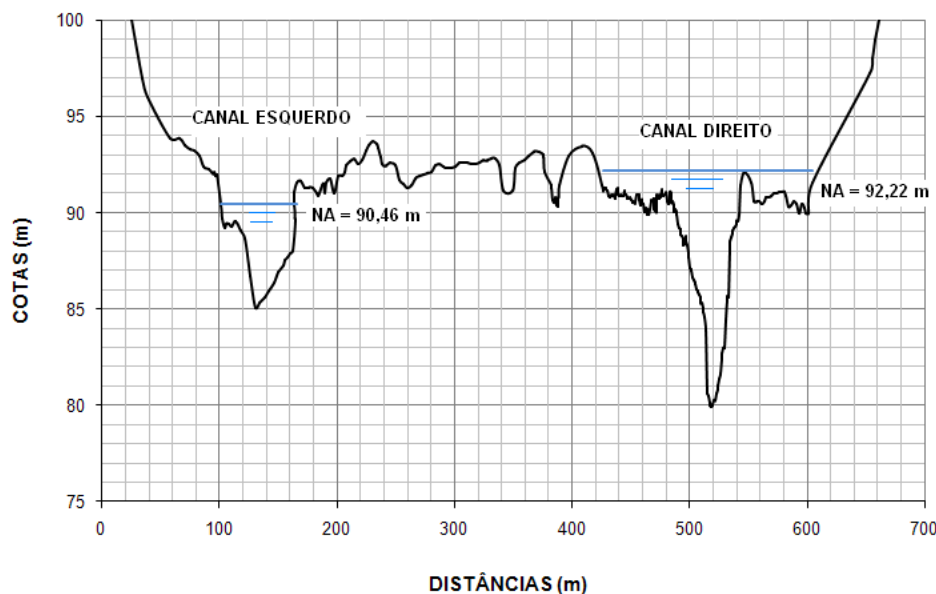
Tabela 5.45 - Partição de Vazões Defluentes do Canal Direito

| Trecho | | Vazão Defluente (%) |
|----------------|---------------|---------------------|
| Seção Montante | Seção Jusante | |
| S-8,10 | S-8,12 | 0,73 |
| S-8,12 | S-8,13 | 0,27 |

- A seção transversal S-8.7 que pode ser considerada típica do estirão fluvial em questão, mostrada na

- **Figura 5.73**, sugere que o escoamento no canal direito apresenta uma significativa zona morta na parte inferior da calha do canal direito, em virtude do lineamento gnáissico que controla o fluxo nesse canal.

Figura 5.73 - Seção Transversal S-8.7



Nota: Níveis d'água observados no dia 10/07/09

- Essa mesma seção indica que acima de uma cota em torno da EL. 93,00 m, na qual se situa o coroamento do citado lineamento, não mais haveria a divisão do fluxo à jusante da ilha onde se situa o eixo da barragem.

Considerando-se essas inferências e premissas, foi realizada a calibração do modelo HEC-RAS, resultando nos coeficientes de Manning relacionados na Tabela 5.46. A calibração desse trecho que envolve a ilha local, contempla apenas o canal esquerdo em virtude da sua importância para o estudo.

Tabela 5.46 - Coeficientes de Manning do Rio Paraíba no Trecho Superior

| Seções | Faixa de Vazões (m ³ /s) | |
|----------------------------------|-------------------------------------|--------|
| | ≤ 71 | ≥ 1000 |
| S-8.7 | 0,015 | 0,030 |
| S-8.8 | 0,015 | 0,030 |
| S-8.9 (Eixo Itaocara II) | 0,015 | 0,030 |
| S-8.10 | 0,015 | 0,030 |
| S-8.12 | 0,015 | 0,030 |
| S-8.13 | 0,015 | 0,030 |
| S-9 | 0,015 | 0,030 |
| S-9,5 (São Sebastião do Paraíba) | 0,015 | 0,030 |

Nota: Valores interpolados para vazões intermediárias

As diferenças entre os níveis d'água simulados e observados na curva-chave de Itaocara II Canal Esquerdo estão apresentadas na Tabela 5.47.

Tabela 5.47 - Níveis d'Água Observados no Posto Itaacara II Canal Esquerdo e Simulados na Calibração do HEC-RAS (m)

| Vazão (m ³ /s) | NA | | |
|---------------------------|-------|-------|-------|
| | Obs. | Sim. | Dif. |
| 45,04 | 90,58 | 90,66 | -0,08 |
| 108,76 | 91,16 | 91,13 | 0,03 |
| 172,48 | 91,60 | 91,53 | 0,07 |
| 236,20 | 91,97 | 91,91 | 0,06 |
| 395,50 | 92,73 | 92,68 | 0,05 |
| 554,80 | 93,26 | 93,42 | -0,16 |

d) Rio Pirapetinga

Admite-se como condição de contorno para este trecho a curva-chave natural de Itaacara Jusante.

Para cada seção do rio Pirapetinga foram obtidos os coeficientes de Manning apresentados na Tabela 5.48.

Tabela 5.48 - Coeficientes de Manning do Rio Pirapetinga

| Seções | Margem Esquerda | Canal | Margem Direita |
|--------|-----------------|-------|----------------|
| S-5 | 0,040 | 0,035 | 0,040 |
| S-4.3 | 0,040 | 0,035 | 0,040 |
| S-4.2 | 0,040 | 0,035 | 0,040 |
| S-4.1 | 0,040 | 0,035 | 0,040 |
| S-4 | 0,040 | 0,035 | 0,040 |
| S-3.3 | 0,040 | 0,035 | 0,040 |
| S-3.2 | 0,040 | 0,035 | 0,040 |
| S-3.1 | 0,040 | 0,035 | 0,040 |
| S-3 | 0,040 | 0,035 | 0,040 |
| S-2.1 | 0,040 | 0,035 | 0,040 |
| S-2 | 0,055 | 0,045 | 0,055 |
| S-1 | 0,055 | 0,045 | 0,055 |

A comparação entre os perfis de linha d'água simulados e os níveis d'água medidos no campo é mostrada na

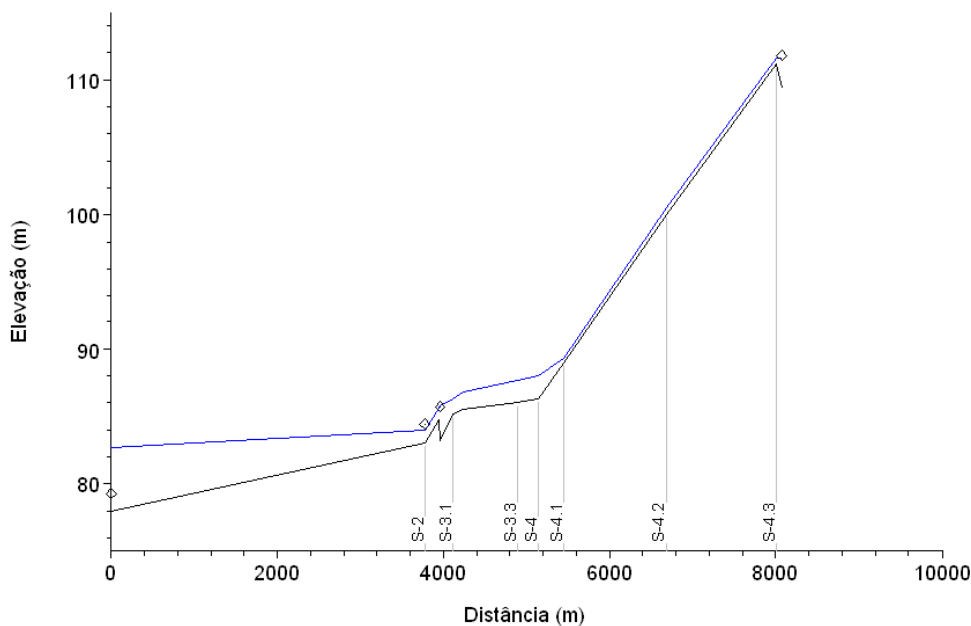
Tabela 5.49 e nas Figura 5.74 aFigura 5.76.

Tabela 5.49 - Níveis d'Água Observados no Rio Pitapetinga e Simulados na Calibração do HEC-RAS (m)

| Seções | 14/02/2.009 | | | 06/03/2.009 | | | 19/08/2.009 | | |
|--------|-------------|--------|------|-------------|--------|------|-------------|--------|------|
| | Obs. | Sim. | Dif. | Obs. | Sim. | Dif. | Obs. | Sim. | Dif. |
| S-5 | 111,80 | 111,68 | 0,12 | 111,74 | 111,60 | 0,14 | 111,66 | 111,52 | 0,14 |
| S-4 | - | - | - | 87,67 | 87,78 | 0,11 | 87,56 | 87,50 | 0,06 |
| S-3 | 85,72 | 85,77 | 0,05 | 85,61 | 85,56 | 0,05 | 85,54 | 85,39 | 0,15 |
| S-2 | 84,43* | 83,95 | 0,48 | 84,32 | 84,52 | 0,20 | 84,19 | 84,48 | 0,29 |
| S-1 | 79,22* | 82,66 | 3,44 | 79,11 | 79,18 | 0,07 | 78,89 | 78,55 | 0,34 |

Nota: * Níveis d'água inconsistentes e desprezados na calibração do modelo

Figura 5.74 - Perfis de Linha d'Água Observado em 14/02/2.009 no Rio Pirapetinga e Simulado



- Vazões Observadas
- Vazões Simuladas
- Fundo

Figura 5.75 - Perfis de Linha d'Água Observado em 06/03/2009 no Rio Pirapetinga e Simulado

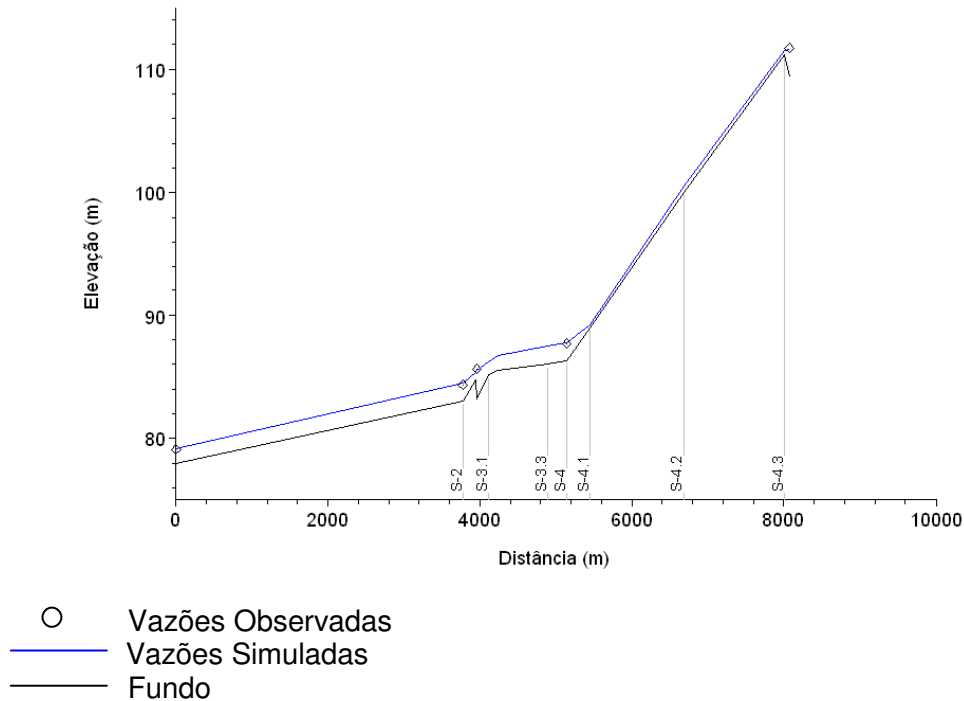
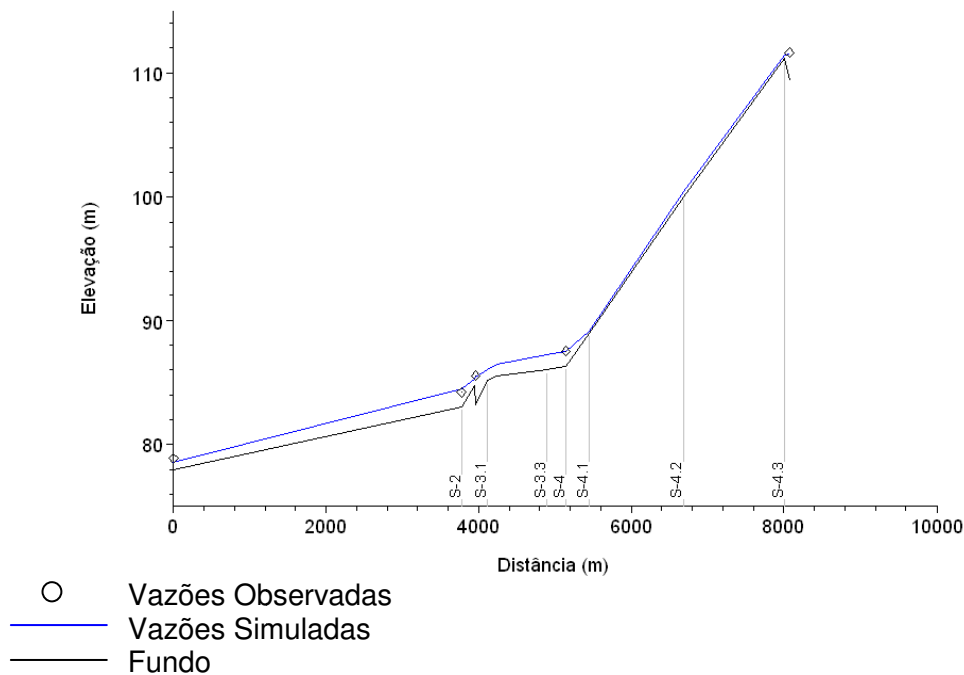


Figura 5.76 - Perfis de Linha d'Água Observado em 19/08/2.009 no Rio Pirapetinga e Simulado



5.1.10.4 Simulações em Condições Naturais

Utilizando-se os coeficientes de Manning obtidos no processo de calibração, foram realizadas simulações considerando 07(sete) diferentes vazões: a média de longo termo (Q_{MLT}) e as vazões instantâneas associadas às recorrências (T) de 2 anos, 10 anos, 25 anos, 100 anos, 1.000 anos e 10.000 anos.

a) Trecho Inferior (Posto Itaocara Jusante – Ilha Serena)

Foram consideradas as vazões determinadas conforme explicado nos itens 5.1.4 e 5.1.5. A Tabela 5.50 relaciona os respectivos níveis d'água obtidos considerando como condição de contorno de jusante a curva-chave do posto Itaocara Jusante e os coeficientes de Manning apresentados na Tabela 5.51.

Tabela 5.50 - Níveis d'Água Simulados para Condições Naturais no Trecho Inferior (m)

| Trecho | Seção | Vazões | | | | | | |
|--|-----------|--|--|---|---|--|--|---|
| | | 448 m ³ /s (Q_{MLT}) | 2.305 m ³ /s (T = 2 anos) | 3.844 m ³ /s (T = 10 anos) | 4.619 m ³ /s (T = 25 anos) | 5.764 m ³ /s (T = 100 anos) | 7.649 m ³ /s (T = 1.000 anos) | 9.530 m ³ /s (T = 10.000 anos) |
| Canal Direito da Ilha Serena | S-22 MD | 62,82 | 64,80 | 66,01 | 66,45 | 67,03 | 67,86 | 68,59 |
| | S-22.5 MD | 62,53 | | | | | | |
| | S-23 MD | 61,50 | 64,66 | 65,88 | 66,33 | 66,90 | 67,73 | 68,46 |
| | S-24 MD | 61,50 | 64,63 | 65,85 | 66,30 | 66,88 | 67,70 | 68,43 |
| | S-24.5 MD | 61,25 | | | | | | |
| | S-25.5 MD | 61,38 | 64,41 | 65,64 | 66,08 | 66,65 | 67,47 | 68,20 |
| Canal Esquerdo da Ilha Serena | S-21.5 ME | 62,03 | | | | | | |
| | S-22 ME | 61,86 | 64,80 | 66,01 | 66,45 | 67,03 | 67,86 | 68,59 |
| | S-23 ME | 61,55 | 64,66 | 65,88 | 66,33 | 66,90 | 67,73 | 68,46 |
| | S-24 ME | 61,54 | 64,63 | 65,85 | 66,30 | 66,88 | 67,70 | 68,43 |
| | S-25 ME | 61,49 | | | | | | |
| | S-25.5 ME | 61,40 | 64,41 | 65,64 | 66,08 | 66,65 | 67,47 | 68,20 |
| Jusante Ilha Serena | S-26 | 61,36 | 63,81 | 64,96 | 65,34 | 65,82 | 66,53 | 67,17 |
| | S-26.5 | 60,95 | 63,59 | 64,74 | 65,08 | 65,54 | 66,23 | 66,85 |
| | S-27 | 60,00 | 63,14 | 64,50 | 64,83 | 65,28 | 65,96 | 66,58 |

Nota: Os valores dos canais direito e esquerdo se igualam quando a Ilha Serena fica submersa pelos altos níveis d'água.

b) Trecho Médio (Ilha Serena – Posto São Sebastião do Paraíba)

As linhas d'água em condições naturais, para as diferentes vazões analisadas, foram obtidas considerando os coeficientes de rugosidade de Manning obtidos na Tabela 5.43. A Tabela 5.51 relaciona os referidos níveis.

Tabela 5.51 - Níveis d'Água Simulados para Condições Naturais no Trecho Médio (m)

| Seção | Vazões | | | | | | |
|--------|--|--|---|---|--|--|---|
| | 448 m ³ /s (Q _{MLT}) | 2.305 m ³ /s (T = 2 anos) | 3.844 m ³ /s (T = 10 anos) | 4.619 m ³ /s (T = 25 anos) | 5.764 m ³ /s (T = 100 anos) | 7.649 m ³ /s (T = 1.000 anos) | 9.530 m ³ /s (T = 10.000 anos) |
| S-9,5 | 90,56 | 93,36 | 94,58 | 94,99 | 95,52 | 96,28 | 96,94 |
| S-11 | 88,85 | 91,08 | 92,11 | 92,60 | 93,19 | 93,98 | 94,70 |
| S-12 | 85,81 | 88,76 | 90,12 | 90,68 | 91,36 | 92,33 | 93,14 |
| S-13 | 84,26 | 86,89 | 88,10 | 88,68 | 89,30 | 90,17 | 90,88 |
| S-13,5 | 84,16 | 86,73 | 87,84 | 88,41 | 89,03 | 89,90 | 90,64 |
| S-14,5 | 83,02 | 85,94 | 86,80 | 87,47 | 88,14 | 89,03 | 89,80 |
| S-15 | 76,49 | 80,42 | 82,45 | 82,88 | 83,43 | 84,23 | 84,94 |
| S-15,5 | 75,92 | 78,90 | 81,06 | 81,46 | 81,95 | 82,72 | 83,46 |
| S-16 | 72,40 | 76,14 | 77,63 | 78,18 | 78,86 | 79,89 | 80,75 |
| S-17,5 | 68,80 | 71,41 | 72,09 | 72,10 | 72,14 | 72,32 | 73,04 |
| S-18 | 63,38 | 66,28 | 67,91 | 68,39 | 68,96 | 69,80 | 70,54 |
| S-18,5 | 62,59 | 65,28 | 66,54 | 67,01 | 67,60 | 68,45 | 69,20 |
| S-20 | 62,51 | 65,06 | 66,25 | 66,70 | 67,29 | 68,14 | 68,89 |
| S-21 | 62,34 | 64,88 | 66,09 | 66,55 | 67,13 | 67,98 | 68,72 |

c) Trecho Superior (Posto São Sebastião do Paraíba - Itaocara II)

Considerando-se como condição de contorno a curva-chave do posto São Sebastião do Paraíba e os coeficientes de Manning apresentados na Tabela 5.46, foram calculados os níveis d'água apresentados na Tabela 5.52.

Tabela 5.52 - Níveis d'Água Simulados para Condições Naturais entre São Sebastião do Paraíba e Itaocara II (m)

| Seção | Vazões | | | | | | |
|--------|--|---|--|--|---|---|--|
| | 448 m ³ /s (Q _{MLT}) | 2.305 m ³ /s (T = 2 anos) | 3.844 m ³ /s (T = 10 anos) | 4.619 m ³ /s (T = 25 anos) | 5.764 m ³ /s (T = 100 anos) | 7.649 m ³ /s (T = 1.000 anos) | 9.530 m ³ /s (T = 10.000 anos) |
| S-8,7 | 90,79 | 93,84 | 95,07 | 95,51 | 96,08 | 96,89 | 97,60 |
| S-8,8 | 90,79 | 93,85 | 95,08 | 95,51 | 96,09 | 96,89 | 97,60 |
| S-8,9 | 90,79 | 93,85 | 95,08 | 95,52 | 96,10 | 96,91 | 97,61 |
| S-8,10 | 90,79 | 93,83 | 95,06 | 95,49 | 96,07 | 96,87 | 97,58 |
| S-8,12 | 90,78 | 93,79 | 94,98 | 95,41 | 95,97 | 96,76 | 97,44 |
| S-8,13 | 90,71 | 93,71 | 94,89 | 95,30 | 95,84 | 96,61 | 97,28 |
| S-9 | 90,67 | 93,59 | 94,78 | 95,19 | 95,73 | 96,50 | 97,16 |
| S-9,5 | 90,56 | 93,36 | 94,58 | 94,99 | 95,52 | 96,28 | 96,94 |

d) Rio Pirapetinga

No caso desse afluente do rio Paraíba do Sul, as vazões no aproveitamento foram transferidas para a foz do rio Pirapetinga pela relação entre as respectivas áreas de drenagem.

As simulações realizadas, considerando os coeficientes de rugosidade de Manning obtidos na Tabela 5.48, resultaram nos níveis d'água apresentados na Tabela 5.53.

Tabela 5.53 - Níveis d'Água Simulados para Condições Naturais no Rio Pirapetinga (m)

| Seção | Vazões | | | | | | |
|-------|----------------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| | 8,45 m³/s (Q _{MLT}) | 43,3 m³/s (T = 2 anos) | 72,3 m³/s (T = 10 anos) | 86,8 m³/s (T = 25 anos) | 108 m³/s (T = 100 anos) | 144 m³/s (T = 1.000 anos) | 179 m³/s (T = 10.000 anos) |
| S-5 | 111,56 | 112,00 | 112,24 | 112,33 | 112,43 | 112,58 | 112,71 |
| S-4.3 | 111,49 | 111,80 | 112,09 | 112,16 | 112,25 | 112,38 | 112,50 |
| S-4.2 | 100,43 | 100,89 | 100,91 | 101,00 | 101,12 | 101,30 | 101,44 |
| S-4.1 | 89,22 | 89,60 | 90,09 | 90,27 | 90,52 | 90,90 | 91,30 |
| S-4 | 87,65 | 88,87 | 89,41 | 89,59 | 89,82 | 90,17 | 90,46 |
| S-3.3 | 87,39 | 88,57 | 89,05 | 89,21 | 89,42 | 89,72 | 89,99 |
| S-3.2 | 86,61 | 87,54 | 87,94 | 88,08 | 88,27 | 88,55 | 88,79 |
| S-3.1 | 86,12 | 86,83 | 87,13 | 87,25 | 87,41 | 87,65 | 87,86 |
| S-3 | 85,48 | 86,34 | 86,63 | 86,79 | 86,99 | 87,29 | 87,52 |
| S-2.1 | 85,30 | 86,18 | 86,23 | 86,43 | 86,59 | 86,89 | 87,29 |
| S-2 | 84,61 | 84,47 | 85,68 | 86,01 | 86,33 | 86,79 | 87,20 |
| S-1 | 78,62 | 82,49 | 85,53 | 85,82 | 86,07 | 86,44 | 86,81 |

5.1.10.5 Simulações com o Reservatório Assoreado

Essas simulações foram elaboradas com a finalidade de se obter o maior Nível d'Água Máximo Normal do reservatório de UHE Itaipava I que não piorasse as inundações que assolam periodicamente a localidade de São Sebastião do Paraíba, mesmo após 30(trinta) anos de operação do empreendimento. A previsão do assoreamento do reservatório considerada foi efetuada conforme descrito no **item 5.1.9**. Cabe salientar que a área onde se encontra esse povoado é naturalmente inundável, já que faz parte da calha superior do rio Paraíba do Sul, conforme ilustrado pela Figura 5.77.

Figura 5.77 - Foto Aérea de São Sebastião do Paraíba



Conforme informado no **item 4.2.2**, nesse local foi instalado o posto limnimétrico São Sebastião do Paraíba, equipado com referência de nível que apresenta cota 93,46 m. Esse marco pode ser vislumbrado na fotografia mostrada na Figura 5.78, obtida em 23/01/2.009, quando o rio se encontrava em águas altas.

Figura 5.78 - Rio Paraíba do Sul em São Sebastião do Paraíba



A partir da análise dessas fotografias, conjugada às observações realizadas em visita de campo, deduziu-se que São Sebastião do Paraíba começa a ser inundada quando o NA local atinge a cota 93,53 m que corresponde a uma vazão de 2.436 m³/s, em condições naturais, na ocasião dos levantamentos.

Foram então realizadas simulações de remanso, considerando-se diversos níveis d'água para o reservatório, a cada qual correspondendo uma distribuição específica dos depósitos de sedimentos em sua bacia hidráulica no horizonte de 30 (trinta) anos. Verificou-se que para o NA de 89,60 m, a vazão citada no parágrafo anterior corresponde à cota fluviométrica de 93,56 m. Observa-se, nesse caso, uma sobre-elevação de 3,00 cm que pode ser considerada desprezível. Consequentemente, para atendimento dos critérios acima considerados, o NA Máximo Normal do Reservatório da UHE Itaocara I deverá situar-se na EL. 89,60 m, o que é considerado no restante deste relatório. A seguir, é descrito o processo de cálculo que conduziu a esse resultado.

Substituindo-se no modelo HEC-RAS as seções topobatimétricas levantadas no campo pelas seções assoreadas após 10 e 30 anos de operação do reservatório, estimadas conforme descrito no item 5.1.9, foram simulados os níveis d'água para essas futuras condições. A condição de contorno para as simulações de reservatório é definida na seção do eixo da UHE Itaocara I (S-22), na cota 89,60 m.

As Tabela 5.54 e Tabela 5.55 apresentam os resultados obtidos.

Tabela 5.54 - Níveis d'Água do Reservatório Assoreado após 10 Anos de Operação (m)

| Seção | Vazões | | | | | | |
|-------------|--|--|---|--|--|--|---|
| | 448 m ³ /s (Q _{MLT}) | 2.305 m ³ /s (T = 2 anos) | 3.844 m ³ /s (T = 10 anos) | 4.619 m ³ /s (T = 25 anos) | 5.764 m ³ /s (T = 100 anos) | 7.649 m ³ /s (T = 1.000 anos) | 9.530 m ³ /s (T = 10.000 anos) |
| S-9,5 | 90,67 | 93,36 | 94,58 | 94,99 | 95,52 | 96,28 | 96,94 |
| S-11 | 90,21 | 92,58 | 93,56 | 93,97 | 94,52 | 95,31 | 96,04 |
| S-12 | 89,72 | 91,26 | 92,25 | 92,68 | 93,24 | 94,06 | 94,87 |
| S-13 | 89,62 | 90,03 | 90,55 | 90,80 | 91,16 | 91,68 | 92,50 |
| S-13,5 | 89,61 | 89,88 | 90,28 | 90,49 | 90,81 | 91,31 | 92,30 |
| S-14,5 | 89,60 | 89,67 | 89,80 | 89,89 | 90,05 | 90,36 | 91,67 |
| S-15 | 89,60 | 89,63 | 89,69 | 89,73 | 89,80 | 89,94 | 91,26 |
| S-15,5 | 89,60 | 89,63 | 89,67 | 89,70 | 89,76 | 89,88 | 91,20 |
| S-16 | 89,60 | 89,61 | 89,64 | 89,65 | 89,68 | 89,74 | 91,06 |
| S-17,5 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,61 | 90,91 |
| S-18 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,61 | 90,91 |
| S-18,5 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 90,90 |
| S-20 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 90,90 |
| S-21 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 90,90 |
| S-22 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 90,90 |

Tabela 5.55 - Níveis d'Água do Reservatório Assoreado após 30 Anos de Operação (m)

| Seção | Vazões | | | | | | |
|--------|--|--|---|---|--|--|---|
| | 448 m ³ /s (Q _{MLT}) | 2.305 m ³ /s (T = 2 anos) | 3.844 m ³ /s (T = 10 anos) | 4.619 m ³ /s (T = 25 anos) | 5.764 m ³ /s (T = 100 anos) | 7.649 m ³ /s (T = 1.000 anos) | 9.530 m ³ /s (T = 10.000 anos) |
| S-9,5 | 90,86 | 93,43 | 94,58 | 94,99 | 95,52 | 96,28 | 96,94 |
| S-11 | 90,63 | 92,94 | 94,00 | 94,45 | 95,04 | 95,88 | 96,64 |
| S-12 | 90,10 | 92,25 | 93,26 | 93,68 | 94,25 | 95,09 | 95,84 |
| S-13 | 89,63 | 91,06 | 91,77 | 92,07 | 92,46 | 93,01 | 93,57 |
| S-13,5 | 89,62 | 90,54 | 91,17 | 91,45 | 91,82 | 92,37 | 93,07 |
| S-14,5 | 89,60 | 89,71 | 89,91 | 90,05 | 90,30 | 90,77 | 92,01 |
| S-15 | 89,60 | 89,64 | 89,71 | 89,76 | 89,85 | 90,03 | 91,34 |
| S-15,5 | 89,60 | 89,63 | 89,69 | 89,72 | 89,79 | 89,93 | 91,25 |
| S-16 | 89,60 | 89,61 | 89,64 | 89,66 | 89,69 | 89,76 | 91,08 |
| S-17,5 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,61 | 90,91 |

Tabela 5.55 (Continuação)
Níveis d'Água do Reservatório Assoreado após 30 Anos de Operação (m)

| Seção | Vazões | | | | | | |
|-------------|--|--|---|---|--|--|---|
| | 448 m ³ /s (Q _{MLT}) | 2.305 m ³ /s (T = 2 anos) | 3.844 m ³ /s (T = 10 anos) | 4.619 m ³ /s (T = 25 anos) | 5.764 m ³ /s (T = 100 anos) | 7.649 m ³ /s (T = 1.000 anos) | 9.530 m ³ /s (T = 10.000 anos) |
| S-18 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,61 | 89,61 | 90,91 |
| S-18,5 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 90,90 |
| S-20 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 90,90 |
| S-21 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 90,90 |
| S-22 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 90,90 |

No item 5.1.11 os resultados acima são utilizados na elaboração das curvas-chaves de São Sebastião do Paraíba, para os cenários de assoreamento considerados.

5.1.10.6 Simulação com o Reservatório em Início de Operação

a) Trecho Médio (Ilha Serena – Posto São Sebastião do Paraíba)

As linhas d'água considerando o início de operação do reservatório, para as diferentes vazões analisadas, estão apresentadas na Tabela 5.56.

Tabela 5.56 - Níveis d'Água do Reservatório no Trecho Médio (m)

| Seção | Vazões | | | | | | |
|--------|--|--|---|---|--|--|---|
| | 448 m ³ /s (Q _{MLT}) | 2.305 m ³ /s (T = 2 anos) | 3.844 m ³ /s (T = 10 anos) | 4.619 m ³ /s (T = 25 anos) | 5.764 m ³ /s (T = 100 anos) | 7.649 m ³ /s (T = 1.000 anos) | 9.530 m ³ /s (T = 10.000 anos) |
| S-9,5 | 90,57 | 93,36 | 94,58 | 94,99 | 95,52 | 96,28 | 96,94 |
| S-11 | 89,67 | 90,98 | 92,19 | 92,64 | 93,23 | 94,05 | 94,89 |
| S-12 | 89,63 | 90,19 | 90,93 | 91,30 | 91,83 | 92,66 | 93,71 |
| S-13 | 89,61 | 89,79 | 90,10 | 90,29 | 90,58 | 91,11 | 92,30 |
| S-13,5 | 89,61 | 89,77 | 90,04 | 90,21 | 90,49 | 91,00 | 92,25 |
| S-14,5 | 89,60 | 89,71 | 89,89 | 90,00 | 90,21 | 90,62 | 91,94 |
| S-15 | 89,60 | 89,63 | 89,67 | 89,70 | 89,75 | 89,87 | 91,20 |
| S-15,5 | 89,60 | 89,62 | 89,65 | 89,67 | 89,71 | 89,80 | 91,13 |
| S-16 | 89,60 | 89,61 | 89,63 | 89,64 | 89,66 | 89,71 | 91,03 |
| S-17,5 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,61 | 90,91 |
| S-18 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,61 | 90,91 |
| S-18,5 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 90,90 |

Tabela 5.56 (Continuação)
Níveis d'Água do Reservatório no Trecho Médio (m)

| Seção | Vazões | | | | | | |
|-------------|--|--|---|---|--|--|---|
| | 448 m ³ /s (Q _{MLT}) | 2.305 m ³ /s (T = 2 anos) | 3.844 m ³ /s (T = 10 anos) | 4.619 m ³ /s (T = 25 anos) | 5.764 m ³ /s (T = 100 anos) | 7.649 m ³ /s (T = 1.000 anos) | 9.530 m ³ /s (T = 10.000 anos) |
| S-20 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 90,90 |
| S-21 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 90,90 |
| S-22 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 90,90 |

b) **Trecho Superior** (Posto São Sebastião do Paraíba - Itaocara II)

Para o trecho entre São Sebastião do Paraíba e Itaocara II, os níveis d'água simulados considerando o reservatório de Itaocara I estão apresentados na Tabela 5.57.

Tabela 5.57 - Níveis d'Água do Reservatório no Trecho Superior (m)

| Seção | Vazões | | | | | | |
|--------|--|---|---|---|---|--|---|
| | 448 m ³ /s (Q _{MLT}) | 2.305 m ³ /s (T = 2 anos) | 3.844 m ³ /s (T = 10 anos) | 4.619 m ³ /s (T = 25 anos) | 5.764 m ³ /s (T = 100 anos) | 7.649 m ³ /s (T = 1.000 anos) | 9.530 m ³ /s (T = 10.000 anos) |
| S-8,7 | 90,65 | 93,59 | 95,51 | 95,90 | 96,43 | 97,19 | 97,86 |
| S-8,8 | 90,73 | 93,76 | 95,45 | 95,85 | 96,38 | 97,13 | 97,79 |
| S-8,9 | 90,77 | 93,76 | 95,36 | 95,76 | 96,30 | 97,06 | 97,72 |
| S-8,10 | 90,77 | 93,72 | 95,25 | 95,67 | 96,22 | 96,99 | 97,66 |
| S-8,12 | 90,79 | 93,75 | 94,95 | 95,37 | 95,92 | 96,69 | 97,36 |
| S-8,13 | 90,71 | 93,71 | 94,88 | 95,30 | 95,84 | 96,61 | 97,28 |
| S-9 | 90,67 | 93,59 | 94,77 | 95,19 | 95,73 | 96,50 | 97,16 |
| S-9,5 | 90,57 | 93,36 | 94,58 | 94,99 | 95,52 | 96,28 | 96,94 |

c) **Rio Pirapetinga**

Os níveis d'água simulados para o rio Pirapetinga, considerando o reservatório da UHE Itaocara I, estão apresentados na Tabela 5.58.

Tabela 5.58 - Níveis D'água Simulados do Reservatório no Rio Pirapetinga (m)

| Seção | Vazões | | | | | | |
|-------|---|---|--|--|--|--|---|
| | 8,45 m ³ /s (Q _{MLT}) | 43,3 m ³ /s (T = 2 anos) | 72,3 m ³ /s (T = 10 anos) | 86,8 m ³ /s (T = 25 anos) | 108 m ³ /s (T = 100 anos) | 144 m ³ /s (T = 1.000 anos) | 179 m ³ /s (T = 10.000 anos) |
| S-5 | 111,60 | 112,04 | 112,24 | 112,33 | 112,43 | 112,58 | 112,71 |
| S-4.3 | 111,57 | 111,93 | 112,09 | 112,16 | 112,25 | 112,39 | 112,50 |
| S-4.2 | 100,32 | 100,71 | 100,91 | 101,00 | 101,12 | 101,29 | 101,44 |
| S-4.1 | 89,61 | 89,91 | 90,26 | 90,42 | 90,65 | 91,01 | 91,82 |
| S-4 | 89,60 | 89,72 | 89,91 | 90,01 | 90,18 | 90,46 | 91,45 |
| S-3.3 | 89,60 | 89,67 | 89,79 | 89,87 | 89,99 | 90,23 | 91,36 |
| S-3.2 | 89,60 | 89,64 | 89,70 | 89,75 | 89,83 | 89,98 | 91,28 |
| S-3.1 | 89,60 | 89,63 | 89,69 | 89,73 | 89,80 | 89,95 | 91,27 |
| S-3 | 89,60 | 89,63 | 89,69 | 89,73 | 89,80 | 89,94 | 91,27 |
| S-2.1 | 89,60 | 89,63 | 89,69 | 89,73 | 89,80 | 89,95 | 91,27 |
| S-2 | 89,60 | 89,63 | 89,69 | 89,73 | 89,80 | 89,95 | 91,27 |
| S-1 | 89,60 | 89,63 | 89,68 | 89,72 | 89,78 | 89,91 | 91,25 |

Os desenhos SPEC Z27-DEB-0002 e Z27-DEB-0003 apresentam os perfis do leito do rio e dos níveis d'água ao longo do estirão que corresponde ao futuro reservatório da UHE Itaocara I, correspondentes às vazões Q_{MLT}, centenárias, milenares e decamilenares do rio Paraíba do Sul e seu afluente Rio Pirapetinga.

Conclui-se que para as condições iniciais de implantação do reservatório, não há alteração dos níveis d'água na região de São Sebastião do Paraíba.

5.1.11 Borda Livre

Este estudo teve como objetivo avaliar a sobre-elevação do nível d'água do reservatório, devido às ondas provocadas pelo vento e subsidiar o estabelecimento das cotas de coroamento das estruturas de concreto e da barragem de terra.

- **Método e Critérios Gerais**

Na definição da onda de projeto foi utilizado o método proposto no trabalho Saville, "Computation of Free Board Allowance for Waves in Inland Reservoirs", 1.962.

Considerou-se que a barragem deverá conter ondas geradas por ventos na superfície terrestre de 50 km/h (cerca de 14 m/s), atuando coincidentemente com a direção do "fetch" efetivo com o reservatório no seu NA Máximo Maximorum EL.90,90m e ventos de 100 km/h (cerca de 28 m/s), atuando coincidentemente com a direção do "fetch" efetivo com o reservatório no seu NA Máximo Normal EL.89,60m.

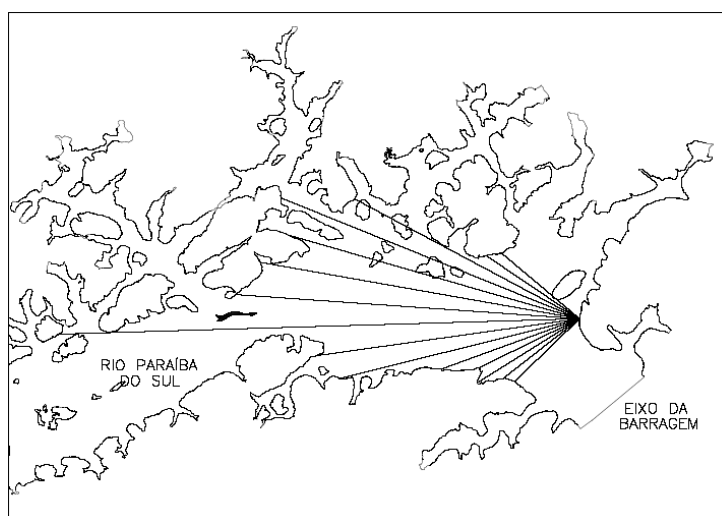
Para essas condições, adotou-se como altura de onda de projeto, aquela correspondente à probabilidade de 2% de ser excedida num "trem de ondas".

Os critérios adotados para a fixação das características do vento de projeto (intensidade, direção e sentido) foram os correntemente praticados em regiões com pouca disponibilidade de dados de vento, à semelhança do local do aproveitamento.

- **Aplicação e Resultados**

O “fetch” efetivo determinado é de cerca de 3,38 km para o NA Máximo Normal EL.89,60m e de 3,39 km para o NA Máximo Maximorum EL.90,90m. A Figura 5.79 mostra o processo gráfico empregado no cálculo desses comprimentos que foi realizado em planta na escala 1:75.000.

Figura 5.79 - Diagrama de Cálculo do “Fetch” Efetivo do Reservatório



As profundidades médias do reservatório ao longo do “fetch” máximo foram estimadas em 15,51 m para o NA Máximo Normal e 16,80 m para o NA Máximo Maximorum.

Para definição da velocidade do vento sobre a água, aplicou-se o coeficiente 1,215 proposto por Saville à velocidade do vento sobre a terra. Os resultados encontram-se apresentados nas Tabela 5.59 e Tabela 5.60.

Tabela 5.59 - Determinação das Características das Ondas e Altura das Marés

| Discriminação | | Unidade | NA Máx. Normal (89,60 m) | NA Maximo Maximorum (90,90 m) |
|-------------------------|----------------------|---------|----------------------------|---------------------------------|
| Velocidades do vento | Sobre a terra | km/h | 100,0 | 50,0 |
| | Sobre a água | km/h | 121,5 | 60,8 |
| Características da onda | Altura significativa | m | 1,42 | 0,68 |
| | Período | s | 4,07 | 3,00 |
| | Comprimento | m | 25,84 | 14,06 |
| | Altura de maré | m | 0,051 | 0,012 |
| | Altura de projeto | m | 1,99 | 0,96 |

Tabela 5.60 - Resultados do Estudo de Borda Livre

| Discriminação | | NA Máx. Normal (89,6 m) | NA Máx. Maximorum (90,9 m) |
|--------------------------|--|---------------------------|------------------------------|
| Talude Liso (Concreto) | “Run-up” Máximo | 2,15 | 1,15 |
| | Sobre-elevação (“Run-up” + onda de maré) | 2,20 | 1,16 |
| | Nível de sobre-elevação calculado | 91,80 | 92,06 |
| | Nível mínimo recomendado (CBDB e Eletrobrás) | 91,10 | 91,40 |
| | Cota de coroamento mínima a adotar | 92,06 | 92,06 |
| Talude Rugoso (Barragem) | “Run-up” Máximo | 2,01 | 1,00 |
| | Sobre-elevação (“Run-up” + onda de maré) | 2,06 | 1,01 |
| | Nível de sobre-elevação calculado | 91,66 | 91,91 |
| | Nível mínimo recomendado (CBDB e Eletrobrás) | 92,60 | 91,90 |
| | Cota de coroamento mínima a adotar | 92,60 | 92,60 |

Notas: 1- Valores em metro;
2 - Talude da barragem = 1:2

Adotando-se o critério de folga nula e considerando-se o NA Maximo Maximorum, a cota de coroamento das estruturas seria de 91,91 m (90,90+1,01) e 92,06 m (90,90+1,16) para as estruturas de terra e concreto, respectivamente.

Conforme recomendado pelo Comitê Brasileiro de Barragens/CBDB e pela Eletrobrás, a cota do coroamento das estruturas de concreto e da crista da barragem de terra é determinada pelo NA Máximo Normal (EL. 89,60 m) acrescido de, no mínimo, 3,0 m para barragens de terra e 1,5 m para estruturas de concreto. A aplicação deste critério resultaria, portanto, em cotas de coroamento iguais a 92,60 m/Barragem de Terra e 91,10 m/Estruturas de Concreto.

Deve-se, ainda, considerar a cota de coroamento mínima que, no caso de barragens de terra deverá ser 1,0 m acima do NA Máximo Maximorum (EL. 91,90 m) e para estruturas de concreto, 0,5 m acima deste mesmo nível (EL. 91,40 m).

Resumindo: as cotas de coroamento a serem adotadas, portanto, não deverão ser inferiores aos seguintes valores: 1) estruturas de concreto 92,06 m e 2) barragem de terra, 92,60 m.

5.1.12 Amortecimento da Cheia de Projeto

O estudo de cheias apresentado no **item 5.1.5** também permitiu concluir que a maior vazão ocorrida na região do aproveitamento UHE Itaocara I foi a observada no posto Anta no dia 16 de março de 1.947 (vazão de 4.672 m³/s). Dessa forma, contemplou-se nesta análise o hidrograma relativo ao período de 1º de janeiro de 1.947 a 28 de maio de 1.947.

Nesse processo, as vazões correspondentes foram transferidas para o aproveitamento UHE e adimensionalizadas pelo pico e, em seguida, multiplicadas pela vazão máxima instantânea com período de retorno de 10.000 anos (9.530 m³/s), para se obter o hidrograma de cheia na UHE Itaocara I. O hidrograma resultante, com duração de 148 dias, encontra-se representado na Tabela 5.61 e na Figura 5.80.

Tabela 5.61 - Hidrograma de Cheia Máxima

| Data | Vazões em Anta (m ³ /s) | Vazões Adimensionalizadas | Vazões na UHE Itaocara I (m ³ /s) |
|------------|------------------------------------|---------------------------|--|
| 1/1/1.947 | 875 | 0,19 | 1.785 |
| 2/1/1.947 | 853 | 0,18 | 1.740 |
| 3/1/1.947 | 1.005 | 0,22 | 2.050 |
| 4/1/1.947 | 990 | 0,21 | 2.019 |
| 5/1/1.947 | 960 | 0,21 | 1.958 |
| 6/1/1.947 | 1.027 | 0,22 | 2.095 |
| 7/1/1.947 | 1.005 | 0,22 | 2.050 |
| 8/1/1.947 | 1.054 | 0,23 | 2.150 |
| 9/1/1.947 | 1.197 | 0,26 | 2.442 |
| 10/1/1.947 | 955 | 0,20 | 1.948 |
| 11/1/1.947 | 845 | 0,18 | 1.724 |

Tabela 5.61 (Continuação)
Hidrograma de Cheia Máxima

| Data | Vazões em Anta (m³/s) | Vazões Adimensionalizadas | Vazões naUHE Itaipava I (m³/s) |
|-------------|---|--------------------------------------|--|
| 12/1/1.947 | 903 | 0,19 | 1.842 |
| 13/1/1.947 | 1021 | 0,22 | 2.083 |
| 14/1/1.947 | 1065 | 0,23 | 2.172 |
| 15/1/1.947 | 926 | 0,20 | 1.889 |
| 16/1/1.947 | 786 | 0,17 | 1.603 |
| 17/1/1.947 | 766 | 0,16 | 1.563 |
| 18/1/1.947 | 845 | 0,18 | 1.724 |
| 19/1/1.947 | 828 | 0,18 | 1.689 |
| 20/1/1.947 | 1.093 | 0,23 | 2.230 |
| 21/1/1.947 | 1.431 | 0,31 | 2.919 |
| 22/1/1.947 | 1.674 | 0,36 | 3.415 |
| 23/1/1.947 | 1.161 | 0,25 | 2.368 |
| 24/1/1.947 | 889 | 0,19 | 1.813 |
| 25/1/1.947 | 1.272 | 0,27 | 2.595 |
| 26/1/1.947 | 2.580 | 0,55 | 5.263 |
| 27/1/1.947 | 3.106 | 0,66 | 6.336 |
| 28/1/1.947 | 2.580 | 0,55 | 5.263 |
| 29/1/1.947 | 1.777 | 0,38 | 3.625 |
| 30/1/1.947 | 1.652 | 0,35 | 3.370 |
| 31/1/1.947 | 1.411 | 0,30 | 2.878 |
| 1/2/1.947 | 1.344 | 0,29 | 2.742 |
| 2/2/1.947 | 1.221 | 0,26 | 2.491 |
| 3/2/1.947 | 1.132 | 0,24 | 2.309 |
| 4/2/1.947 | 1.060 | 0,23 | 2.162 |
| 5/2/1.947 | 1.032 | 0,22 | 2.105 |
| 6/2/1.947 | 1.043 | 0,22 | 2.128 |
| 7/2/1.947 | 1.115 | 0,24 | 2.274 |
| 8/2/1.947 | 1.082 | 0,23 | 2.207 |
| 9/2/1.947 | 1.038 | 0,22 | 2.117 |
| 10/2/1.947 | 985 | 0,21 | 2.009 |
| 11/2/1.947 | 965 | 0,21 | 1.968 |

Tabela 5.61 (Continuação)
Hidrograma de Cheia Máxima

| Data | Vazões em Anta (m³/s) | Vazões Adimensionalizadas | Vazões naUHE Itaipava I (m³/s) |
|-------------|---|--------------------------------------|--|
| 12/2/1.947 | 975 | 0,21 | 1.989 |
| 13/2/1.947 | 926 | 0,20 | 1.889 |
| 14/2/1.947 | 936 | 0,20 | 1.909 |
| 15/2/1.947 | 980 | 0,21 | 1.999 |
| 16/2/1.947 | 862 | 0,18 | 1.758 |
| 17/2/1.947 | 1.337 | 0,29 | 2.727 |
| 18/2/1.947 | 1.747 | 0,37 | 3.564 |
| 19/2/1.947 | 2.760 | 0,59 | 5.630 |
| 20/2/1.947 | 2.830 | 0,61 | 5.773 |
| 21/2/1.947 | 2.021 | 0,43 | 4.123 |
| 22/2/1.947 | 1.667 | 0,36 | 3.400 |
| 23/2/1.947 | 1.466 | 0,31 | 2.990 |
| 24/2/1.947 | 1.740 | 0,37 | 3.549 |
| 25/2/1.947 | 1.718 | 0,37 | 3.504 |
| 26/2/1.947 | 1.501 | 0,32 | 3.062 |
| 27/2/1.947 | 1.370 | 0,29 | 2.795 |
| 28/2/1.947 | 1.350 | 0,29 | 2.754 |
| 1/3/1.947 | 1.652 | 0,35 | 3.370 |
| 2/3/1.947 | 1.898 | 0,41 | 3.872 |
| 3/3/1.947 | 1.623 | 0,35 | 3.311 |
| 4/3/1.947 | 1.874 | 0,40 | 3.823 |
| 5/3/1.947 | 1.814 | 0,39 | 3.700 |
| 6/3/1.947 | 1.814 | 0,39 | 3.700 |
| 7/3/1.947 | 1.844 | 0,39 | 3.762 |
| 8/3/1.947 | 3.010 | 0,64 | 6.140 |
| 9/3/1.947 | 2.580 | 0,55 | 5.263 |
| 10/3/1.947 | 2.213 | 0,47 | 4.514 |
| 11/3/1.947 | 1.814 | 0,39 | 3.700 |
| 12/3/1.947 | 1.674 | 0,36 | 3.415 |
| 13/3/1.947 | 1.992 | 0,43 | 4.063 |
| 14/3/1.947 | 2.223 | 0,48 | 4.535 |
| 15/3/1.947 | 3.118 | 0,67 | 6.360 |

Tabela 5.61 (Continuação)
Hidrograma de Cheia Máxima

| Data | Vazões em Anta (m³/s) | Vazões Adimensionalizadas | Vazões na UHE Itaipava I (m³/s) |
|-------------|---|--------------------------------------|---|
| 16/3/1.947 | 4.672 | 1,00 | 9.530 |
| 17/3/1.947 | 3.610 | 0,77 | 7.364 |
| 18/3/1.947 | 2.680 | 0,57 | 5.467 |
| 19/3/1.947 | 2.610 | 0,56 | 5.324 |
| 20/3/1.947 | 3.682 | 0,79 | 7.511 |
| 21/3/1.947 | 3.118 | 0,67 | 6.360 |
| 22/3/1.947 | 2.340 | 0,50 | 4.773 |
| 23/3/1.947 | 1.829 | 0,39 | 3.731 |
| 24/3/1.947 | 1.681 | 0,36 | 3.429 |
| 25/3/1.947 | 1.652 | 0,35 | 3.370 |
| 26/3/1.947 | 1.630 | 0,35 | 3.325 |
| 27/3/1.947 | 1.652 | 0,35 | 3.370 |
| 28/3/1.947 | 1.623 | 0,35 | 3.311 |
| 29/3/1.947 | 1.638 | 0,35 | 3.341 |
| 30/3/1.947 | 1.544 | 0,33 | 3.150 |
| 31/3/1.947 | 1.438 | 0,31 | 2.933 |
| 1/4/1.947 | 1.377 | 0,29 | 2.809 |
| 2/4/1.947 | 1.304 | 0,28 | 2.660 |
| 3/4/1.947 | 1.246 | 0,27 | 2.542 |
| 4/4/1.947 | 1.197 | 0,26 | 2.442 |
| 5/4/1.947 | 1.149 | 0,25 | 2.344 |
| 6/4/1.947 | 1.093 | 0,23 | 2.230 |
| 7/4/1.947 | 1.071 | 0,23 | 2.185 |
| 8/4/1.947 | 1.043 | 0,22 | 2.128 |
| 9/4/1.947 | 1.104 | 0,24 | 2.252 |
| 10/4/1.947 | 1.155 | 0,25 | 2.356 |
| 11/4/1.947 | 1.054 | 0,23 | 2.150 |
| 12/4/1.947 | 970 | 0,21 | 1.979 |
| 13/4/1.947 | 1.000 | 0,21 | 2.040 |
| 14/4/1.947 | 965 | 0,21 | 1.968 |
| 15/4/1.947 | 931 | 0,20 | 1.899 |
| 16/4/1.947 | 912 | 0,20 | 1.860 |
| 17/4/1.947 | 912 | 0,20 | 1.860 |

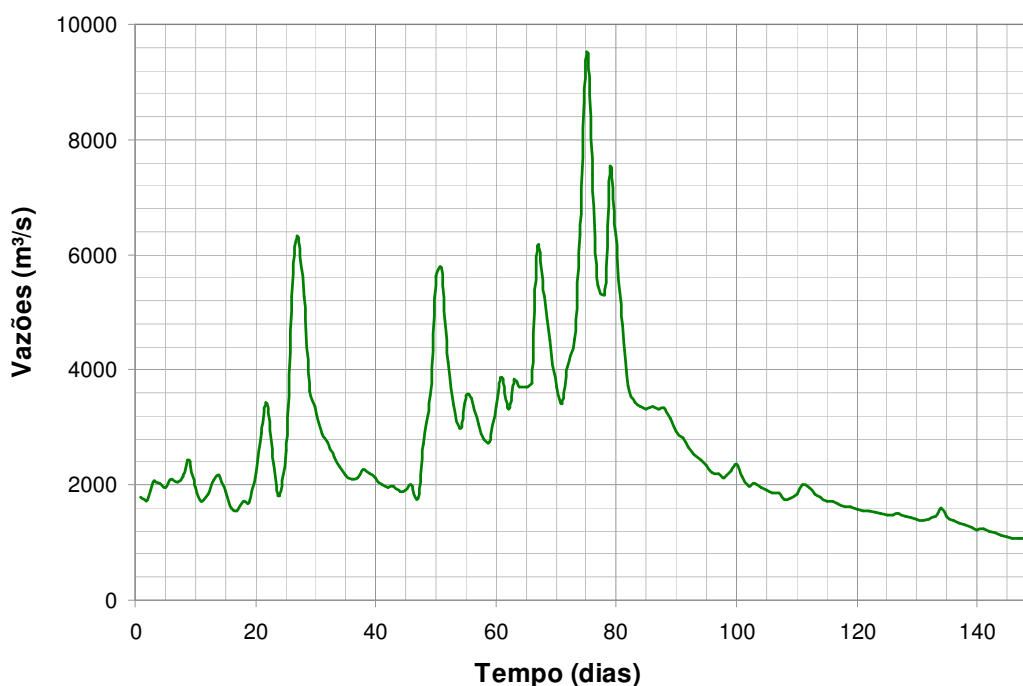
Tabela 5.61 (Continuação)
Hidrograma de Cheia Máxima

| Data | Vazões em Anta (m³/s) | Vazões Adimensionalizadas | Vazões na UHE Itaipava I (m³/s) |
|-------------|---|--------------------------------------|---|
| 18/4/1.947 | 849 | 0,18 | 1.732 |
| 19/4/1.947 | 871 | 0,19 | 1.777 |
| 20/4/1.947 | 898 | 0,19 | 1.832 |
| 21/4/1.947 | 985 | 0,21 | 2.009 |
| 22/4/1.947 | 965 | 0,21 | 1.968 |
| 23/4/1.947 | 898 | 0,19 | 1.832 |
| 24/4/1.947 | 875 | 0,19 | 1.785 |
| 25/4/1.947 | 845 | 0,18 | 1.724 |
| 26/4/1.947 | 845 | 0,18 | 1.724 |
| 27/4/1.947 | 824 | 0,18 | 1.681 |
| 28/4/1.947 | 797 | 0,17 | 1.626 |
| 29/4/1.947 | 790 | 0,17 | 1.611 |
| 30/4/1.947 | 772 | 0,17 | 1.575 |
| 1/5/1.947 | 766 | 0,16 | 1.563 |
| 2/5/1.947 | 759 | 0,16 | 1.548 |
| 3/5/1.947 | 749 | 0,16 | 1.528 |
| 4/5/1.947 | 736 | 0,16 | 1.501 |
| 5/5/1.947 | 729 | 0,16 | 1.487 |
| 6/5/1.947 | 729 | 0,16 | 1.487 |
| 7/5/1.947 | 736 | 0,16 | 1.501 |
| 8/5/1.947 | 716 | 0,15 | 1.461 |
| 9/5/1.947 | 699 | 0,15 | 1.426 |
| 10/5/1.947 | 693 | 0,15 | 1.414 |
| 11/5/1.947 | 683 | 0,15 | 1.393 |
| 12/5/1.947 | 689 | 0,15 | 1.405 |
| 13/5/1.947 | 719 | 0,15 | 1.467 |
| 14/5/1.947 | 786 | 0,17 | 1.603 |
| 15/5/1.947 | 716 | 0,15 | 1.461 |
| 16/5/1.947 | 683 | 0,15 | 1.393 |
| 17/5/1.947 | 661 | 0,14 | 1.348 |
| 18/5/1.947 | 640 | 0,14 | 1.306 |
| 19/5/1.947 | 621 | 0,13 | 1.267 |
| 20/5/1.947 | 598 | 0,13 | 1.220 |

Tabela 5.61 (Continuação)
Hidrograma de Cheia Máxima

| Data | Vazões em Anta (m ³ /s) | Vazões Adimensionalizadas | Vazões naUHE Itacara I (m ³ /s) |
|------------|------------------------------------|---------------------------|--|
| 21/5/1.947 | 605 | 0,13 | 1.234 |
| 22/5/1.947 | 586 | 0,13 | 1.195 |
| 23/5/1.947 | 572 | 0,12 | 1.167 |
| 24/5/1.947 | 552 | 0,12 | 1.126 |
| 25/5/1.947 | 541 | 0,12 | 1.104 |
| 26/5/1.947 | 530 | 0,11 | 1.081 |
| 27/5/1.947 | 524 | 0,11 | 1.069 |
| 28/5/1.947 | 524 | 0,11 | 1.069 |

Figura 5.80
Hidrograma de Cheia Máxima naUHE Itacara I



Além desse hidrograma, foram empregadas as seguintes informações:

- Curva cota x volume do reservatório, apresentada no **item 5.1.8**;
- Curva de descarga do Vertedouro caracterizada na Tabela 5.62.

Tabela 5.62 - Curva de Descarga do Vertedouro

| Q (m ³ /s) | NA (m) |
|-----------------------|--------------|
| 0,00 | 76,00 |
| 154 | 77,19 |
| 446 | 78,29 |
| 842 | 79,38 |
| 1.339 | 80,48 |
| 1.911 | 81,58 |
| 2.551 | 82,65 |
| 3.280 | 83,76 |
| 4.087 | 84,88 |
| 4.972 | 86,01 |
| 5.879 | 87,09 |
| 6.847 | 88,17 |
| 7.948 | 89,33 |
| 9.086 | 90,47 |
| 9.381 | 90,76 |
| 9.530 | 90,90 |

O modelo utilizado no cálculo do amortecimento da cheia de projeto promovido pelo reservatório, baseia-se na Equação da Continuidade que para um sistema hidrológico expressa a relação entre a vazão afluente $I(t)$, a vazão defluente $O(t)$ e o armazenamento $S(t)$, como segue:

$$\frac{dS}{dt} = I(t) - O(t)$$

A simulação foi elaborada com base em dados diários discretizados a cada 4(quatro) horas, através da equação:

$$S_{(t+1)} = S_{(t)} + \left(\frac{I_{(t+1)} + I_{(t)}}{2} - \frac{O_{(t+1)} + O_{(t)}}{2} \right) \cdot \Delta t$$

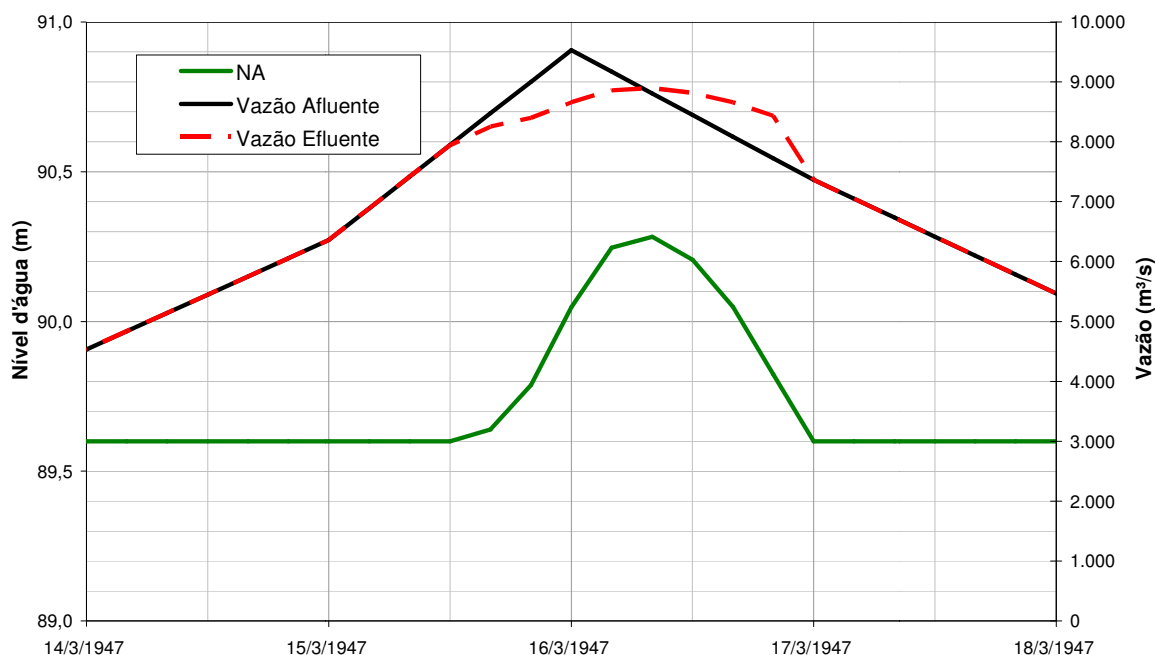
onde $S_{(t)}$ representa o armazenamento no início do intervalo de tempo, $I_{(t)}$ a afluência durante o intervalo de tempo, $O_{(t)}$ a defluência durante o intervalo de tempo e Δt a duração do intervalo de tempo.

Considerando como condição inicial, o reservatório no Nível d'Água Máximo Normal (EL. 89,60 m) e a inoperância dos conjuntos hidrogeradores, isto é, vazão turbinada nula, foram aplicadas as equações acima.

Os resultados obtidos nessa simulação foram os seguintes:

- Vazão máxima defluente = 8.896 m³/s;
- NA máximo reservatório = 90,28 m;
- Hidrograma defluente do período de interesse, mostrado na Figura 5.81

Figura 5.81 - Hidrogramas de Cheia Decamilenar Afluente e Defluente



Conseqüentemente na passagem da onda da cheia decamilenar (TR=10.000 anos) pelo reservatório da UHE Itaocara I, ocorre amortecimento de 6,65% da vazão de pico e uma sobre-elevação do nível d'água normal de 0,68 m (90,28m-89,60m).

5.1.13 Enchimento do Reservatório

Os estudos de enchimento do reservatório da UHE Itaocara I foram desenvolvidos a partir do "Balanço de Massas", no qual os volumes acumulados no reservatório resultam da diferença entre vazões médias mensais afluentes e defluentes.

Considerou-se que o fechamento do rio ocorrerá entre os meses de dezembro e fevereiro. Dessa forma, foram extraídos da série de vazões estabelecida, conforme descrito no **item 5.1.4** os dados referentes a esses meses, os quais são reproduzidos na Tabela 5.63, Tabela 5.64 e Tabela 5.65. Isso feito, foram selecionados para cada um dos três meses em estudo, os anos que correspondiam aos cenários extremos e médio, para fins de enchimento do reservatório.

Tabela 5.63 - Vazões Médias Mensais Afluentes em Dezembro (m³/s)

| Década | Ano | | | | | | | | | |
|------------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1.930-1939 | - | 573 | 712 | 657 | 575 | 287 | 499 | 1008 | 761 | 431 |
| 1.940-1949 | 581 | 604 | 611 | 604 | 404 | 540 | 337 | 906 | 580 | 454 |
| 1.950-1959 | 533 | 361 | 532 | 428 | 268 | 420 | 461 | 517 | 411 | 351 |
| 1.960-1969 | 426 | 346 | 518 | 216 | 442 | 487 | 773 | 547 | 384 | 520 |
| 1.970-1979 | 316 | 552 | 506 | 404 | 428 | 455 | 837 | 594 | 376 | 490 |
| 1.980-1989 | 508 | 650 | 839 | 1212 | 359 | 460 | 419 | 518 | 340 | 422 |
| 1.990-1999 | 263 | 363 | 492 | 280 | 440 | 527 | 763 | 410 | 387 | 481 |
| 2.000-2009 | 407 | 396 | 590 | 534 | 720 | 622 | 628 | 409 | - | - |

Tabela 5.64 - Vazões Médias Mensais Afluentes em Janeiro (m³/s)

| Década | Ano | | | | | | | | | |
|-----------|-----|------|-------|-------|-----|-----|------|------|------|-----|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1930-1939 | - | 865 | 1.343 | 1.115 | 802 | 594 | 256 | 928 | 1132 | 946 |
| 1940-1949 | 648 | 583 | 547 | 1360 | 541 | 612 | 1026 | 708 | 833 | 755 |
| 1950-1959 | 738 | 908 | 692 | 369 | 302 | 497 | 402 | 384 | 327 | 998 |
| 1960-1969 | 424 | 1286 | 460 | 691 | 447 | 816 | 1419 | 1859 | 830 | 575 |
| 1970-1979 | 411 | 328 | 401 | 626 | 605 | 667 | 423 | 960 | 890 | 444 |
| 1980-1989 | 737 | 731 | 664 | 1550 | 956 | 903 | 599 | 669 | 532 | 701 |
| 1990-1999 | 408 | 690 | 870 | 422 | 607 | 349 | 919 | 1396 | 372 | 734 |
| 2000-2009 | 612 | 466 | 551 | 772 | 681 | 744 | 452 | 1182 | - | - |

Tabela 5.65 - Vazões Médias Mensais Afluentes em Fevereiro (m³/s)

| Década | Ano | | | | | | | | | |
|-----------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1930-1939 | - | 2026 | 1126 | 612 | 423 | 1345 | 349 | 1204 | 1027 | 884 |
| 1940-1949 | 1013 | 410 | 535 | 1123 | 872 | 768 | 620 | 1159 | 1124 | 1224 |
| 1950-1959 | 1447 | 1047 | 1061 | 442 | 339 | 302 | 248 | 413 | 417 | 492 |
| 1960-1969 | 575 | 1548 | 1278 | 814 | 759 | 1123 | 673 | 1981 | 485 | 401 |
| 1970-1979 | 345 | 195 | 465 | 857 | 582 | 550 | 596 | 626 | 657 | 1116 |
| 1980-1989 | 532 | 582 | 575 | 1122 | 513 | 1379 | 588 | 897 | 1646 | 1077 |
| 1990-1999 | 281 | 655 | 529 | 474 | 347 | 756 | 1080 | 849 | 650 | 941 |
| 2000-2009 | 640 | 450 | 701 | 548 | 698 | 1007 | 853 | 796 | - | - |

Nos casos em que o enchimento não se completou dentro do trimestre em análise, foram empregadas também as vazões dos meses seguintes.

Os cálculos em questão foram divididos em duas etapas. A primeira etapa até que a cota da soleira do vertedouro EL. 76,00m fosse atingida, considerando-se uma vazão remanescente de 121,60 m³/s correspondente a 80% da Q_{7,10}. Após atingida essa cota da soleira, as comportas segmentos do Vertedouro passariam a controlar a vazão defluente permitindo-se a liberação de uma vazão remanescente de 170,00 m³/s que corresponde à vazão mínima média mensal dos últimos 40(quarenta) anos. Tais critérios resultaram de análises que são detalhadas nos “Estudos de Impacto Ambientais/EIA”.

Dessa forma, foram determinados os tempos decorridos desde o início da operação de enchimento até que se atingisse o nível da soleira do vertedouro (EL. 76,0 m) e o nível d’água máximo normal (EL. 89,60 m), o que equivale à acumulação de volumes no reservatório de 65,72 hm³ e 412,76 hm³, respectivamente.

A Tabela 5.66 resume os resultados obtidos.

Tabela 5.66 - Tempos de Enchimento do Reservatório (dias)

| Elevação | Mês Início do Enchimento / Cenário elevação reservatório | | | | | | | | |
|---|--|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| | Dezembro | | | Janeiro | | | Fevereiro | | |
| | Lento (1935) | Médio (1957) | Rápido (1983) | Lento (1936) | Médio (1981) | Rápido (1967) | Lento (1971) | Médio (2007) | Rápido (1931) |
| Soleira do Vertedouro (EL. 76,00 m) | 5 | 2 | 1 | 6 | 2 | 1 | 11 | 2 | 1 |
| Nível D’Água Máximo Normal (EL. 89,60 m) | 43 | 14 | 5 | 42 | 9 | 3 | 55 | 8 | 3 |

As Figuras seguintes Figura 5.82, Figura 5.83 e **Figura 5.84** apresentam as curvas representativas da evolução do NA do reservatório para os cenários lento, médio e rápido.

Figura 5.82 - Linigrama de Enchimento do Reservatório no Cenário Lento

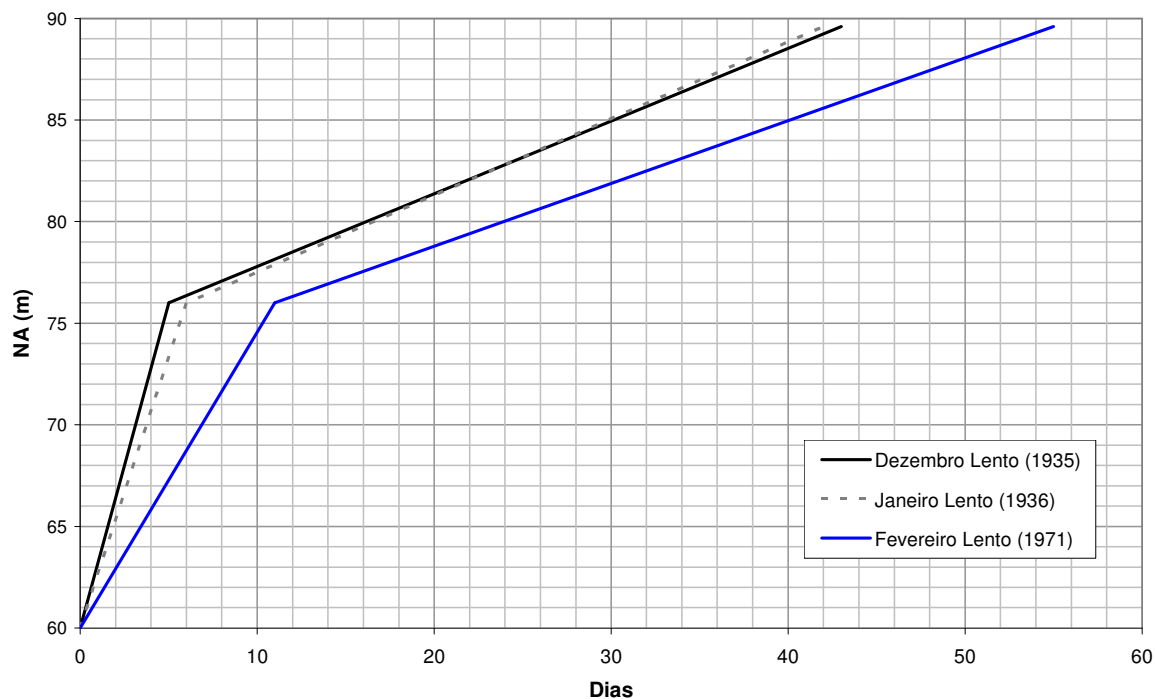


Figura 5.83 - Linigrama de Enchimento do Reservatório no Cenário Médio

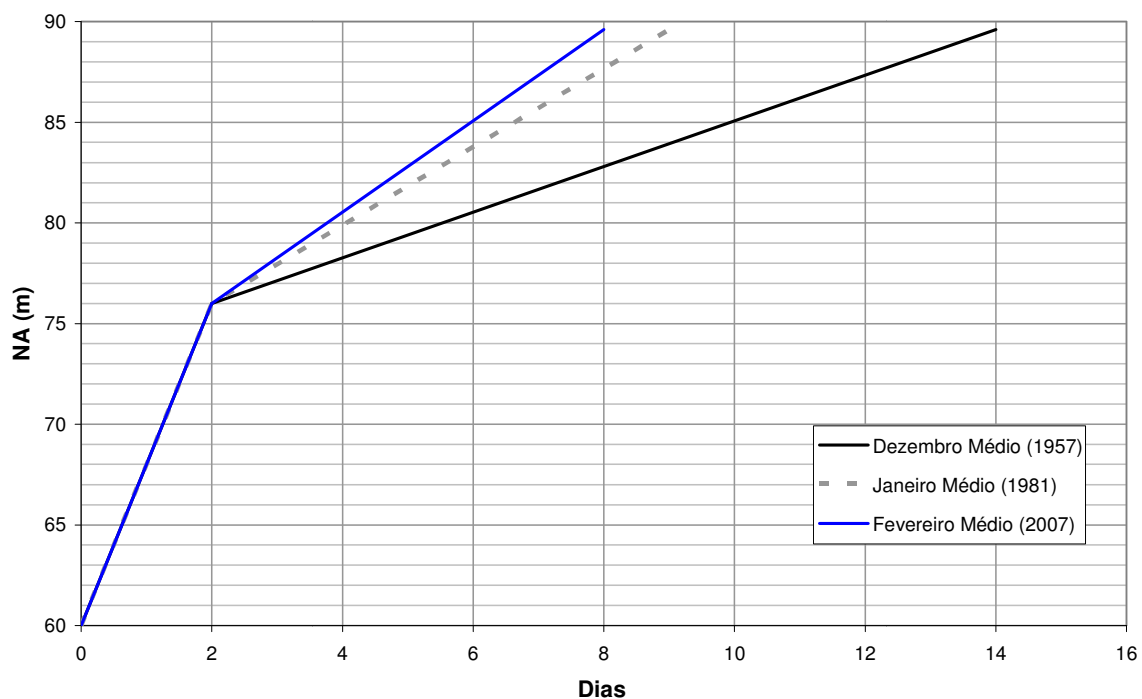
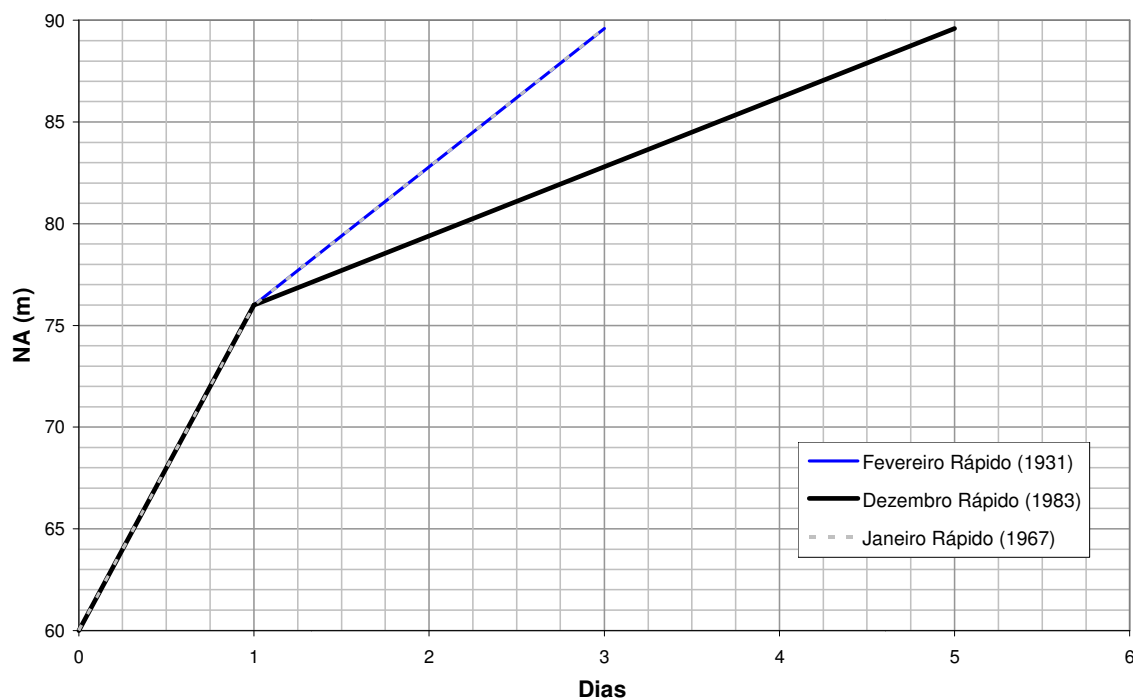


Figura 5.84 - Linigrama de Enchimento do Reservatório no Cenário Rápido



Para os três meses analisados, portanto, conclui-se que:

- O tempo mínimo necessário para que o nível d'água máximo normal na EL.89,60m seja obtido é de cerca de 03(três) dias no cenário rápido, correspondente ao fechamento do rio no mês de janeiro e fevereiro;
- O maior tempo de enchimento simulado foi de 55(cinquenta e cinco)dias correspondente ao fechamento do rio no mês de fevereiro no cenário lento.

5.2 Estudos Hidráulicos

5.2.1 Estudos Hidráulicos para o Desvio e Controle do Rio durante a Construção

O desvio do rio Paraíba do Sul para construção da UHE Itaocara I será realizado em duas fases distintas. Durante a primeira fase, o fluxo total do rio é desviado pelo canal natural do braço esquerdo da Ilha Serena com a construção de duas(02) ensecadeiras, sendo uma a montante e outra à jusante do eixo, entre a margem esquerda e a Ilha Serena, permitindo-se desta forma a construção, na área ensecada, das estruturas do Canal de Adução, Vertedouro/Adufas de Desvio/Bacia de Dissipação/Canal de Descarga, Tomada d'Água/Casa de Força/Canal de Fuga, Muro de Abraço Margem Esquerda, Barragem de Enrocamento Esquerda, Barragem de Terra Margem Esquerda, Muro de Abraço Margem Direita, Barragem de Enrocamento Direita e parte da Barragem de Terra Margem Direita.

A segunda fase do desvio do rio inicia-se após a conclusão da construção das estruturas localizadas na margem esquerda e a execução de duas (02) ensecadeiras na margem direita, fechando o braço direito da Ilha Serena até a ombreira direita, sendo a ensecadeira de montante incorporada à Barragem de Terra Margem Direita e a ensecadeira de jusante removida após a conclusão do aterro da Barragem de Terra Margem Direita.

O fluxo total do rio Paraíba do Sul, na segunda fase, será desviado pelo braço esquerdo da Ilha Serena através de 12(doze) adufas executadas no maciço da estrutura do Vertedouro. Para efetivar-se este evento DESVIO DO RIO, as ensecadeiras de montante e jusante de Primeira Fase serão parcialmente removidas, de forma a permitir o fluxo pelas Adufas de Desvio e permitir o início de construção das ensecadeiras de Segunda Fase do Desvio a montante e jusante que permitirão a conclusão das obras da Barragem de Terra na área ensecada no leito do rio, margem direita e ombreira direita.

Apresentam-se, a seguir, os Estudos Hidráulicos relativos ao Desvio e Controle do Rio durante cada fase de construção, como também os estudos referentes ao Esquema de Garantia de Vazão Remanescente que permitirá a manutenção do fluxo d'água à jusante da Barragem durante o enchimento do reservatório.

5.2.1.1 Ensecadeiras da Primeira Fase de Construção

O Desvio do Rio de Primeira Fase foi dimensionado para a cheia de tempo de recorrência igual 50 anos, correspondente a uma vazão de 5.194 m³/s no período completo. O nível de água de montante atinge a El. 67,70 m e o de jusante a El. 65,50 m.

As ensecadeiras de Primeira Fase apresentam coroamento de montante na El. 69,00 m e de jusante na El. 67,00 m e protegem as estruturas, na área ensecada, para a passagem da cheia com tempo de recorrência de 100 anos, correspondente a uma vazão de 5.764 m³/s com borda-livre reduzida.

Deve ser ressaltado que a ensecadeira de montante da Primeira Fase deverá ser parcialmente removida, pois será utilizada no controle do assoreamento junto à estrutura da Tomada D'água.

Aproximadamente 110,00 m da ensecadeira montante edefrente ao Vertedouro deve ser totalmente removida para o Desvio do rio pelas Adufas, enquanto outro trecho de ensecadeira montante com cerca de 130,00 junto à margem esquerda, deve ser rebaixada para El. 67,00 m.

5.2.1.2 Ensecadeiras da Segunda Fase de Construção

Na Segunda Fase de Desvio do Rio as águas afluentes escoam através de doze (12) Adufas de Desvio retangulares com dimensões H=7,00m, L=5,50m e extensão unitária de 27,60m, permitindo a passagem da cheia com tempo de recorrência de 50 anos, correspondente a uma vazão de 5.194 m³/s.

O nível de água de montante atinge a El. 75,50 m e o de jusante a El. 66,30 m.

As ensecadeiras de Segunda Fase possuem coroamento de montante na El. 76,50 m e de jusante na El. 67,50 m e protegem as estruturas ensecadas para a passagem da cheia com tempo de recorrência de 100 anos no período de estiagem, correspondente a uma vazão de 5.764 m³/s, com borda-livre reduzida.

5.2.1.3 Dispositivo de Garantia da Vazão Remanescente à Jusante ou Vazão Ecológica

Para garantir a manutenção da vazão ecológica definida em 121,60 m³/s (Qeco = 80% de Qmin. mensal) durante o enchimento do reservatório, até que seja atingida a crista da soleira do Vertedouro na EL.76,00m, será usado um “Esquema de Fechamento” das Adufas de Desvio que dispensará a utilização de qualquer dispositivo para manutenção da vazão residual durante o enchimento do Reservatório.

Em linhas gerais, o fechamento das Adufas de Desvio será das extremidades do Vertedouro para o centro, com o fechamento de duas(02) adufas simétricas em relação ao centro da estrutura Vertedouro de cada vez, até completar-se o décimo fechamento.

Já com o reservatório em ascensão, as duas últimas adufas centrais serão fechadas individualmente. No fechamento da última adufa de desvio será usado o esquema de “cracking”(pequenos fechamentos com pequenas descidas da comporta vagão) para permitir o controle da subida do reservatório, permitir a passagem da vazão de 121,60m³/s pela última adufa até atingir-se a EL 76,00m da crista da ogiva vertente.

Atingida a soleira do vertedouro, a vazão residual deverá ser garantida através da operação das comportas segmentos do Vertedouro já devidamente testadas, comissionadas e em plena fase de operação.

Para maiores detalhes e entendimento completo do assunto, sugere-se a leitura do **item 6.5.4** que enfoca o Esquema de Fechamento das Adufas de Desvio e a manutenção da Vazão Remanescente ou Ecológica.

5.2.2 Estudos de Dimensionamento Hidráulico do Vertedouro

De acordo com os estudos hidrológicos foi definida uma vazão decamilenar (TR=10.000 anos) na UHE Itaipava I de 9.530 m³/s. A estrutura dimensionada para atender essa vazão possui extensão total de 102,000 m divididos em seis(06) vãos de 13,50 m cada e pilares internos e externos com largura de 3,00 m.

Com relação à concepção hidráulica, a estrutura vertente foi dimensionada para operar controlada por seis (06) comportas segmentos de 13,50m x 13,60m, com nível d'água normal do reservatório na EL. 89,60 m e com capacidade para extravasar a vazão decamilenar.

Para atender à vazão mínima remanescente para jusante serão utilizadas as Adufas de Desvio até o seu fechamento para formação do reservatório. Durante a fase de fechamento das Adufas, funcionará o “Esquema Provisório de Vazão Remanescente” até o reservatório atingir a crista da ogiva do vertedouro na elevação 76,00m. Esse Esquema, descrito no **item anterior 5.2.1.3**, só funcionará durante o enchimento e formação do reservatório, pois após o fechamento completo das Adufas, suas galerias de H=7,00m x

L=5,50m serão plugadas com concreto para complementação da ogiva vertente e prover a estrutura Vertedouro com maior estabilidade.

Após atingir a crista do vertedouro EL. 76,00m, a vazão remanescente passará pelo próprio vertedouro através dos vãos cujas adufas e ogivas vertentes já foram concretadas e os vãos, serão controlados por comportas segmentos, até atingir o seu nível d'água máximo normal na EL.89,60m

A estrutura vertedouro constituída deseis(06) blocos,apresenta na parte inferior do seu maciço,doze (12) adufas de desvio que receberão “plugs”/tampões de concreto após seu fechamento com comportas ensecadeiras por montante, seguindo esquema previamente estudado que informa a sequencia de fechamento das Adufas deDesvio e concretagem dos tampões.

.A geometria da crista do vertedouro foi definida pelas equações que definem o perfil “Creager” para vertedouros segundo “Hydraulic Design Criteria – Chart 111-2/1” definida para uma carga de 11,175m (Hd), de modo a se poder utilizar um coeficiente de vazão mais elevado para a carga máxima de 14,90 m (He, sendo $He/Hd=1,33$) sem depressão excessiva na soleira – e com curva semi- elíptica, a montante, associado a um paramento com inclinação 1,0V:0,7H. As formas hidrodinâmicas das extremidades de montante do pilar e dos muros laterais foram definidas, através de combinações de arcos de círculos, considerando para estes espessuras de 3,00m. Esses dimensionamentos obedeceram às diretrizes do HDC e do HDS do “US Corps of Engineers”.

A jusante do vertedouro foi introduzida uma bacia de dissipação de 52,08m de comprimento e 102,00m de largura com a função de conter o ressalto hidráulico e dissipar a energia do fluxo para a vazão centenária ($Q = 5.764 \text{ m}^3/\text{s}$), considerando o nível d'água normal do reservatório na EL. 89,60m.

Foi inserida no final da bacia de dissipação uma soleira terminal na EL. 52,15 m para conter o ressalto hidráulico dentro da bacia e evitar a erosão regressiva na sua extremidade final.

Após a saída da bacia está previsto um trecho horizontal de 20,00 m de extensão na EL. 51,00 seguido de uma rampa com inclinação de 1V:3H até a cota do terreno natural (~58,50m) para restituição das águas vertidas ao curso natural do rio.

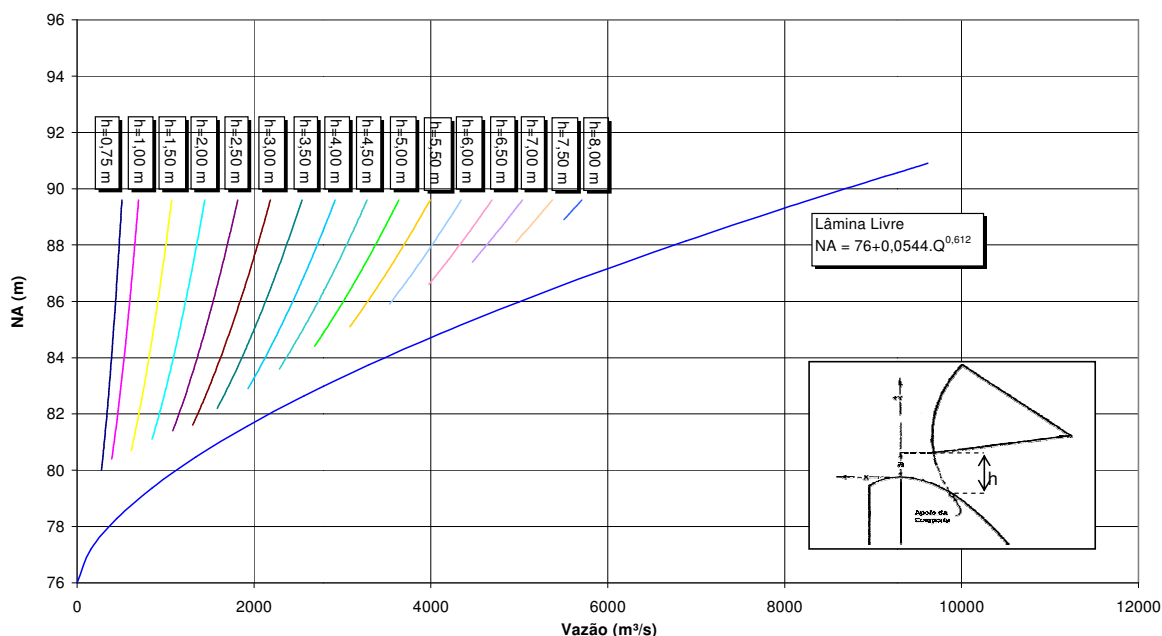
Para definição das cotas de topo dos muros laterais da Bacia de Dissipação e da posição das vigas-munhão das comportas segmentos, foi calculado o perfil de linha d'água ao longo da soleira da crista, calha vertente e bacia de dissipação para a vazão decamilenar $9.530\text{m}^3/\text{s}$. No caso da região da soleira da crista da ogiva e munhão da comporta segmento, o perfil foi calculado com base nas indicações do HDC e HDS do US Corps of Engineers, parametrizadas em função da carga de dimensionamento(Hd) para esse tipo de soleira; enquanto que para a calha vertente e bacia, o mesmo foi calculado através do Standard Step Method, tendo-se verificado a altura do ressalto da lâmina d'água dentro da bacia até o final do muro. O perfil de linha d'água assim obtido deverá ser verificado nos estudos em modelo hidráulico reduzido durante a etapa do projeto executivo.

Com relação à viga munhão, seu posicionamento é função de compromisso do atendimento simultâneo às conveniências hidráulicas (depressão moderada do campo de pressões hidrodinâmicas ao nível da superfície do concreto, quando de aberturas parciais, sem risco de cavitação - acolhendo-se, de forma aproximada, as indicações de Fernando Lemos em “Critères pour le dimensionnement hydraulique de barrages déversoirs dont le parement amont est incliné à 3:3”, Memória Nº 543, LNEC, Lisboa, 1.980) e mecânico-estruturais da comporta e respectivo equipamento de movimentação, o que resultou em borda livre da ordem de 2,00m.

Com relação aos muros laterais na rampa vertente e na bacia de dissipação, as cotas de coroamento foram estabelecidas considerando a excepcionalidade da vazão decamilenar e tendo como diretriz uma borda livre mínima de 0,50m em relação à mesma, sem considerar o emulsionamento.

A Figura 5.85, a seguir, apresenta as curvas de descarga para o vertedouro, com e sem controle de comporta. Os cálculos respectivos seguiram as metodologias e os parâmetros constantes do HDC e HDS do US Corps of Engineers, levando-se em conta as características geométricas definidas para a estrutura na região da soleira da ogiva e canal de adução, constantes dos desenhos apresentados no Volume II deste Relatório. Ressalta-se que nos casos com controle de comporta, os valores de abertura indicados na Figura 5.85 se referem à distância vertical entre o bordo inferior da comporta e o seu ponto de apoio na soleira da ogiva.

Figura 5.85 - UHE Itaocara I - Curvas de Descarga do Vertedouro



O cálculo de pressões foi realizado para os casos de lâmina livre e fluxo controlado por comporta baseado nas metodologias do HDC – Chart 111-16/1 e 111-16/2 para lâmina livre no centro do vão e próximo aos pilares e Chart 311-6 e 311-6/1 para o vertedouro controlado por comporta.

As pressões alcançadas na soleira do vertedouro, na rampa vertente e na curva na entrada da bacia de dissipação, chegam a valores máximos da ordem de 6,0m.c.a. com flutuação de pressão de até $\pm 2,45$ m.

A avaliação do potencial de ocorrência de cavitação na superfície de concreto da ogiva vertente foi realizada com base nos valores do índice de cavitação incipiente que resultaram em valores entre 0,81 e 0,35.

As especificações técnicas relativas à resistência mínima do concreto e às classes e procedimentos para acabamento das superfícies hidráulicas, definem essas características de forma a evitar ou minimizar tal possibilidade.

Entretanto na etapa do Projeto Executivo, cálculos teóricos e ensaios em modelo hidráulico reduzido detalhados para toda a gama de vazões, permitirão estimar adequadamente valores para o coeficiente de cavitação incipiente em cada seção e trecho da estrutura e definir as adequações às especificações técnicas que eventualmente se mostrem necessárias.

5.2.3 Estudos Hidráulicos do Circuito de Geração

O Circuito de Geração foi concebido de forma a melhor aproveitar técnica e economicamente as condições topográficas e geológico-geotécnicas do trecho previsto para a sua implantação, e dimensionado para as condições previstas de níveis d'água operacionais.

5.2.3.1 Tomada d'Água

A Tomada D'Água com soleira na EL. 52,50m e extensão em planta de 23,64m até a junta de construção na linha "B", teve sua geometria definida de forma a serem minimizadas as perdas de carga nas transições entre as seções de escoamento. Para este objetivo utilizou-se uma curva semi-elíptica para definição do teto da Tomada D'Água. A cota da soleira/piso foi definida de forma que ficasse garantida a submergência mínima da seção da comporta ensecadeira para não ocorrência de vorticidades, considerando o "Critério de Gordon" e escoamento de aproximação assimétrica. Um pilar central com 4,00 m de largura e forma hidrodinâmica composta de arcos de círculo, divide a entrada da tomada d'água em dois (02) portais que correspondem às duas(02) Unidades Geradoras, de forma a propiciar condições estruturais e operacionais adequadas.

Cada portal de entrada da Tomada D'água (com duas aberturas de 10,70m m de largura unitária por 20,95m de altura unitária), foi projetada assumindo uma velocidade máxima referente à área útil das grades em torno de 1,5 m/s.

A seção unitária adotada para as comportas ensecadeiras (7,80 m de largura livre por 13,90m de altura livre), corresponde à velocidade do escoamento de 3,36 m/s que é um valor inferior ao valor limite estabelecido nos critérios de projeto de 6,0 m/s.

5.2.3.2 Canal de Fuga

À jusante da Casa de Força, o Canal de Fuga escavado em rocha, possui largura inicial de 52,00m na EL. 39,00 e rampa de 1V:4H com a qual alcança o Canal de Restituição com largura de 145,00mna EL. 58,50 m.

5.2.3.3 Perdas de Carga

A perda de carga total no circuito hidráulico de geração apresenta, para a vazão nominal máxima de engolimento das turbinas, um valor igual a 0,344 m. A equação da perda de carga para a vazão unitária de cada circuito de geração é apresentada a seguir:

$$h = \frac{Q_{un.}^2}{3,166 \times 10^5}$$

h: perda de carga (m);

Q_{un.}: vazão unitária de cada circuito de geração (m³/s).

Apesar da equação da perda de carga estar em função da vazão unitária, os cálculos para determinação da perda de carga total foi realizado a partir da vazão total de engolimento, conforme apresentado no memorial que se segue.

1) Perda de Carga nas Grades:

Fórmula de Kirshmer:

$$h_G = k_G \left(\frac{e_1}{e_2} \right)^{4/3} \text{sen } \theta_1 \frac{v^2}{2g}$$

Fonte: Diretrizes para Projetos de PCH - ELETROBRÁS (pág. 7.2-1).

Onde:

| | |
|------------------|---|
| h _G = | perda de carga na grade em m; |
| k _G = | coeficiente de perda de carga da grade; |
| e ₁ = | espessuras das barras (diâmetro) em mm; |
| e ₂ = | espaçamento entre barras em mm; |
| Teta = | inclinação da grade; |
| v _E = | velocidade na entrada em m/s. |

| | |
|------------------|-----------------------|
| k _G = | 2,42 |
| e ₁ = | 50 mm |
| e ₂ = | 150 mm |
| Teta = | 78,56 ° |
| sen 83.3° = | 0,980 |
| Vazão = | 666 m ³ /s |
| Altura = | 22,1 m |
| Largura total = | 38,4 m |
| v _E = | 0,78 m/s |
| h _G = | 0,017 m |

2) Perda de carga no nicho da comporta:

| | | |
|------------------|---------------------|------------------------|
| Largura total: | L = | 31,76 m |
| Altura Comporta: | H = | 14,10 m |
| Área Comporta: | A = | 447,816 m ² |
| | V _{comp} = | 1,47 m/s |

Fonte: Usinas Hidrelétricas, Gerhard P. Schreiber (pág.120).

| | | |
|---------------------|-------------------|----------|
| Ranhuradas Comporta | h _{R1} = | 0,0022 m |
|---------------------|-------------------|----------|

3) Perda de carga na contração Grade-Comporta

$$h_E = k_E \left(\frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} \right)$$

Onde:

| | |
|------------------|-----------------------------------|
| h _E = | perda de carga na contração em m; |
| k _E = | coeficiente de contração, 0,3; |
| v ₁ = | velocidade na grade; |
| v ₂ = | velocidade na comporta; |
| h _E = | 0,024 m |

4) Perda de carga na sucção

$$h_E = k_E \left(\frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} \right)$$

Onde:

| | |
|------------------|---------------------------------|
| h _E = | perda de carga na sucção, em m; |
| k _E = | coeficiente de expansão, 1,0; |
| v ₁ = | velocidade no canal de fuga; |
| v ₂ = | velocidade na sucção; |

Comporta Sução

| | |
|-----------------|---------|
| Altura = | 7,4 |
| Largura total = | 34,76 m |
| Velocidade = | 2,57 |

Canal de Fuga

| | |
|------------|---------|
| Altura | 19,7 m |
| Largura | 40,6 m |
| Velocidade | 0,83 |
| hE= | 0,301 m |

5) Perda de carga Total

| | |
|-----|---------|
| h = | 0,344 m |
|-----|---------|

5.3 Estudos Geológicos e Geotécnicos

5.3.1 Geologia e Geomorfologia Regional

5.3.1.1 Geologia Regional

Este item tem por finalidade apresentar os estudos elaborados quanto aos aspectos geológico-geotécnicos, realizados no local previsto para a implantação da UHE Itacara, situado no rio Paraíba do Sul, município de Itacara, nordeste do Estado do Rio de Janeiro. Para a caracterização regional, foi utilizado o Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro, escala 1:500.000, elaborado pelo Departamento de Geologia da CPRM. O desenho G26-DEB-0001 mostra a distribuição espacial das diversas unidades geológicas no contexto regional.

No sítio estudado, o rio Paraíba do Sul escoar no sentido NE e recebe águas do rio Pomba, de direção NW pela margem esquerda.

Regionalmente, a área em questão, é constituída por rochas de idades proterozóicas e depósitos cenozóicos distribuídas em faixas mais ou menos paralelas ao rio Paraíba do Sul, com direção NE-SW e compreendem, principalmente, rochas cristalinas, caracterizadas como gnaisses, gnaisses xistosos, granulitos e migmatitos. Ocorrem diversas falhas de empurrão, normais e transcorrentes.

As rochas proterozóicas, descritas sucintamente a seguir, englobam rochas do meso ao neoproterozóico, constituindo, da base para o topo pela Unidade Itaperuna Granulitos, Unidade Italva, Complexo Paraíba do Sul, Unidade Duas Barras, Leucogranito Gnaiss da Serra do Paquequer, Suíte Desengano, Suíte Rio de Janeiro, Suíte Bela Joana, Suíte Angelim e Suíte Serra das Araras.

No entorno do empreendimento ocorrem, principalmente, rochas da **Unidade Itaperuna Paragranulitos**(NNpit) constituída por gnaisses quartzo-feldspáticos aluminosos a granada-biotita-sillimanita com e sem ortopiroxênio, eventualmente com intercalações de gnaisses calcissilicáticos. Esta unidade faz contato com as rochas do Complexo Paraíba do sul através de falhas de empurrão, tanto para NW como para SE.

A **Unidade Italva**(NNpi) ocorre a sudeste do sítio previsto da UHE Itaocara I e constitui-se por metacalcário dolomítico e calcítico intercalado com granada-biotita-sillimanita gnaisse quartzo-feldspático e quartzo-anfibólio-clinopiroxênio gnaisse.

O **Complexo Paraíba do Sul**(MNps) é representado na região por rochas da Unidade São Fidelis, caracterizado por granada-biotita-sillimanita gnaisse quartzo-feldspático com bolsões e veios anatéticos *in situ* ou injetados de composição granítica. Intercalações de gnaisse calcissilicáticos e quartzito são frequentemente observadas. Ocorrem, ainda, horizontes de xistos grafitosos, além de rochas calcissilicáticas, metacabornáticas e quartzitos.

Em direção a SE, ocorrem em faixas contínuas rochas das Suítes Desengano, Italva, Rio de Janeiro, Angelim, Unidade São Fidelis reportada ao Complexo Paraíba do Sul, Suíte Desengano e Suíte Bela Joana. Na porção SW da região em estudo, ocorrem rochas das unidades Duas Barras e Leucogranito Gnaisse da Serra do Paquequer.

A **Suíte Desengano**(Ny2d) constitui-se por granito tipo “S” com granada, muscovita e biotita de granulação grossa, com texturas granoblástica e porfírica com forte foliação transcorrente. Localmente são observados domínios charnockíticos.

A **Suíte Rio de Janeiro**(Ny2rd) é constituída pelo Granito Corcovado, Granito Pão de Açúcar e Leucogranito Gnáissico Cosme Velho. O Granito Corcovado é caracterizado como granito tipo S com granada, muscovita e biotita com textura megaporfírica. O Granito Pão de Açúcar caracteriza-se como um fácies melatuminosas do Granito Corcovado. E Leucogranito Gnáissico Cosme Velho é caracterizado como tipo “S” com muscovita, granada e biotita, de granulação média.

A **Suíte Angelim**(Ny2a) é caracterizada por granada-hornblenda-biotita tonalito a granito com textura porfírica e forte foliação transcorrente. É uma suíte mista envolvendo domínios peraluminosos de granito tipo S, ricos em granada e domínios metaluminosos tipo “I”, ricos em hornblenda.

A **Suíte Duas Barras**(Ny1rd) é constituída por granitoides de fácies homogêneas, foliada, de composição tonalítica intrudida por veios e bolsões de leucogranito tipo “S”.

O **Leucogranito Gnaisse da Serra do Paquequer**(Ny1p) é constituído pro muscovita-biotita leucogranito, granito tipo “S” de granulação grossa com forte foliação tangencial, rico em restos de paragnaisses.

Em direção a NW, em contato com a unidade São Fidelis (Complexo Paraíba do Sul), são observadas rochas da Suíte Serra das Araras, Unidade Itaperuna com intercalações de faixas da unidade Santo Antônio de Pádua, seguida da Unidade São Fidelis e Unidade Itaperuna com um bolsão de Suíte Bela Joana.

A **Suíte Serra das Araras**(Ny3a) caracteriza-se por granada granito a duas micas tipo “S” com granulação grossa, equigranular a porfírico com foliação transcorrente, rico em enclaves de paragneisse.

A **Suíte Santo Antônio de Pádua**(Ny3sa) é constituída por sienogranito tipo “I”, extremamente deformado em zona de cisalhamento transcorrente, com textura ultramilonítica, sendo o anfibólio o principal mineral acessório. Localmente são observadas manchas de charnockitização.

A **Suíte Bela Joana**(Ny2b) constitui-se por granito tipo C, caracterizado como granada-hornblenda-clinopiroxênio-ortopiroxênio charnockito de granulação grossa, textura magmática equigranular a porfírica, isótopo a foliado, associado à enderbita a norito.

Os Depósitos Quaternários - Coberturas Indiferenciadas(Qha) referem-se aos materiais mais recentes de cobertura, constituídos por depósitos fluviais e flúvio-marinhos caracterizados como areno-síltico-argilosos com camadas de cascalheiras associadas a depósitos de tálus e sedimentos lacustrinos e de manguezais retrabalhados.

5.3.1.2 Aspectos Estruturais

Do ponto de vista estrutural, a região apresenta vários alinhamentos estruturais de direção NE-SW. As principais drenagens encontram-se encaixadas nesses alinhamentos. As feições mais expressivas são o Lineamento de Além Paraíba, entres as cidades de Sapucaia e Itaocara e Santo Antônio de Pádua e as diversas falhas inversas, entre as cidades de Juiz de Fora, Mirai e Araponga.

O principal dobramento mapeado na folha de Santo Antônio de Pádua, (Grossi e Donadello Moreira *et alii.*, 1978), tem planos axiais verticalizados e eixo horizontalizados.

O sistema de fraturamento NE-SW é o responsável pelo traçado do rio Paraíba do Sul, no local do futuro barramento UHE Itaocara I. Este sistema, por vezes de grande continuidade, apresenta distribuição plano-paralela de direção NW-SE, ortogonal ao lineamento gnáissico. Este sistema é verticalizado, possui um caráter regional e deverá em grande parte condicionar a implantação da futura Usina, em especial no que se refere à compartimentação do maciço rochoso, aumentando o seu grau de fraturamento nos locais onde ocorrem estes “feixes de fraturamento”.

Nas Figura 5.86 e Figura 5.87 estão indicados os dois sistemas estruturais de importância na região descritos acima, e que regem a compartimentação do maciço.

Figura 5.86 - Alinhamentos Estruturais Identificados sobre Aerolevantamento a Laser

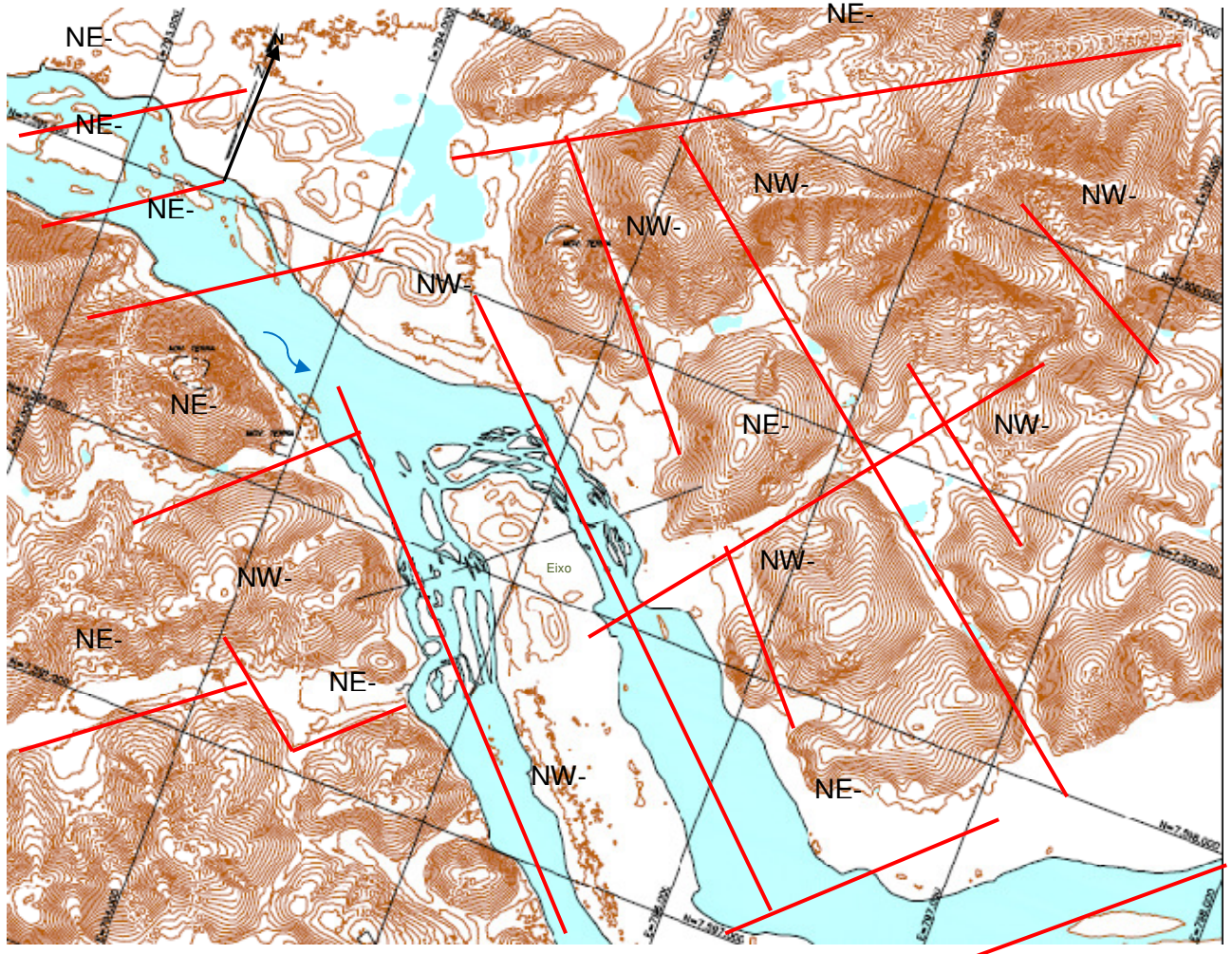


Figura 5.87 - Alinhamentos Estruturais Identificados sobre Imagem Google Earth



5.3.1.3 Sismicidade

O Mapa Sismotectônico do Brasil (Haberlehner 1.978) firmou o conceito de zonas sismogênicas que corresponde a áreas que podem ser relacionadas a zonas de fraqueza crustal. São essas estruturas (cinturões de cisalhamentos, zonas de suturas e junções tríplexes) representando domínios tectônicos que, basicamente, controlam os processos geológicos que aqui se desenvolvem. Terrenos de alto grau e faixas metamórficas vulcano-sedimentares marcam as zonas de justaposição de blocos crustais, com arranjos tríplexes. Esses blocos, separados por tais tipos de discontinuidades, são bem marcados geofisicamente, por meio de dados gravimétricos e magnéticos. Atualmente há cerca de 26 (vinte e seis) zonas sismogênicas caracterizadas em território brasileiro (Haberlehner 1.978, Hasui 1.990, Mito 1.993).

A liberação de energia sísmica ocorre de maneira difusa mas não aleatoriamente. Os epicentros distribuem-se nas faixas de articulação de blocos crustais e imediações, o que indica forte influência de antigas anisotropias-descontinuidades na atividade sísmica.

- Sismicidade no Brasil

Hoje se sabe que a ideia de que áreas constituídas por rochas muito antigas, estáveis tectonicamente e localizadas no interior de placas litosféricas, caso do território brasileiro, representam regiões livres de terremotos, encontra-se destituída de fundamentos. De fato, se comparada a sismicidade de zonas modernas, instáveis como, por exemplo, a borda oeste da placa Sul-Americana, o nosso nível de sismicidade é modesto, embora abalos com magnitudes acima de 5,0 (escala Richter), já tenham sido registrados no Brasil, conforme citado na bibliografia.

Com o estabelecimento de uma rede de monitoramento sísmico em nosso país, percebe-se a existência de certo número de tremores que aqui ocorrem, até com certa frequência, embora os abalos registrados sejam provocados por sismos de pequena magnitude. Só nos últimos dez anos o Observatório Sismológico da Universidade de Brasília registrou 400 (quatrocentos) sismos com magnitude igual ou superior a 3,0 na escala Richter. Essas manifestações intermitentes de sismicidade representam pulsos remanescentes de uma tectônica que ainda está em curso.

Os maiores sismos de que se tem registro em nosso território, correspondem aos ocorridos em 1.955, em Porto dos Gaúchos, no estado de Mato Grosso, com uma magnitude de 6.75; também em 1.955, o ocorrido em área oceânica a 330 km do litoral do Espírito Santo, com magnitude de 6.3; o de 1.983 em Codajás, no Amazonas, com magnitude de 5.5; o de 1.980, em Cascavel e Pacajus, Ceará, com magnitude de 5.2 e o de 1.986, em João Câmara, Rio Grande do Norte, com magnitude de 5.5.

Por outro lado, a maior parte dos sismos brasileiros é de pequena magnitude ($\leq 4,5$) e comumente ocorrem em baixa profundidade (hipocentro a menos de 30 km) e, por isso, só são sentidos a até alguns poucos quilômetros do epicentro. Este é quase sempre o padrão de sismicidade esperado para regiões contidas no interior de placas tectônicas.

- Risco Sísmico

A magnitude, medida na escala Richter, avalia a quantidade de energia liberada pelo terremoto. A intensidade do terremoto que se mede pela escala de Mercalli Modificada (MM), quantifica o dano provocado pelo abalo. Sismos com magnitudes como as que ocorrem no Brasil, da ordem de 3.0, são considerados fracos e em termos de estragos podem, quando muito, causar pequenas rachaduras nas construções mais simples.

Os danos que um tremor causa, dependem de vários fatores: magnitude do sismo, profundidade em que tenha ocorrido, a constituição geológica do substrato e, com referência ao que efetivamente importa do ponto de vista humano, que são os estragos proporcionados por esses eventos, da qualidade das construções das zonas abaladas.

Convém lembrar que sismos de pequenas magnitudes e de intensidades não muito significativas, a exemplo de recente terremoto ocorrido em dezembro de 2.007, na localidade de Itacarambi/MG ocasionou, além de danos materiais, a primeira vítima fatal em nosso território.

Dentre as Zonas Sismogênicas determinadas no Brasil, convém destacar, em virtude da maior proximidade com a área da UHE Itaipava I, a Província Sísmica do Sudeste (SADOWSKI *et al.*, 1.978) com sismicidade associada ao sistema de falhamentos dos *riffs* da Serra do Mar e às falhas do sul de Minas Gerais. Registros históricos dão conta de diversos tremores, cerca de 136, sentidos nos estados do Espírito Santo, Rio de Janeiro e de Minas Gerais, num raio de 300Km do futuro empreendimento. Dos sismos computados, apenas cinco possuem magnitudes maior ou igual a 4.0 (Tabela 5.67). Dentre estes, o tremor mais próximo ao eixo do barramento Itaipava I é o registrado em Campos, de magnitude 4,5 em 1.917.

Tabela 5.67 - Sismos Registrados nas Proximidades de Itaipava I

| Ano | Coordenadas | Estado | Localidade | Magnitude |
|------|-----------------|--------|--------------------|-----------|
| 1886 | 22,66°S/43,69°W | RJ | São Pedro | 4,3 |
| 1917 | 21,60S/41,50W | RJ | Campos | 4,5 |
| 1920 | 21,03°S/44,75°W | MG | Bom Sucesso | 4,0 |
| 1972 | 21,72°S/40,53°W | RJ | Campos | 4,8 |
| 1996 | 22,71°S/40,50°W | RJ | Margem Continental | 4,0 |

Extra Fonte: Extraído do IAG - USP

A análise de estabilidade envolvendo terremotos é rotineiramente considerada em zonas sísmicas e tem sido recomendada mesmo em zonas historicamente assísmicas. No caso da região do empreendimento, levando-se em conta que as poucas informações disponíveis nos mostram tremores, em geral, de baixa magnitude, mas que indicam a possibilidade de ocorrência de abalos sísmicos recomenda-se a avaliação das condições de estabilidade da barragem considerando-se a possibilidade de sismos, adotando-se cargas sísmicas correspondentes às acelerações de 0,05 g na direção horizontal e 0,03 g na direção vertical (critérios da Eletrobrás).

- Sismicidade Induzida

Além das forças naturais, ações humanas como a construção de grandes barragens também pode contribuir para desestabilizar tectonicamente uma determinada porção da crosta terrestre gerando, geralmente, tremores de terra de pequenas magnitudes.

A construção da barragem provoca um aumento da carga localizada em uma determinada área da crosta, equivalente à massa representada pela água armazenada no reservatório. Esse peso, caso comparado às pressões litostáticas naturais não teria, aparentemente, condições de desestabilizar geologicamente o substrato desencadeando os abalos. Entretanto, há um fator que não pode deixar de ser considerado que, mesmo sendo insuficiente para fraturar as rochas da base, a coluna de água exerce uma pressão hidrostática fazendo com que os líquidos sejam pressionados através dos poros das rochas e descontinuidades (falhas, fraturas). Esse fenômeno pode levar anos para que haja uma infiltração significativa (saturação) que vai depender da permeabilidade das rochas do fundo dos reservatórios. Regiões de fraqueza, com muitas descontinuidades podem, entretanto, acelerar esse fenômeno, ocasionando a lubrificação das paredes de blocos rochosos falhados, reduzindo o coeficiente de atrito, fazendo com que os blocos se desloquem um em relação ao outro, produzindo o abalo.

O que se pensava anteriormente de que lagos artificiais só geravam sismos de pequena magnitude, foi desmentido pelo ocorrido em 1.967 na região do reservatório de Koina (com 103 metros de altura) na Índia, em uma região muito antiga e estável geologicamente, que registrou um abalo de 6,4 na escala Richter. O tremor danificou estruturalmente a barragem, vitimou cerca de duas centenas (200) de pessoas e deixou milhares de feridos na região. Nessa mesma década, mais outros três casos de sismos com magnitudes acima de 6,0 foram registrados associados às barragens com altura superior a 100 metros.

No Brasil os registros disponíveis sobre sismicidade induzida, confirmam a ligação entre esses fenômenos e o enchimento de barragens, sendo os abalos produzidos de magnitudes de até 5,1 na escala Richter e intensidades entre VI e VII na escala de Mercalli Modificada. Na Tabela 5.68 abaixo são identificados os principais sismos registrados devido à formação de reservatórios.

Tabela 5.68 - Sismos Induzidos por Reservatórios no Brasil

| Ano | Estado | Localidade | Magnitude Richter | Intensidade MM |
|------|--------|-----------------------------|-------------------|----------------|
| 1970 | MG | Carmo do Cajuru | 3-4 | III |
| 1971 | PR | Reservatório de Capivari | - | - |
| 1972 | MG | Carmo do Cajuru | 4,7 | - |
| 1974 | - | Porto Colômbia Volta Grande | 5,1 | VI-VII |
| 1976 | PR | Primeiro de Maio | - | - |
| 1976 | PR | Salto Santiago | - | - |
| 1993 | MG | Carmo do Cajuru | 2,5 | - |
| 1995 | MG | Nova Ponte | 3,5 | IV-V |

Fonte: Haberlehner (1978) e Assumpção *et al.* (1997)

Dos dados acima expostos e conforme apresentado pela bibliografia referente a esse assunto, os sismos induzidos por barramentos estão sempre diretamente relacionados à altura dos barramentos e a litologia envolvida, seja na região do eixo do barramento, seja do futuro reservatório.

No presente caso, tanto a altura da barragem com coluna máxima de água da ordem de 30,00m, como a litologia envolvida, seja na região do barramento, seja no futuro lago – rochas granito-gnáissicas – não indicam problemas com relação a sismos induzidos. Estes, caso ocorram serão, provavelmente de pequena amplitude, não devendo impedir a implantação do futuro empreendimento.

5.3.1.4 Aspectos Geomorfológicos

A região onde se encontra inserido o sítio da UHE Itacara I apresenta variações morfológicas vinculadas à heterogeneidade litológico-estrutural e aos reflexos dos agentes erosivos.

A principal feição é o alinhamento de direção NE-SW, no qual as drenagens estão encaixadas. O alinhamento mais expressivo é o lineamento de Além Paraíba entre Sapucaia e Itacara, além de várias falhas inversas entre as cidades de Juiz de Fora, Mirai e Araponga.

O rio Paraíba do Sul atravessa diferentes unidades geomorfológicas pertencentes a dois grandes domínios morfoestruturais: a Faixa de Dobramentos Remobilizados e o Domínio dos Depósitos Sedimentares. A região do vale do Paraíba do Sul encontra-se entre as regiões do Planalto da Serra da Mantiqueira Meridional e Setentrional e das Escarpas e Reversos da Serra do Mar.

Nesta região instalou-se a drenagem atual do rio Paraíba do Sul que apresenta um leito meandrante em seu curso médio superior e retilíneo em seu curso médio inferior, onde corta área estrutural entre alinhamentos serranos. São identificadas nessa região três subunidades geomorfológicas: a Depressão do Médio Paraíba do Sul, os Alinhamentos de Cristas do Paraíba do Sul e a Depressão Escalonada do Rio Pomba e Muriaé.

- **Depressão do Médio Paraíba do Sul**

A Depressão do Médio Paraíba do Sul ocorre sobre estrutura de *graben*, enquanto nos Alinhamentos de Cristas predomina uma estrutura de falhas e dobras e um relevo do tipo apalachiano. A região em estudo situa-se na unidade geomorfológica dos alinhamentos estruturais do Paraíba do Sul.

Esta unidade é caracterizada por feições que refletem um alto controle estrutural formado por falhas e fraturas alinhadas em geral no sentido NE – SW. A morfologia está representada por estruturas convexo-côncavas na forma de colinas, sulcos estruturais, cristas e escarpas erosivas, sempre em alinhamentos claros e muito marcantes. Litologicamente, esta unidade encontra-se inserida no Complexo Paraíba do Sul.

5.3.2 Aspectos Morfológicos e Geológico-Geotécnicos Locais

5.3.2.1 Aspectos Morfológicos

O local do aproveitamento caracteriza-se por uma curva acentuada do rio Paraíba do Sul, orientada para Nordeste.

O rio Paraíba do Sul, no sítio do empreendimento, apresenta vale aberto de fundo achatado e ombreiras com elevação da ordem de 140,00m na margem esquerda e de 160,00m na margem direita. A declividade da ombreira esquerda é menor se comparada com a direita, onde ocorre uma planície de inundação no pé da encosta.

No leito do rio, ocorre um conjunto de ilhas cuja elevação máxima é da ordem de 75,00m. A maior ilha, denominada de Ilha Serena tem dimensões aproximadas de 0,5km de largura por 2,5km de comprimento.

As estruturas de concreto Vertedouro, Tomada D'água e Casa de Força serão implantadas na região do “braço” esquerdo do rio Paraíba do Sul.

5.3.2.2 Aspectos Geológico-Geotécnicos

O local selecionado para a UHE Itaocara I está inserido em rochas arqueanas reportadas a Unidade Itaperuna Paragranulitos, caracterizadas como gnaisses, granulitos e migmatitos. Cabe ressaltar que os gnaisses encontrados no local do barramento apresentam inúmeros xenólitos de gnaiss xistosos e a rocha envolvente se aproxima muito de um granito.

No desenho G26-DEB-0003 estão locadas todas as sondagens executadas para a avaliação da fundação do sítio previsto para a UHE Itaocara I.

As seções geológico-geotécnicas pelas Estruturas da UHE estão apresentadas nos desenhos G26-DEB-0004 a 0009. O desenho G26-DEB-0010 apresenta a seção geológico-geotécnica pelo eixo do Dique de Fechamento, a ser executado em uma sela/depressão topográfica da margem esquerda do reservatório, com a finalidade de evitar um ponto de fuga do futuro lago.

A seguir são apresentadas as principais características geológico-geotécnicas dos materiais encontrados no sítio selecionado para a implantação da UHE Itaocara I.

- **Maciço Rochoso**

O maciço rochoso no local das futuras obras está representado por rochas Pré-Cambrianas gnáissicas da Suíteltaperuna Paragranulitos conforme já descrito na Geologia Regional.

No local do barramento ocorrem rochas gnáissicas e granito-gnáissicas. Merece destaque ainda o fato de que dentro da massa rochosa são identificáveis corpos de xenólitos, por vezes de dimensões consideráveis, da ordem do metro ou maiores.

O maciço aparece exposto em pedrais da calha do rio e em escarpas no alto de algumas encostas, o que permite a visualização de grandes áreas expostas que, associadas à verificação dos testemunhos de sondagem, contribuiu sobremaneira na caracterização do maciço. Trata-se de um granito-gnáissico granatífero, coloração clara e geralmente com foliação pouco proeminente e com zoneamentos por vezes grosseiros, podendo ocorrer no seu interior xenólitos de rocha gnáissica, de formas e dimensões variáveis, distribuídos de forma aleatória e caótica.

O maciço pode ser considerado como de boa qualidade geomecânica, apresentando-se normalmente pouco a medianamente fraturado, em geral até profundidades da ordem dos 15-20 metros, quando a partir daí passa a predominar com grau de fraturamento F1.

Os sistemas de fraturas predominantes que compartimentam o maciço rochoso são:

- N38°-60° E / Sub vertical (paralela à lineação gnáissica regional);
- N40°- 50°W / Vertical (perpendicular à lineação gnáissica regional). Esse sistema, especificamente para o local do eixo, apresenta especial importância, pois condicionou o direcionamento do leito do rio;
- N66°E / alinhamento de grande parte do traçado do rio Paraíba do Sul – falha (não diretamente ligada ao local do barramento);
- N80°W a EW / Vertical (transversal à lineação gnáissica regional).

No que se refere à permeabilidade, foram ensaiados três (03) furos localizados na margem esquerda (SR-20, SR-21 e SM-22), no trecho previsto para a implantação das estruturas de concreto. O maciço apresentou grau de condutividade hidráulica média a alta (H3-H4) até a profundidade de 15 metros apenas na sondagem SR-20. A partir dessa profundidade, o maciço torna-se estanque, com grau da condutividade hidráulica muito baixa (H1), assim como nos demais furos ensaiados nas diversas campanhas de investigações empreendidas em estudos anteriores. A Tabela 5.69 seguinte mostra o resumo dos ensaios de perda d'água, realizados nos furos de sondagens.

Tabela 5.69- Resumo dos ensaios de perda d'água em rocha

| Sondagem | Trecho ensaiado (m) | Litologia dominante | Condutividade hidráulica |
|-----------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| SM-01 | 5,0 – 8,0 | Gnaiss migmatítico | H1 |
| SM-02 | 14,0 – 17,0 | Gnaiss migmatítico | H1 |
| SM-03 | 14,12 – 17,12 | Gnaiss migmatítico | H1 |
| SR-06 | 2,0 – 5,0 | Gnaiss migmatítico | H5 |
| | 5,0 – 11,0 | | H1 |
| SR-07 | 1,0 – 4,0 | Gnaiss migmatítico | H2 |
| | 4,0 – 7,05 | | H1 |
| SR-10 | 4,5 – 10,0 | Gnaiss migmatítico | H1 |
| SR-11 | 6,0 - 10,50 | Gnaiss migmatítico | H1 |
| | 10,50 – 13,55 | | H2 |
| SR-15 | 4,9 – 10,9 | Gnaiss migmatítico | H1 |
| SR-20 | 3,0 - 6,0 | Gnaiss migmatítico | H4 |
| | 6,0 - 9,0 | Gnaiss migmatítico | H3 |
| | 9,0 – 12,0 | Gnaiss migmatítico | H3 |
| | 12,0 – 15,0 | Gnaiss migmatítico | H3 |
| | 15,0 - 27,0 | Gnaiss migmatítico | H1 |
| SR-21 | 0,5 - 28,5 | Gnaiss migmatítico | H1 |
| SM-22 | 4,5 - 25,5 | Gnaiss migmatítico | H1 |

- **Saprolito / Solo Residual**

O saprolito e o solo residual aparecem recobrando o maciço nas margens direita e esquerda e na Ilha Serena, localizada no leito do rio. As maiores espessuras ocorrem na margem esquerda quando atingem cerca de 10 metros, seguidas da Ilha Serena com espessuras variando de 3 a 5 metros e da margem direita, com 1 m.

O horizonte de saprolito ocorre de modo descontínuo sobre o maciço rochoso, caracterizado como material de granulometria de areia fina a média, siltosa, pouco argilosa, quartzofeldspática e micácea, coloração castanha a cinza esbranquiçada. A resistência ao amostrador SPT é superior a 15 golpes. Esse horizonte é pouco permeável, com coeficientes de permeabilidade nos ensaios de infiltração ao redor de 10^{-5} cm/s.

O solo residual é caracterizado como silte argiloso, pouco a medianamente arenoso de consistência rija a dura, a areia fina a média, siltoso, pouco argilosa, por vezes micácea, medianamente compacto a compacto, coloração marrom avermelhada a esbranquiçada. A resistência ao amostrador SPT é baixa e apresenta valor médio de 6 golpes. Sua permeabilidade de modo geral, conforme estudos anteriores, visto que os logs das sondagens foram elaborados a partir de reclassificação dos testemunhos das sondagens existentes, variam de 10^{-2} cm/s a 10^{-6} cm/s. Na margem esquerda, os coeficientes de permeabilidade são menores que 10^{-6} cm/s, o que caracteriza um solo impermeável.

A Tabela 5.70 mostra o resumo dos ensaios de infiltração em solo, realizados nos furos de sondagens da campanha de 2.011. Os resultados dos ensaios de infiltração realizados em sondagens das campanhas de investigações anteriores não foram possíveis de resgate.

Tabela 5.70- Resumo dos ensaios de infiltração em solo

| Sondagem | Trecho ensaiado (m) | Litologia dominante | Permeabilidade (k = cm/s) |
|----------|---------------------|----------------------------------|---------------------------|
| SM-22 | 0,0 – 1,0 | Aluvião – argila arenosa | $1,06 \times 10^{-5}$ |
| | 1,0 - 2,0 | Solo residual – silte arenoso | $2,78 \times 10^{-6}$ |
| | 2,0 – 3,0 | Solo residual – silte arenoso | $5,60 \times 10^{-6}$ |
| | 3,0 – 4,0 | Saprolito – areia silto-argilosa | $1,43 \times 10^{-5}$ |
| SM-26 | 0,0 – 1,0 | Aluvião – areia siltosa | $3,10 \times 10^{-5}$ |

- **Solos de Cobertura**

- **Colúvio**

A camada de colúvio ocorre nas ombreiras e na Ilha Serena com espessuras variando de 1 a 3 metros. Caracteriza-se como argila siltosa, pouco arenosa a arenosa, com pedregulhos milimétricos de quartzo e fragmentos de rocha decomposta. Apresenta consistência mole à dura e coloração vermelha a marrom avermelhada.

- **Aluvião**

Os depósitos aluvionares estão presentes nas margens direita e esquerda e na Ilha Serena e, provavelmente, nos trechos mais rebaixados e profundos da calha viva do rio Paraíba do Sul. Caracterizam-se por areia fina a média, siltosa, medianamente argilosa, com grânulos de quartzo, fofa a pouco compacta e de coloração amarelada.

Nas áreas das baixadas ribeirinhas e ilhas, ocorrem depósitos de sedimentos aluvionares compostos essencialmente por areia pura, lavada quando situada na calha do rio.

Esses depósitos aluvionares não são muito expressivos nas margens, porém assumem proporções maiores na região do leito do rio, onde operam extrações comerciais. As sondagens SR-12 e SR-13, executadas na Ilha Serena e a jusante do eixo do Barramento, perfuraram respectivamente, 6,0m e 8,0m de solos aluvionares.

5.3.3 Condicionantes Geológico-Geotécnicas para Escavações e Fundações

5.3.3.1 Considerações Gerais

Neste item enfoca-se a caracterização dos materiais *in situ* visando, principalmente, a avaliação do comportamento desses materiais em função das exigências a serem impostas por cada estrutura a ser implantada. As estruturas hidráulicas de geração estão localizadas na região do “braço” esquerdo do rio Paraíba do Sul.

As fundações foram analisadas segundo os critérios recomendados pela ABGE (Associação Brasileira de Geologia de Engenharia) para a determinação dos parâmetros geológico-geotécnicos. Os testemunhos de sondagens foram descritos e classificados de acordo com esses critérios.

5.3.3.2 Ensecadeiras

As ensecadeiras de Primeira Fase estão localizadas a partir da Ilha Serena para a margem esquerda e serão assentadas sobre maciço rochoso ou sobre camadas de colúvio/solo residual e, localmente sobre aluvião.

As ensecadeiras de Segunda Fase estão localizadas a partir da Ilha Serena para a margem direita e serão assentadas diretamente sobre o maciço rochoso, ou sobre uma pequena espessura de solo coluvionar e, localmente, sobre solos aluvionares.

O condicionante básico à implantação das ensecadeiras de primeira e segunda fases é a presença dos solos aluvionares recentes que, em grande parte, deverão exigir a sua remoção da fundação. Onde esses solos aluvionares se tornam muito espessos, no entanto, deverá ser analisada na etapa do Projeto Executivo a possibilidade de dragagem destes materiais para a devida vedação das ensecadeiras já na implantação de primeira fase.

Nas proximidades do eixo do barramento, esse material aluvionar distribui-se em faixas paralelas ao rio, entre as cotas 62 e 68 m aproximadamente, tendo como seus limites de um lado o rio, onde podem ocorrer na forma de bancos ou “manchas” preenchendo cavidades e as depressões que constituem o topo da rocha sã no leito, submersos e, de outro, solos residuais e solos saprolíticos, esses já aparecendo nas margens.

Normalmente, o pacote destes materiais está depositado diretamente sobre o maciço rochoso sã, nas ilhas, junto à calha do rio e nas margens ainda próximo à calha do rio. Nas margens, localmente, podem ocorrer depositados sobre uma camada pouco espessa de granito-gnaiss mais alterado. As espessuras dos solos aluvionares variam ao redor dos 3 a 8 m, podendo não estar presentes em alguns trechos do rio. Os ensaios de SPT indicaram valores baixos, da ordem de 2 a 7 golpes, sendo que a permeabilidade se mostrou variável nos ensaios de infiltração, com valores entre 1×10^{-2} cm/s a 1×10^{-7} cm/s, com predominância de valores ao redor de 1×10^{-5} cm/s, conforme dados obtidos de estudos anteriores.

Esse tipo de depósito, fora da calha do rio, pode ser “subdividido” em dois ou mais níveis distintos, variando as porcentagens presentes, ora da argila ora do silte. Em cotas baixas e no leito do rio, formando praias nas épocas secas, as aluviões são constituídas preferencialmente por areias puras a quase puras, ocorrendo, próximo ao local do barramento UHE Itaocara I, algumas jazidas atualmente em exploração.

5.3.3.3 Barragem de Terra

- **Ombreira Direita**

A barragem de terra e barragem de enrocamento – margem direita se estende desde a ombreira direita até o braço esquerdo do rio Paraíba do Sul passando pela Ilha Serena.

A ombreira direita é caracterizada por um capeamento de material terroso pouco espesso sobreposto ao maciço rochoso sã e consistente (D1 e C1), pouco fraturado (F2), com trecho superficial bastante fraturado (F3-F5).

Tendo em vista que neste local e na área da barragem o topo da rocha ocorre à pequena profundidade, cerca de 1 a 2 metros, a barragem deverá ser fundada sobre a rocha sã a pouco alterada.

No que se referem aos tratamentos superficiais, estes serão os convencionais, quando deverá ser feita a remoção de materiais impróprios, taludes negativos, e a aplicação de concreto de regularização, podendo ser necessárias injeções rasas para a consolidação do maciço rochoso em áreas muito fraturadas.

No que se referem aos tratamentos profundos de fundação, o maior grau de fraturamento nos horizontes mais superficiais do maciço rochoso e com maiores coeficientes de permeabilidade, conduziram à necessidade de prever uma cortina de injeções de impermeabilização.

A implantação da barragem de terra na região do leito do rio ocorrerá em duas situações distintas, a saber, fundação direta sobre maciço rochoso e fundações sobre os solos saprolíticos localizados, principalmente nas ilhas presentes e sobre um canal com blocos de rochas e matacões, após a remoção total de solos aluvionares, coluvionares e solos residuais (Ilha Serena).

Predomina a fundação direta sobre o topo rochoso, pois em grande parte do leito do rio a rocha deverá estar aflorante devendo, após limpeza e regularização, receber os materiais do futuro aterro. Nesse trecho de fundação, o tratamento dependerá dos condicionantes geológico-geotécnicos e contará com uma cortina de injeções de impermeabilização sob o eixo do barramento.

A fundação sobre os saprolitos deverá ocorrer no trecho da Ilha Serena, onde os solos coluvionares e aluviões poderão atingir espessuras, da ordem dos 2 a 4m, o que implicará na remoção total dos solos coluvionares e aluvionares (que registraram SPT da ordem dos 3-8 golpes, inferiores aos 10 golpes mínimos necessários), ficando o aterro compactado da barragem assentado sobre saprolito. Além da remoção dos solos transportados, também será executado um *cut-off* (trincheira de vedação), assentado na superfície rochosa, com altura da ordem de 4m, com seu eixo coincidente com o eixo do barramento, de modo a minimizar e aumentar o caminho de percolações quando da formação do reservatório. Ao longo do *cut-off* foi prevista a execução de uma cortina de injeções de impermeabilizações.

O braço esquerdo do rio abriga um canal, com fundo a cerca de 7,00 m abaixo da elevação média das margens do rio, que poderá conter blocos de rocha e matacões de diversas dimensões, que conduzirá à necessidade de cuidados especiais de forma a garantir uma vedação eficiente. Os blocos de rocha e matacões deverão ser removidos e o canal profundo deverá ser conformado de forma que sua geometria final não induza tensões diferenciais.

- **Ombreira Esquerda**

A ombreira esquerda é constituída por horizontes de colúvio e solo residual, com espessura em torno de 5-7m, sobreposto ao horizonte de saprolito. Neste local, a barragem de terra deverá ser fundada sobre saprolito, uma vez que os valores de resistência ao SPT dos solos superiores apresentam valores baixos. A camada de saprolito encontra-se compacto, com valores de resistência ao SPT superiores a 12-15 golpes.

A permeabilidade, de maneira geral, é baixa, situando-se ao redor dos 10^{-4} a 10^{-6} cm/s. Localmente, foram encontrados valores de permeabilidade altos, cerca de 10^{-2} cm/s. As altas permeabilidades poderão estar associadas à presença de um sistema de fraturamento com juntas abertas que deverá ser melhor avaliado durante os estudos do projeto executivo.

Ao longo do eixo da barragem foi previsto a execução de um *cut-off* (trincheira de vedação) assentado em rocha, com altura da ordem de 4 a 5m, associado com uma linha de injeções de calda de cimento (Cortina de Impermeabilização), de modo a preencher possíveis fraturas e juntas abertas e minimizar as infiltrações pela fundação da Barragem de Terra.

5.3.3.4 Dique de Terra

Na ombreira esquerda, 750 metros em linha reta, a montante do eixo, na direção nordeste, está prevista a execução de um Dique em solo compactado para o fechamento do ponto de fuga do reservatório.

No local de implantação deste dique, ocorre uma camada de solo residual de espessura da ordem de 4,0 a 5,0 m, conforme constatado em três sondagens a trado executadas. Esse horizonte de alteração, já bem estudado na área do eixo, possui características bem homogêneas quanto à granulometria, à permeabilidade e à compacidade e apresenta boas condições à fundação do futuro aterro.

Sobre a camada de solo residual são observados camadas de colúvio nas ombreiras com espessura de cerca de 1-2 metros e camada de aluvião na porção central do dique, com uma espessura de cerca de 1,5 m.

5.3.3.5 Estruturas de Concreto

As estruturas de concreto estão localizadas no braço esquerdo do leito do rio Paraíba do Sul onde se observa um maciço rochoso tipo Granitóide, de boa qualidade, são e consistente (A1 e C1) e pouco fraturado (F1/F2). Os trechos mais fraturados estão ligados a sistemas estruturais sub verticalizados que aparecem em faixas normalmente estreitas e alongadas, onde a rocha pode atingir parâmetros de fraturamento F3.

No que se refere à permeabilidade, os ensaios de perda d'água indicaram valores de permeabilidade entre os graus H1-H2 e localmente valores de grau H5. Os níveis de alta permeabilidade estão restritos a fraturas facilmente identificáveis nos perfis de sondagens. Destaca-se a ocorrência de juntas de alívio sub-horizontais típicas que influenciaram os ensaios de perda d'água até a profundidade em torno de 15-20 m.

A massa rochosa granito-gnáissica apresenta uma leve estruturação gnáissica no seu interior ocorrendo, no entanto, zonas com forte estruturação, correspondentes aos xenólitos. Ocorrem biotita-hornblenda gnáisses, cuja "foliação" é bem desenvolvida e orientada de modo caótico, não obedecendo ao padrão regional.

No que se refere aos tratamentos superficiais, deverá ser feita a remoção de materiais impróprios, taludes negativos, aplicação de concreto de regularização, além de eventuais injeções de consolidação do maciço rochoso e ancoragens com chumbadores. No que se refere a tratamentos profundos, está prevista aqui a continuidade da cortina de injeções de impermeabilização iniciada desde a barragem de terra.

5.3.4 Materiais Naturais de Construção

5.3.4.1 Materiais Terrosos

As investigações geológico-geotécnicas identificaram sete(07) áreas de empréstimo próximas ao eixo de barramento, sendo quatro(04) na margem esquerda e três(03) na margem direita(desenho G26-DEB-0011). De acordo com a Tabela 5.71, as áreas da margem esquerda apresentam-se com espessura média da ordem de 6 metros, totalizando um volume estimado de 4.350.000 m³ de material terroso.

As áreas de empréstimo da margem direita são menos promissoras e a espessura média está por volta de 5 metros, totalizando aproximadamente 2.320.000 m³.

Os solos coluvionares (cor marrom-amarelado) e os residuais de granitóide disponíveis nas áreas citadas (cor avermelhada) possuem, geralmente, características plásticas, pois são constituídos predominantemente de argila, com presença de silte, de areia fina a grossa e pequena porcentagem de pedregulho.

Tabela 5.71 - Disponibilidade de Material Argiloso

| Área de Empréstimo | | Área (m ²) | Espessura útil (m) | Volume (m ³) |
|-----------------------|------------|------------------------|--------------------|--------------------------|
| Margem Esquerda ME | AE – A | 70.000 | 6,00 | 420.000 |
| | AE – B | 255.000 | 6,00 | 1.530.000 |
| | AE – C | 310.000 | 6,00 | 1.860.000 |
| | AE – H | 90.000 | 6,00 | 540.000 |
| | Total ME = | | | 4.350.000 |
| Margem Direita MD | AE – E | 70.000 | 5,00 | 350.000 |
| | AE – F | 195.000 | 5,00 | 970.000 |
| | AE - G | 200.000 | 5,00 | 1.000.000 |
| | Total MD = | | | 2.320.000 |

Todas as áreas investigadas constituem a parte superior de morros denominados “meia laranja”, onde a topografia é relativamente suave e o perfil dos solos de intemperismo é mais espesso, com solos residuais maduros bem desenvolvidos. Recobrimdo esses horizontes de alteração ocorrem ainda, com maior ou menor espessura, os solos coluvionares, também adequados para utilização nos aterros compactados da barragem de terra, dique e ensecadeiras.

O Volume IV - Estudos Geológicos-Geotécnicos apresenta os relatórios finais dos laboratórios com os resultados dos ensaios realizados anteriormente.

5.3.4.2 Jazidas de Areias Naturais

Depósitos aluvionares arenosos foram identificados no leito, nas ilhas e nas margens do rio Paraíba do Sul.

A jusante do eixo do barramento, bancos de aluviões arenosos ocorrem na forma de acumulações esparsas desde o fim da Ilha Serena até a localidade de Itaocara. Os mais próximos do eixo, localizados no Areal Serra da Bolívia estão apresentados no desenho G26-DEB-0011 como Jazida 2 e totalizam cerca de 115.000 m³.

Da mesma forma, cerca de 800 metros a montante do eixo, ocorre numa faixa longitudinal ao rio, uma fonte identificada como Jazida 1, com cerca de 60.000 m³ de areia quartzosa pouco micácea, bem graduada.

5.3.4.3 Material Pétreo/Rochoso

A rocha proveniente das escavações obrigatórias é constituída de granito-gnaiss, também denominada de granitóide nos estudos anteriores, apresenta-se sã ou pouco alterada, material adequado à utilização como agregado de concreto e materiais de transição na Barragem de Terra.

Também foram indicadas mais quatro áreas com potencial para a abertura de pedreiras, sendo uma na margem direita (AP-04) e mais outras três situadas na margem esquerda (AP-01, 02 e AP-03). Todas estas áreas situam-se a montante do eixo do barramento, com distância média de transporte (DMT) da ordem de 1 km. No desenho G26-DEB-0011 estão mostrados os locais identificados como potenciais fontes de rocha para o empreendimento.

Durante os estudos anteriores foram retiradas amostras da AP-04 e realizados ensaios para a caracterização do material. Os diversos ensaios e os resultados estão apresentados no Anexo correspondente que é parte integrante do Relatório do Projeto Básico.

5.4 Estudos Tecnológicos de Concreto

Visando verificar a possibilidade de utilização de materiais que formarão a composição do concreto para a execução do aproveitamento da UHE Itaocara I, foram estudadas diversas jazidas de areia natural e materiais pétreos adjacentes à Obra e provenientes das escavações obrigatórias das estruturas.

Foram investigados 03 (três) areais denominados A-1, A-2 e A-3 visando atender às necessidades de construção da Obra. Amostras locais foram extraídas e ensaiadas em Laboratório, de forma a verificar as características de índice de vazios, distribuição granulométrica, teor de matéria orgânica, reatividade potencial agregado/cimento e coeficientes de permeabilidade exigidas pelas especificações técnicas.

Devido à necessidade da Obra foram identificadas 04 (quatro) pedreiras com rocha de boa qualidade, sendo 03 (três) na margem esquerda e 01 (uma) na margem direita. Os ensaios de caracterização foram realizados com material rochoso de pedra e seus resultados estão apresentados no anexo Volume IV – Estudos Geológico-Geotécnicos.

Ressalta-se que no ensaio acelerado de reatividade do material rochoso de pedreira, empregando-se o cimento padrão ABCP que contém um elevado teor de álcalis, mostrou este material ser inócuo, não exigindo portanto, o emprego de cimento com adições inibidoras desta reação, tais como escória, pozolana ou sílica ativa. É preciso ressaltar entretanto que este ensaio se refere a uma determinada amostra de rocha, devendo no futuro em ocasião adequada e antes do início das concretagens, serem realizados outros ensaios de reatividade, empregando-se o cimento que será usado na Obra e amostras representativas do material rochoso dos diversos litotipos existentes no local das pedreiras exploradas e escavações obrigatórias que será empregado na produção de agregados para concreto.

Deve ser enfatizado que atualmente nenhuma obra de grande porte como barragens, viadutos rodoviários e outras estruturas importantes que exigem segurança e durabilidade, dispensa-se o uso de cimento pozolânico na sua execução pois espalha-se pelo mundo uma quantidade imensa de estruturas, após longo tempo de existência, que estão condenadas pelo processo de reação álcalis-agregados devido à ausência de pozolana na composição do cimento Portland.

Prevê-se que haverá necessidade de processamento de material rochoso para produção de areia artificial, uma vez que as jazidas de areia natural disponíveis não apresentam volumes suficientes para atender as aplicações em concreto e filtros e tapetes drenantes das Barragens de Terra.

5.5 Estudos Energéticos

Neste item são apresentados em detalhe os dados, critérios e resultados dos estudos energético-econômicos conduzidos, visando dimensionar a motorização da casa de força e as quedas de referência do AHE Itaocara I.

5.5.1 Critérios Empregados

5.5.1.1 Níveis de Água do Reservatório

O nível d'água máximo do reservatório definido para o AHE Itaocara I é de 89,6m.

5.5.1.2 Série de Vazões

Seguindo recomendações da Aneel, recebidas através do Ofício 535/2014-SGH/ANEEL, de 28 de março de 2014 (ANEXO 1), foram utilizadas as séries de vazões médias mensais da bacia do rio Paraíba do Sul, constantes da Resolução ANA nº 1404, de 26 de novembro de 2013 (ANEXO 2), que contém a Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica para os aproveitamentos hidrelétricos da bacia.

Na DRDH constam os valores das retiradas e bombeamentos de água existentes nos rios da bacia e que devem ser considerados nas simulações da usinas da bacia.

Obedecendo as orientações da Aneel, foram produzidas as séries de vazões médias mensais artificiais para as usinas de Simplicio, Ilha dos Pombos e Itaocara. Estas séries estão apresentadas nas **Tabela 5.72** a **Tabela 5.74**.

Tabela 5.72– Série de vazões artificiais médias mensais da UHE Simplício

| UHE SIMPLICIO - Vazões artificiais médias mensais (m ³ /s) | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Anos | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
| 1931 | 704,1 | 1645,0 | 1200,7 | 698,8 | 385,4 | 268,0 | 244,0 | 220,7 | 216,8 | 280,9 | 270,8 | 545,3 |
| 1932 | 1006,5 | 869,5 | 738,7 | 368,0 | 331,7 | 301,3 | 193,4 | 195,8 | 211,8 | 268,4 | 307,9 | 774,3 |
| 1933 | 907,9 | 481,9 | 422,7 | 289,1 | 269,0 | 237,2 | 232,2 | 200,4 | 218,5 | 277,5 | 305,8 | 457,0 |
| 1934 | 972,0 | 375,3 | 442,7 | 283,7 | 230,8 | 196,8 | 191,0 | 171,9 | 171,3 | 185,4 | 193,7 | 431,0 |
| 1935 | 536,8 | 1355,0 | 653,8 | 436,0 | 277,5 | 245,9 | 229,6 | 203,8 | 197,1 | 278,0 | 256,8 | 256,9 |
| 1936 | 229,7 | 321,9 | 1017,2 | 540,6 | 249,9 | 187,3 | 176,4 | 165,5 | 181,9 | 202,5 | 226,4 | 448,1 |
| 1937 | 918,6 | 949,9 | 434,5 | 374,8 | 346,9 | 240,0 | 208,3 | 185,0 | 179,6 | 260,3 | 346,6 | 1062,6 |
| 1938 | 922,5 | 774,6 | 693,5 | 478,5 | 332,1 | 288,4 | 245,4 | 266,2 | 234,9 | 290,6 | 388,9 | 634,6 |
| 1939 | 779,2 | 692,9 | 444,2 | 515,7 | 270,4 | 224,6 | 203,8 | 185,1 | 180,7 | 186,6 | 254,8 | 334,9 |
| 1940 | 663,8 | 934,0 | 800,5 | 364,5 | 258,9 | 227,5 | 204,1 | 182,7 | 186,1 | 226,4 | 386,1 | 502,9 |
| 1941 | 546,4 | 366,6 | 463,7 | 381,8 | 269,0 | 241,2 | 234,8 | 197,1 | 265,1 | 266,5 | 319,4 | 549,5 |
| 1942 | 538,2 | 512,0 | 713,8 | 405,0 | 319,5 | 268,1 | 265,7 | 209,9 | 199,6 | 252,1 | 328,4 | 540,9 |
| 1943 | 1235,8 | 899,9 | 728,1 | 443,4 | 317,0 | 297,9 | 241,4 | 238,9 | 229,4 | 316,2 | 319,9 | 530,4 |
| 1944 | 547,5 | 848,6 | 1152,5 | 507,1 | 330,0 | 269,2 | 242,0 | 216,0 | 200,9 | 208,1 | 232,0 | 330,3 |
| 1945 | 502,5 | 920,4 | 569,1 | 459,3 | 261,8 | 251,5 | 241,7 | 213,9 | 210,4 | 194,8 | 268,9 | 489,7 |
| 1946 | 1237,2 | 580,9 | 695,3 | 472,5 | 266,0 | 241,2 | 225,9 | 200,8 | 183,1 | 226,0 | 287,8 | 305,9 |
| 1947 | 907,2 | 1093,3 | 1902,0 | 779,0 | 454,8 | 269,1 | 322,8 | 280,7 | 285,1 | 299,5 | 407,0 | 783,0 |
| 1948 | 764,1 | 930,3 | 1092,6 | 655,3 | 410,8 | 292,0 | 241,9 | 223,1 | 206,9 | 213,5 | 254,8 | 468,8 |
| 1949 | 723,7 | 960,4 | 559,1 | 369,5 | 256,7 | 259,2 | 236,7 | 218,4 | 186,7 | 210,2 | 241,5 | 353,3 |
| 1950 | 796,4 | 1099,4 | 749,0 | 633,0 | 401,1 | 268,5 | 242,8 | 218,1 | 207,9 | 235,4 | 357,9 | 614,6 |
| 1951 | 713,3 | 859,3 | 997,3 | 677,2 | 339,3 | 280,8 | 264,7 | 251,1 | 218,8 | 212,9 | 200,6 | 322,0 |
| 1952 | 655,3 | 872,3 | 1142,0 | 555,4 | 303,2 | 301,5 | 262,4 | 235,9 | 233,7 | 253,3 | 373,0 | 406,9 |
| 1953 | 303,3 | 362,3 | 339,6 | 384,9 | 284,8 | 244,3 | 219,7 | 200,1 | 205,0 | 192,6 | 294,7 | 375,4 |
| 1954 | 266,0 | 361,6 | 273,3 | 287,5 | 233,9 | 218,8 | 186,9 | 171,2 | 161,4 | 176,1 | 207,5 | 244,2 |
| 1955 | 453,4 | 278,3 | 258,6 | 268,7 | 216,1 | 203,4 | 173,7 | 159,2 | 150,9 | 172,8 | 232,4 | 390,3 |
| 1956 | 366,1 | 252,7 | 357,1 | 268,6 | 239,8 | 225,6 | 210,2 | 207,9 | 189,5 | 186,0 | 221,0 | 402,4 |
| 1957 | 387,8 | 525,2 | 780,7 | 691,0 | 321,9 | 269,5 | 239,0 | 210,3 | 220,7 | 209,1 | 262,8 | 409,8 |
| 1958 | 278,1 | 543,3 | 455,5 | 354,0 | 338,9 | 294,4 | 235,3 | 199,1 | 220,3 | 243,1 | 297,3 | 427,3 |
| 1959 | 811,8 | 393,4 | 614,3 | 499,9 | 262,3 | 226,2 | 202,2 | 208,1 | 180,4 | 194,1 | 343,9 | 314,4 |
| 1960 | 414,4 | 653,6 | 1092,1 | 463,5 | 324,4 | 284,6 | 253,7 | 232,9 | 214,2 | 211,4 | 246,2 | 403,0 |
| 1961 | 1222,6 | 1273,1 | 1287,1 | 659,5 | 446,3 | 333,7 | 286,0 | 251,6 | 219,3 | 204,9 | 243,3 | 311,9 |
| 1962 | 519,3 | 1235,6 | 725,7 | 398,4 | 293,3 | 266,7 | 231,2 | 222,0 | 221,8 | 228,9 | 402,4 | 571,0 |
| 1963 | 639,7 | 692,7 | 449,9 | 274,9 | 236,8 | 220,6 | 205,4 | 192,7 | 173,0 | 171,8 | 230,6 | 194,4 |
| 1964 | 375,5 | 759,1 | 413,1 | 304,4 | 265,6 | 225,9 | 231,7 | 197,7 | 185,5 | 244,4 | 275,0 | 370,6 |
| 1965 | 717,9 | 1136,4 | 831,6 | 431,6 | 448,6 | 332,1 | 298,9 | 268,9 | 235,0 | 313,0 | 376,4 | 465,5 |
| 1966 | 1412,4 | 526,2 | 804,0 | 480,0 | 350,6 | 290,0 | 259,2 | 232,7 | 224,3 | 255,9 | 609,8 | 726,6 |
| 1967 | 1366,3 | 1429,9 | 1328,8 | 739,6 | 452,0 | 364,0 | 302,9 | 262,1 | 244,8 | 245,2 | 392,7 | 585,8 |
| 1968 | 682,2 | 453,2 | 541,5 | 340,1 | 256,0 | 230,8 | 218,1 | 219,1 | 221,5 | 222,9 | 200,8 | 345,9 |
| 1969 | 496,9 | 417,5 | 461,4 | 333,5 | 248,5 | 241,7 | 219,8 | 215,2 | 201,2 | 236,7 | 335,6 | 525,8 |
| 1970 | 495,0 | 460,8 | 536,2 | 289,8 | 245,9 | 211,8 | 220,5 | 200,1 | 248,7 | 256,2 | 282,5 | 293,6 |
| 1971 | 309,9 | 188,3 | 323,0 | 230,1 | 205,1 | 201,5 | 186,4 | 166,7 | 205,8 | 224,8 | 325,1 | 617,5 |
| 1972 | 527,7 | 703,9 | 792,4 | 415,6 | 295,3 | 252,3 | 248,6 | 231,9 | 268,9 | 294,5 | 376,9 | 452,1 |
| 1973 | 730,8 | 820,2 | 483,6 | 520,3 | 340,4 | 282,4 | 258,3 | 239,6 | 219,3 | 270,4 | 419,9 | 518,5 |
| 1974 | 688,6 | 490,6 | 664,4 | 518,4 | 315,1 | 276,7 | 257,4 | 224,4 | 202,0 | 235,8 | 234,4 | 350,4 |
| 1975 | 738,4 | 648,5 | 464,8 | 319,4 | 263,3 | 231,4 | 223,4 | 190,9 | 184,7 | 242,8 | 335,1 | 506,7 |
| 1976 | 490,2 | 521,9 | 530,8 | 420,8 | 288,8 | 321,7 | 325,0 | 231,1 | 294,5 | 353,9 | 427,2 | 611,4 |
| 1977 | 706,5 | 535,4 | 335,7 | 415,0 | 243,0 | 213,3 | 188,2 | 169,7 | 194,3 | 184,7 | 280,1 | 570,0 |
| 1978 | 806,3 | 473,5 | 506,4 | 286,0 | 255,6 | 239,9 | 214,2 | 194,8 | 180,9 | 187,0 | 272,2 | 324,5 |
| 1979 | 378,5 | 926,7 | 554,8 | 346,0 | 297,7 | 254,9 | 231,5 | 223,2 | 239,3 | 189,7 | 359,9 | 473,8 |
| 1980 | 748,8 | 588,3 | 383,2 | 490,6 | 268,9 | 240,0 | 233,5 | 210,9 | 205,7 | 224,5 | 280,2 | 521,1 |
| 1981 | 837,2 | 495,7 | 463,2 | 319,3 | 264,7 | 232,8 | 215,4 | 201,3 | 180,3 | 227,9 | 367,6 | 660,5 |
| 1982 | 777,2 | 492,4 | 1005,4 | 687,8 | 351,6 | 282,7 | 251,7 | 231,8 | 203,1 | 243,7 | 260,2 | 721,4 |
| 1983 | 1121,7 | 851,9 | 868,2 | 771,9 | 513,0 | 994,4 | 500,6 | 321,1 | 721,9 | 635,2 | 677,5 | 905,1 |
| 1984 | 765,2 | 441,1 | 393,9 | 435,8 | 412,0 | 263,0 | 236,6 | 223,5 | 219,4 | 210,7 | 228,9 | 313,7 |
| 1985 | 897,3 | 1073,9 | 1175,2 | 684,0 | 417,5 | 315,9 | 269,0 | 237,3 | 235,1 | 239,8 | 287,2 | 364,0 |
| 1986 | 558,9 | 613,5 | 735,1 | 389,1 | 289,9 | 244,3 | 234,3 | 228,1 | 205,2 | 182,0 | 191,7 | 560,5 |
| 1987 | 643,2 | 733,3 | 494,7 | 627,8 | 444,9 | 385,4 | 225,3 | 195,4 | 202,5 | 205,3 | 220,2 | 430,9 |
| 1988 | 623,7 | 1289,3 | 898,6 | 561,1 | 468,3 | 400,6 | 267,5 | 250,4 | 237,7 | 260,0 | 328,7 | 324,9 |
| 1989 | 778,9 | 912,3 | 877,5 | 571,2 | 326,0 | 303,4 | 263,8 | 255,4 | 248,3 | 254,0 | 269,0 | 374,5 |
| 1990 | 412,7 | 260,5 | 405,7 | 316,0 | 275,6 | 241,1 | 238,7 | 226,7 | 243,3 | 227,2 | 249,6 | 256,2 |
| 1991 | 625,1 | 745,1 | 684,5 | 853,9 | 422,6 | 288,1 | 270,6 | 241,6 | 233,8 | 270,6 | 257,0 | 316,0 |
| 1992 | 854,8 | 466,1 | 403,3 | 328,4 | 301,5 | 254,2 | 246,9 | 228,5 | 286,5 | 329,6 | 437,7 | 497,2 |
| 1993 | 390,5 | 590,3 | 652,6 | 562,1 | 307,8 | 292,4 | 248,9 | 229,4 | 221,5 | 260,1 | 243,7 | 280,5 |
| 1994 | 501,5 | 341,0 | 570,4 | 483,4 | 431,0 | 299,5 | 239,3 | 211,5 | 189,7 | 190,5 | 247,3 | 380,8 |
| 1995 | 324,6 | 1029,1 | 456,4 | 312,7 | 236,7 | 206,8 | 193,5 | 172,0 | 170,6 | 235,3 | 370,4 | 439,2 |
| 1996 | 926,5 | 853,4 | 1230,8 | 623,1 | 364,7 | 266,0 | 235,4 | 222,4 | 331,8 | 247,7 | 669,1 | 677,4 |
| 1997 | 1195,0 | 739,8 | 650,4 | 372,4 | 298,3 | 282,3 | 238,1 | 217,2 | 210,1 | 233,9 | 268,2 | 408,3 |
| 1998 | 453,3 | 663,8 | 452,9 | 298,5 | 243,5 | 235,7 | 203,1 | 197,5 | 181,0 | 247,0 | 301,8 | 325,0 |
| 1999 | 848,8 | 745,5 | 691,8 | 365,9 | 240,4 | 247,1 | 222,0 | 195,1 | 180,4 | 185,1 | 223,3 | 377,1 |
| 2000 | 839,2 | 581,8 | 461,6 | 403,3 | 235,7 | 208,5 | 207,3 | 196,6 | 233,7 | 197,5 | 217,7 | 386,2 |
| 2001 | 460,2 | 514,4 | 323,8 | 284,9 | 213,6 | 187,9 | 169,4 | 157,1 | 160,7 | 174,2 | 217,3 | 268,0 |
| 2002 | 603,2 | 795,8 | 421,0 | 258,2 | 226,8 | 192,0 | 179,2 | 166,7 | 177,5 | 149,9 | 258,8 | 426,2 |
| 2003 | 769,0 | 526,9 | 435,1 | 310,7 | 251,0 | 224,0 | 206,4 | 199,5 | 201,2 | 232,6 | 298,8 | 401,7 |
| 2004 | 533,1 | 652,0 | 668,5 | 610,3 | 362,0 | 322,3 | 293,1 | 251,5 | 212,3 | 246,1 | 284,3 | 555,8 |
| 2005 | 813,2 | 871,1 | 624,8 | 487,4 | 330,6 | 311,7 | 280,3 | 247,9 | 233,2 | 211,9 | 298,1 | 540,9 |
| 2006 | 443,3 | 796,9 | 489,4 | 327,9 | 281,1 | 250,2 | 226,3 | 225,7 | 221,1 | 284,7 | 364,4 | 619,1 |
| 2007 | 1257,5 | 682,5 | 383,6 | 333,9 | 297,7 | 264,6 | 224,6 | 230,9 | 195,4 | 213,0 | 306,8 | 353,2 |
| 2008 | 386,2 | 949,9 | 833,0 | 682,0 | 371,3 | 313,4 | 275,1 | 250,1 | 244,8 | 282,6 | 417,1 | 810,4 |
| 2009 | 988,9 | 1321,9 | 739,9 | 543,3 | 359,1 | 328,9 | 297,2 | 288,0 | 282,0 | 404,2 | 540,2 | 998,0 |
| 2010 | 1200,0 | 656,8 | 967,1 | 743,2 | 388,2 | 312,8 | 302,4 | 262,4 | 248,8 | 295,3 | 469,2 | 986,4 |
| 2011 | 1306,0 | 525,6 | 1122,9 | 713,0 | 379,0 | 325,9 | 294,2 | 267,0 | 237,6 | 282,3 | 332,0 | 647,0 |
| Mínimas | 229,7 | 188,3 | 258,6 | 230,1 | 205,1 | 187,3 | 169,4 | 157,1 | 150,9 | 149,9 | 191,7 | 194,4 |
| Médias | 707,2 | 718,6 | 676,3 | 461,5 | 313,9 | 273,3 | 240,3 | 217,8 | 220,6 | 241,7 | 313,5 | 482,1 |
| Máximas | 1412,4 | 1645,0 | 1902,0 | 853,9 | 513,0 | 994,4 | 500,6 | 321,1 | 721,9 | 635,2 | 677,5 | 1062,6 |

Tabela 5.73– Série de vazões artificiais médias mensais da UHE Ilha dos Pombos

| UHE ILHA DOS POMBOS - Vazões artificiais médias mensais (m ³ /s) | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| Anos | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
| 1931 | 843,4 | 1931,7 | 1419,3 | 839,4 | 474,7 | 337,3 | 301,7 | 269,0 | 266,7 | 348,4 | 341,5 | 664,0 |
| 1932 | 1193,2 | 1033,2 | 883,6 | 454,5 | 412,3 | 375,7 | 245,0 | 243,6 | 257,8 | 329,1 | 378,3 | 927,8 |
| 1933 | 1083,4 | 585,1 | 516,9 | 354,2 | 327,6 | 285,2 | 240,2 | 204,3 | 220,2 | 334,3 | 370,4 | 668,8 |
| 1934 | 1054,6 | 444,8 | 511,8 | 333,7 | 258,5 | 218,2 | 192,1 | 176,0 | 175,1 | 190,0 | 203,2 | 558,0 |
| 1935 | 664,9 | 1500,6 | 803,8 | 515,0 | 320,0 | 284,3 | 247,2 | 221,4 | 211,3 | 307,0 | 269,6 | 266,4 |
| 1936 | 240,5 | 361,9 | 1106,1 | 632,2 | 293,1 | 211,5 | 183,7 | 179,4 | 208,5 | 210,1 | 245,3 | 528,6 |
| 1937 | 1047,7 | 1085,8 | 533,5 | 444,6 | 407,0 | 269,8 | 222,1 | 192,0 | 182,7 | 294,5 | 396,6 | 1162,2 |
| 1938 | 1046,1 | 891,4 | 804,4 | 561,4 | 377,3 | 311,2 | 268,8 | 284,2 | 244,7 | 304,8 | 417,1 | 661,1 |
| 1939 | 848,6 | 801,8 | 508,8 | 569,8 | 302,7 | 250,3 | 218,1 | 196,5 | 188,0 | 223,1 | 266,1 | 400,5 |
| 1940 | 859,9 | 1129,7 | 969,3 | 447,4 | 309,5 | 287,0 | 222,6 | 201,5 | 211,0 | 293,3 | 496,7 | 607,1 |
| 1941 | 661,2 | 443,6 | 553,0 | 460,6 | 332,5 | 287,9 | 276,6 | 203,0 | 323,6 | 336,4 | 378,5 | 718,2 |
| 1942 | 697,1 | 616,1 | 878,7 | 475,3 | 380,2 | 318,7 | 316,1 | 221,1 | 255,9 | 305,1 | 399,8 | 689,3 |
| 1943 | 1535,3 | 1160,3 | 905,2 | 538,7 | 405,5 | 347,6 | 285,9 | 265,2 | 260,3 | 391,8 | 402,0 | 657,8 |
| 1944 | 663,7 | 1083,0 | 1377,7 | 636,3 | 405,3 | 319,3 | 281,1 | 244,6 | 220,4 | 249,8 | 274,2 | 399,8 |
| 1945 | 637,0 | 1109,2 | 652,4 | 585,0 | 370,7 | 302,6 | 316,3 | 233,5 | 212,1 | 200,6 | 328,7 | 623,2 |
| 1946 | 1399,6 | 651,0 | 719,0 | 554,1 | 348,3 | 288,2 | 255,1 | 221,6 | 194,4 | 269,1 | 350,5 | 363,8 |
| 1947 | 1098,7 | 1304,4 | 2243,2 | 932,4 | 563,7 | 342,1 | 443,0 | 369,0 | 385,8 | 411,3 | 513,7 | 968,3 |
| 1948 | 915,6 | 1193,7 | 1385,9 | 814,5 | 479,4 | 363,6 | 286,0 | 280,3 | 244,9 | 320,2 | 383,9 | 734,4 |
| 1949 | 970,8 | 1322,9 | 803,7 | 530,3 | 381,4 | 344,9 | 276,0 | 244,0 | 224,8 | 290,4 | 338,0 | 497,3 |
| 1950 | 1110,4 | 1417,0 | 1053,2 | 831,1 | 536,9 | 375,5 | 300,7 | 253,1 | 234,7 | 295,6 | 506,3 | 822,1 |
| 1951 | 899,8 | 1125,8 | 1337,5 | 882,3 | 422,0 | 327,8 | 331,6 | 263,4 | 250,8 | 260,6 | 268,7 | 457,5 |
| 1952 | 888,5 | 1128,2 | 1498,9 | 765,1 | 368,7 | 466,9 | 348,3 | 324,2 | 344,9 | 360,5 | 460,1 | 604,5 |
| 1953 | 429,6 | 506,8 | 425,7 | 436,2 | 338,4 | 256,3 | 290,7 | 267,6 | 229,1 | 304,8 | 390,0 | 452,9 |
| 1954 | 318,0 | 426,4 | 332,4 | 343,1 | 273,0 | 251,2 | 208,5 | 190,2 | 176,6 | 192,2 | 231,2 | 273,2 |
| 1955 | 536,7 | 329,3 | 301,3 | 307,5 | 240,0 | 224,5 | 190,1 | 173,0 | 163,4 | 187,5 | 257,4 | 447,3 |
| 1956 | 432,9 | 287,1 | 441,6 | 314,8 | 270,9 | 259,7 | 232,5 | 238,0 | 209,5 | 206,8 | 248,0 | 468,2 |
| 1957 | 464,3 | 620,5 | 912,4 | 837,4 | 384,2 | 305,4 | 269,2 | 236,0 | 256,0 | 235,5 | 312,9 | 486,4 |
| 1958 | 320,7 | 649,7 | 536,1 | 428,2 | 408,4 | 351,1 | 271,0 | 224,7 | 251,4 | 276,5 | 352,5 | 513,3 |
| 1959 | 953,8 | 470,4 | 722,6 | 601,3 | 306,8 | 255,4 | 226,5 | 230,5 | 199,0 | 214,4 | 393,5 | 361,0 |
| 1960 | 480,0 | 746,5 | 1287,4 | 545,0 | 375,1 | 323,7 | 286,7 | 262,1 | 240,9 | 236,5 | 277,2 | 474,9 |
| 1961 | 1416,6 | 1482,8 | 1513,4 | 782,4 | 530,8 | 383,8 | 323,6 | 284,1 | 246,7 | 229,4 | 271,7 | 358,5 |
| 1962 | 592,4 | 1437,8 | 850,5 | 472,1 | 341,8 | 299,6 | 257,6 | 248,0 | 253,4 | 271,4 | 474,7 | 656,3 |
| 1963 | 749,1 | 797,7 | 534,2 | 318,5 | 262,1 | 242,1 | 224,5 | 209,5 | 187,0 | 184,4 | 258,8 | 211,8 |
| 1964 | 424,3 | 881,3 | 486,6 | 341,2 | 297,0 | 248,4 | 256,3 | 215,6 | 201,6 | 269,9 | 305,9 | 427,5 |
| 1965 | 846,0 | 1321,6 | 974,7 | 501,8 | 526,6 | 378,4 | 339,9 | 301,5 | 261,0 | 360,8 | 443,3 | 540,9 |
| 1966 | 1648,2 | 615,3 | 939,9 | 576,5 | 413,0 | 329,6 | 291,7 | 262,5 | 255,8 | 294,8 | 721,4 | 825,0 |
| 1967 | 1609,8 | 1717,6 | 1593,1 | 897,2 | 537,2 | 423,7 | 350,6 | 297,8 | 276,3 | 276,4 | 459,7 | 678,3 |
| 1968 | 796,8 | 522,8 | 622,1 | 396,9 | 291,3 | 259,3 | 245,3 | 247,7 | 249,9 | 249,1 | 223,2 | 401,5 |
| 1969 | 575,0 | 479,4 | 537,5 | 386,6 | 277,3 | 268,8 | 243,9 | 238,3 | 222,1 | 260,8 | 382,9 | 606,1 |
| 1970 | 552,9 | 530,9 | 623,5 | 336,2 | 276,4 | 237,2 | 248,1 | 223,3 | 283,4 | 289,8 | 325,4 | 336,2 |
| 1971 | 355,6 | 212,7 | 360,8 | 260,3 | 230,7 | 224,7 | 209,9 | 184,8 | 231,2 | 254,9 | 368,6 | 700,8 |
| 1972 | 611,4 | 801,5 | 929,6 | 484,1 | 335,0 | 285,8 | 280,2 | 262,3 | 303,9 | 342,6 | 440,2 | 526,2 |
| 1973 | 834,7 | 951,9 | 551,8 | 595,7 | 393,4 | 320,7 | 292,0 | 270,9 | 247,5 | 307,1 | 483,7 | 586,1 |
| 1974 | 789,8 | 570,7 | 745,5 | 609,8 | 359,0 | 313,5 | 292,2 | 252,8 | 228,9 | 266,1 | 264,4 | 397,2 |
| 1975 | 834,1 | 725,5 | 538,4 | 366,1 | 297,7 | 259,7 | 251,7 | 214,1 | 205,8 | 272,6 | 380,3 | 571,4 |
| 1976 | 562,2 | 597,7 | 605,1 | 481,4 | 328,0 | 368,0 | 369,6 | 272,2 | 335,8 | 406,9 | 489,3 | 697,3 |
| 1977 | 782,8 | 632,5 | 378,1 | 467,0 | 281,7 | 241,8 | 216,6 | 193,5 | 225,9 | 217,7 | 329,8 | 649,3 |
| 1978 | 927,3 | 562,3 | 597,1 | 339,2 | 290,1 | 271,2 | 242,8 | 220,2 | 205,3 | 211,7 | 307,9 | 373,7 |
| 1979 | 431,6 | 1056,9 | 640,5 | 396,7 | 339,2 | 288,5 | 261,4 | 251,4 | 270,9 | 214,4 | 409,2 | 533,1 |
| 1980 | 864,6 | 670,8 | 437,7 | 559,5 | 312,8 | 278,4 | 272,0 | 244,6 | 239,9 | 261,8 | 329,2 | 593,1 |
| 1981 | 940,6 | 572,5 | 525,7 | 374,8 | 308,9 | 273,5 | 252,8 | 235,3 | 210,8 | 264,4 | 425,5 | 755,0 |
| 1982 | 877,1 | 567,7 | 1129,6 | 803,5 | 408,9 | 327,4 | 294,6 | 272,5 | 241,0 | 284,7 | 306,2 | 814,7 |
| 1983 | 1374,3 | 1030,0 | 973,6 | 858,0 | 582,3 | 1165,1 | 560,9 | 353,4 | 823,6 | 763,6 | 842,2 | 1133,2 |
| 1984 | 918,3 | 498,9 | 439,3 | 474,5 | 455,4 | 294,7 | 260,1 | 248,2 | 240,3 | 227,1 | 249,0 | 346,9 |
| 1985 | 1077,6 | 1306,5 | 1372,6 | 724,3 | 456,8 | 344,1 | 307,5 | 272,1 | 260,3 | 254,1 | 294,3 | 411,3 |
| 1986 | 629,1 | 678,2 | 817,5 | 401,9 | 296,1 | 283,8 | 238,7 | 265,4 | 241,0 | 210,7 | 222,8 | 615,7 |
| 1987 | 697,9 | 806,2 | 523,8 | 711,3 | 481,2 | 403,3 | 237,4 | 202,7 | 235,3 | 210,1 | 237,5 | 515,1 |
| 1988 | 667,2 | 1488,2 | 993,1 | 580,1 | 500,1 | 433,6 | 282,3 | 292,0 | 278,0 | 270,0 | 349,8 | 377,0 |
| 1989 | 854,3 | 996,3 | 990,1 | 607,4 | 357,5 | 333,1 | 283,8 | 272,1 | 259,9 | 263,1 | 287,6 | 414,0 |
| 1990 | 459,9 | 272,0 | 439,6 | 355,4 | 291,0 | 279,0 | 276,6 | 261,4 | 280,9 | 265,1 | 288,4 | 296,3 |
| 1991 | 728,3 | 859,6 | 730,5 | 950,7 | 462,6 | 291,1 | 317,3 | 284,4 | 270,9 | 314,4 | 297,6 | 338,0 |
| 1992 | 963,8 | 522,9 | 435,3 | 337,5 | 307,5 | 294,7 | 285,1 | 263,9 | 329,1 | 345,5 | 480,0 | 553,3 |
| 1993 | 415,1 | 625,8 | 708,8 | 614,5 | 360,3 | 339,4 | 289,3 | 266,8 | 255,3 | 277,9 | 286,4 | 326,1 |
| 1994 | 587,3 | 351,9 | 648,5 | 535,3 | 459,9 | 303,3 | 246,2 | 230,3 | 196,6 | 193,2 | 263,2 | 424,9 |
| 1995 | 353,6 | 1122,6 | 496,6 | 332,5 | 247,3 | 215,1 | 208,3 | 186,5 | 179,2 | 264,3 | 408,2 | 502,7 |
| 1996 | 1024,7 | 887,5 | 1300,5 | 677,2 | 399,5 | 290,9 | 253,9 | 237,4 | 389,9 | 273,0 | 757,3 | 727,4 |
| 1997 | 1351,6 | 809,8 | 722,6 | 416,7 | 338,4 | 318,4 | 277,5 | 254,9 | 220,2 | 264,8 | 282,2 | 449,4 |
| 1998 | 463,9 | 710,3 | 497,5 | 329,9 | 258,8 | 250,8 | 218,0 | 213,5 | 188,0 | 273,5 | 347,1 | 368,6 |
| 1999 | 913,9 | 821,6 | 770,1 | 401,9 | 266,7 | 282,9 | 258,5 | 226,0 | 208,6 | 213,7 | 256,2 | 439,2 |
| 2000 | 953,1 | 662,0 | 531,4 | 464,3 | 274,1 | 242,0 | 240,2 | 228,0 | 270,5 | 230,1 | 246,2 | 438,0 |
| 2001 | 528,7 | 583,9 | 378,6 | 334,5 | 245,9 | 216,2 | 193,7 | 179,7 | 185,0 | 199,7 | 249,3 | 302,9 |
| 2002 | 676,9 | 914,6 | 486,2 | 299,4 | 260,2 | 220,7 | 205,2 | 190,6 | 202,3 | 172,0 | 286,4 | 493,0 |
| 2003 | 857,9 | 623,5 | 499,7 | 363,7 | 288,0 | 256,9 | 236,2 | 226,4 | 227,3 | 262,6 | 349,2 | 453,6 |
| 2004 | 618,4 | 735,0 | 783,8 | 695,3 | 420,6 | 373,3 | 336,4 | 289,9 | 243,5 | 282,7 | 329,5 | 635,4 |
| 2005 | 913,1 | 1013,0 | 713,1 | 557,3 | 381,7 | 363,4 | 324,8 | 287,9 | 268,5 | 242,0 | 343,6 | 614,4 |
| 2006 | 485,5 | 856,0 | 538,5 | 364,6 | 309,9 | 274,0 | 246,1 | 245,8 | 240,0 | 312,2 | 403,5 | 683,2 |
| 2007 | 1369,1 | 742,5 | 418,8 | 364,1 | 323,7 | 286,0 | 240,4 | 248,5 | 207,6 | 226,0 | 332,0 | 384,1 |
| 2008 | 426,6 | 1028,5 | 905,5 | 747,9 | 412,4 | 345,2 | 301,2 | 272,9 | 266,1 | 308,5 | 457,3 | 890,8 |
| 2009 | 1083,1 | 1430,3 | 808,7 | 601,7 | 398,0 | 363,4 | 326,2 | 317,5 | 309,8 | 448,8 | 601,9 | 1088,1 |
| 2010 | 1293,2 | 714,4 | 1046,0 | 808,2 | 434,1 | 346,5 | 334,7 | 288,9 | 272,8 | 326,3 | 525,7 | 1084,6 |
| 2011 | 1428,2 | 577,9 | 1214,1 | 773,0 | 422,0 | 360,2 | 323,9 | 292,9 | 259,1 | 310,4 | 367,0 | 727,7 |
| Mínimas | 240,5 | 212,7 | 301,3 | 260,3 | 230,7 | 211,5 | 183,7 | 173,0 | 163,4 | 172,0 | 203,2 | 211,8 |
| Médias | 820,2 | 836,3 | 786,7 | 535,8 | 363,0 | 314,0 | 273,6 | 245,9 | 249,9 | 278,7 | 364,1 | 564,6 |
| Máximas | 1648,2 | 1931,7 | 2243,2 | 950,7 | 582,3 | 1165,1 | 560,9 | 369,0 | 823,6 | 763,6 | 842,2 | 1162,2 |

Tabela 5.74– Série de vazões artificiais médias mensais da UHE Itacara I

| UHE ITAOCARA I - Vazões artificiais médias mensais (m ³ /s) | | | | | | | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Anos | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
| 1931 | 888,9 | 2018,2 | 1525,7 | 905,3 | 511,1 | 366,3 | 326,7 | 288,6 | 285,4 | 371,9 | 361,1 | 709,7 |
| 1932 | 1264,7 | 1082,7 | 953,6 | 491,0 | 443,9 | 407,4 | 266,0 | 261,6 | 276,0 | 352,0 | 395,6 | 976,7 |
| 1933 | 1162,3 | 627,6 | 557,3 | 379,4 | 351,8 | 305,0 | 257,1 | 218,2 | 234,6 | 354,7 | 393,7 | 697,4 |
| 1934 | 1134,8 | 479,0 | 554,1 | 361,9 | 280,6 | 234,0 | 205,9 | 187,6 | 185,5 | 205,0 | 214,0 | 589,6 |
| 1935 | 701,5 | 1598,2 | 869,7 | 553,0 | 350,2 | 306,7 | 264,3 | 237,9 | 224,1 | 329,3 | 294,2 | 286,9 |
| 1936 | 261,4 | 367,1 | 1177,8 | 698,0 | 323,0 | 230,2 | 200,9 | 191,5 | 227,2 | 226,3 | 261,0 | 548,1 |
| 1937 | 1117,9 | 1159,2 | 575,3 | 476,5 | 441,9 | 293,0 | 239,3 | 205,5 | 194,8 | 312,8 | 418,4 | 1223,1 |
| 1938 | 1126,0 | 942,8 | 864,0 | 604,2 | 409,0 | 337,3 | 289,1 | 306,1 | 262,8 | 325,8 | 450,3 | 691,2 |
| 1939 | 902,7 | 867,8 | 540,8 | 617,2 | 330,2 | 270,7 | 234,0 | 211,4 | 200,3 | 237,6 | 279,6 | 427,0 |
| 1940 | 908,5 | 1205,3 | 1039,3 | 486,4 | 335,4 | 308,8 | 238,0 | 214,2 | 221,2 | 309,3 | 526,1 | 647,3 |
| 1941 | 708,7 | 473,2 | 594,0 | 499,3 | 353,6 | 306,2 | 295,2 | 215,6 | 338,9 | 368,9 | 401,0 | 764,0 |
| 1942 | 751,2 | 655,2 | 939,8 | 512,6 | 411,7 | 341,7 | 338,6 | 236,7 | 269,5 | 321,6 | 427,0 | 728,9 |
| 1943 | 1622,1 | 1237,7 | 967,9 | 582,7 | 434,6 | 370,7 | 305,0 | 281,9 | 274,9 | 413,1 | 434,1 | 693,5 |
| 1944 | 708,0 | 1147,3 | 1472,4 | 687,2 | 438,2 | 344,8 | 301,7 | 261,0 | 234,1 | 259,9 | 292,4 | 426,3 |
| 1945 | 672,1 | 1189,0 | 698,3 | 630,8 | 400,9 | 323,4 | 346,7 | 249,6 | 226,6 | 213,2 | 345,5 | 636,2 |
| 1946 | 1509,7 | 696,4 | 768,0 | 597,4 | 376,9 | 310,5 | 272,6 | 236,6 | 205,0 | 286,0 | 372,5 | 382,1 |
| 1947 | 1159,4 | 1390,4 | 2372,3 | 1006,9 | 608,3 | 371,1 | 476,2 | 393,9 | 416,4 | 440,3 | 545,7 | 1009,1 |
| 1948 | 992,9 | 1253,9 | 1476,2 | 878,4 | 515,3 | 393,5 | 308,6 | 302,7 | 263,3 | 341,1 | 404,7 | 783,3 |
| 1949 | 1010,1 | 1408,7 | 867,2 | 571,7 | 411,6 | 368,7 | 296,4 | 259,6 | 240,2 | 303,2 | 364,3 | 527,1 |
| 1950 | 1161,9 | 1517,2 | 1127,0 | 885,3 | 584,0 | 405,9 | 323,8 | 270,6 | 249,7 | 316,0 | 532,4 | 882,5 |
| 1951 | 947,5 | 1187,1 | 1418,7 | 950,9 | 454,3 | 356,3 | 356,4 | 282,0 | 268,0 | 276,2 | 282,3 | 490,9 |
| 1952 | 938,0 | 1193,8 | 1593,3 | 824,6 | 399,3 | 498,7 | 375,1 | 345,2 | 367,4 | 380,1 | 492,2 | 645,0 |
| 1953 | 460,1 | 536,1 | 453,2 | 478,0 | 364,2 | 274,2 | 308,5 | 283,5 | 243,5 | 318,6 | 419,9 | 486,1 |
| 1954 | 346,2 | 452,8 | 362,2 | 372,7 | 295,2 | 274,1 | 223,4 | 202,1 | 186,2 | 204,8 | 247,1 | 286,9 |
| 1955 | 575,6 | 361,7 | 326,7 | 330,8 | 257,4 | 239,8 | 201,5 | 182,0 | 173,0 | 196,5 | 272,4 | 467,4 |
| 1956 | 476,5 | 303,0 | 485,5 | 343,8 | 291,1 | 282,8 | 248,9 | 256,6 | 223,2 | 219,5 | 261,1 | 500,3 |
| 1957 | 504,0 | 665,2 | 966,2 | 904,4 | 417,6 | 328,8 | 288,2 | 252,3 | 274,2 | 251,9 | 337,3 | 522,3 |
| 1958 | 338,2 | 703,2 | 574,1 | 463,4 | 441,3 | 380,4 | 294,4 | 241,7 | 268,8 | 290,0 | 382,1 | 554,5 |
| 1959 | 1014,7 | 507,9 | 766,9 | 654,1 | 333,6 | 275,6 | 242,0 | 246,0 | 211,8 | 226,9 | 415,3 | 388,9 |
| 1960 | 511,3 | 791,3 | 1373,8 | 592,4 | 403,9 | 347,6 | 307,2 | 279,5 | 255,9 | 249,3 | 297,5 | 503,9 |
| 1961 | 1489,0 | 1580,7 | 1614,6 | 840,3 | 576,6 | 413,0 | 345,8 | 304,0 | 262,6 | 242,7 | 288,2 | 383,1 |
| 1962 | 623,8 | 1526,7 | 915,3 | 512,1 | 370,2 | 321,5 | 274,9 | 263,2 | 270,7 | 288,5 | 513,0 | 688,1 |
| 1963 | 811,4 | 845,7 | 578,5 | 347,5 | 280,7 | 257,9 | 238,2 | 221,5 | 197,3 | 193,0 | 277,5 | 226,1 |
| 1964 | 443,8 | 935,4 | 536,9 | 366,6 | 318,9 | 264,1 | 272,7 | 228,5 | 212,9 | 285,3 | 325,5 | 453,4 |
| 1965 | 897,1 | 1394,8 | 1053,7 | 541,4 | 567,8 | 406,3 | 364,2 | 321,0 | 274,2 | 382,4 | 473,4 | 581,9 |
| 1966 | 1749,4 | 662,2 | 1002,4 | 626,4 | 447,3 | 354,6 | 312,0 | 279,4 | 274,1 | 310,1 | 772,4 | 854,3 |
| 1967 | 1716,9 | 1843,2 | 1693,6 | 973,3 | 579,2 | 455,7 | 377,9 | 319,7 | 294,3 | 290,6 | 489,8 | 718,6 |
| 1968 | 857,1 | 555,4 | 669,2 | 430,6 | 313,8 | 277,8 | 261,2 | 263,6 | 266,1 | 263,4 | 237,3 | 427,5 |
| 1969 | 607,0 | 518,5 | 579,3 | 422,3 | 297,1 | 286,3 | 259,4 | 252,5 | 234,5 | 273,5 | 411,4 | 652,3 |
| 1970 | 590,2 | 570,5 | 676,0 | 366,0 | 298,9 | 252,8 | 265,6 | 234,3 | 309,2 | 309,0 | 350,8 | 362,6 |
| 1971 | 384,5 | 221,3 | 395,8 | 285,0 | 249,0 | 242,1 | 226,9 | 195,5 | 246,9 | 276,4 | 389,0 | 747,1 |
| 1972 | 655,7 | 846,9 | 1003,4 | 525,8 | 360,0 | 306,2 | 298,4 | 280,2 | 320,9 | 368,0 | 468,8 | 560,5 |
| 1973 | 882,8 | 1027,3 | 591,2 | 639,3 | 425,6 | 343,2 | 312,4 | 289,1 | 262,5 | 323,4 | 518,7 | 620,4 |
| 1974 | 848,3 | 622,6 | 785,0 | 661,9 | 387,5 | 334,5 | 315,4 | 268,9 | 242,8 | 275,4 | 285,0 | 422,6 |
| 1975 | 895,8 | 775,6 | 589,2 | 400,1 | 319,1 | 277,2 | 268,3 | 227,0 | 214,9 | 291,1 | 388,7 | 626,9 |
| 1976 | 609,8 | 637,4 | 648,0 | 527,1 | 354,4 | 402,6 | 399,6 | 296,2 | 359,1 | 438,4 | 522,7 | 738,0 |
| 1977 | 829,7 | 698,2 | 403,6 | 501,8 | 308,0 | 261,1 | 232,3 | 206,0 | 240,5 | 234,8 | 342,0 | 700,7 |
| 1978 | 989,7 | 601,8 | 641,3 | 367,9 | 310,9 | 293,1 | 259,6 | 234,8 | 217,6 | 222,6 | 323,4 | 403,0 |
| 1979 | 462,0 | 1120,8 | 689,4 | 428,9 | 364,0 | 308,7 | 279,0 | 266,8 | 292,5 | 232,1 | 436,5 | 564,9 |
| 1980 | 921,8 | 721,5 | 478,0 | 599,6 | 337,0 | 296,0 | 293,1 | 259,3 | 256,6 | 280,9 | 349,2 | 626,1 |
| 1981 | 1003,4 | 622,9 | 559,8 | 408,6 | 333,7 | 294,5 | 269,7 | 251,4 | 223,0 | 281,3 | 457,9 | 803,3 |
| 1982 | 928,7 | 606,8 | 1193,1 | 872,8 | 441,9 | 351,9 | 320,1 | 293,8 | 258,8 | 300,6 | 333,1 | 848,4 |
| 1983 | 1466,4 | 1101,6 | 1031,7 | 913,3 | 619,7 | 1237,8 | 603,3 | 384,2 | 861,3 | 817,1 | 898,8 | 1186,4 |
| 1984 | 982,0 | 544,9 | 468,9 | 505,7 | 492,6 | 317,4 | 278,2 | 264,4 | 257,9 | 243,8 | 262,2 | 370,0 |
| 1985 | 1112,6 | 1411,2 | 1465,3 | 777,3 | 492,1 | 371,6 | 329,2 | 289,7 | 278,1 | 271,7 | 311,5 | 431,9 |
| 1986 | 681,3 | 720,7 | 875,2 | 438,3 | 322,1 | 305,0 | 256,2 | 283,4 | 257,9 | 226,4 | 237,1 | 640,0 |
| 1987 | 754,4 | 873,1 | 564,0 | 757,3 | 514,3 | 435,8 | 261,3 | 220,1 | 253,3 | 226,3 | 256,9 | 546,4 |
| 1988 | 709,3 | 1568,2 | 1063,2 | 619,4 | 537,8 | 469,3 | 306,4 | 312,4 | 296,2 | 286,0 | 381,2 | 397,7 |
| 1989 | 914,5 | 1047,6 | 1056,0 | 653,2 | 388,0 | 359,4 | 305,0 | 295,9 | 278,3 | 284,7 | 306,5 | 443,5 |
| 1990 | 496,5 | 288,0 | 472,1 | 386,1 | 315,0 | 296,8 | 294,3 | 278,1 | 299,8 | 285,8 | 305,9 | 316,6 |
| 1991 | 765,5 | 926,1 | 760,3 | 1027,4 | 507,9 | 313,7 | 341,0 | 303,6 | 285,8 | 343,7 | 317,3 | 351,4 |
| 1992 | 1019,1 | 571,9 | 470,1 | 363,1 | 333,3 | 313,5 | 303,3 | 280,0 | 345,1 | 376,7 | 510,3 | 600,1 |
| 1993 | 445,2 | 659,2 | 758,6 | 667,3 | 389,3 | 365,9 | 309,6 | 284,2 | 270,2 | 300,3 | 306,3 | 346,0 |
| 1994 | 626,0 | 387,9 | 680,2 | 586,2 | 494,0 | 327,1 | 263,8 | 245,2 | 209,0 | 200,6 | 281,5 | 453,2 |
| 1995 | 381,9 | 1198,0 | 540,4 | 364,6 | 268,9 | 232,1 | 224,9 | 200,1 | 187,4 | 285,5 | 440,5 | 522,7 |
| 1996 | 1103,3 | 943,3 | 1378,6 | 731,1 | 432,1 | 315,9 | 274,9 | 255,6 | 419,4 | 292,7 | 798,9 | 772,2 |
| 1997 | 1420,8 | 869,5 | 779,1 | 448,8 | 361,9 | 345,4 | 297,1 | 271,4 | 232,8 | 283,4 | 301,8 | 486,8 |
| 1998 | 501,0 | 748,4 | 541,0 | 363,1 | 279,3 | 271,5 | 232,9 | 227,4 | 200,7 | 297,0 | 371,6 | 393,6 |
| 1999 | 967,6 | 875,4 | 829,7 | 437,2 | 288,9 | 302,7 | 277,8 | 241,7 | 222,4 | 227,3 | 271,6 | 468,7 |
| 2000 | 1011,7 | 710,5 | 568,8 | 507,4 | 295,1 | 259,2 | 255,8 | 242,8 | 291,5 | 244,9 | 259,3 | 469,2 |
| 2001 | 573,1 | 629,3 | 400,8 | 373,2 | 263,6 | 231,7 | 205,9 | 190,0 | 199,1 | 215,5 | 267,1 | 321,2 |
| 2002 | 720,0 | 980,8 | 523,9 | 331,7 | 280,2 | 236,5 | 219,7 | 203,7 | 214,3 | 181,8 | 306,7 | 531,5 |
| 2003 | 888,6 | 698,2 | 534,8 | 392,1 | 307,4 | 273,1 | 250,0 | 238,0 | 241,4 | 277,8 | 364,6 | 491,0 |
| 2004 | 665,0 | 760,4 | 858,9 | 742,4 | 456,6 | 405,5 | 361,4 | 311,6 | 259,5 | 300,1 | 349,4 | 677,0 |
| 2005 | 962,5 | 1091,7 | 760,0 | 600,5 | 412,7 | 394,2 | 347,1 | 307,3 | 283,4 | 259,8 | 367,7 | 657,2 |
| 2006 | 508,3 | 899,0 | 566,1 | 378,0 | 317,8 | 278,1 | 247,4 | 244,4 | 240,9 | 323,7 | 424,7 | 719,1 |
| 2007 | 1442,3 | 781,6 | 440,1 | 375,8 | 333,3 | 291,8 | 244,4 | 248,6 | 206,5 | 231,3 | 350,9 | 403,9 |
| 2008 | 452,6 | 1087,1 | 957,1 | 787,2 | 431,9 | 358,3 | 306,6 | 276,8 | 269,7 | 320,8 | 485,3 | 938,8 |
| 2009 | 1141,2 | 1506,8 | 853,8 | 630,7 | 415,2 | 376,2 | 336,4 | 324,9 | 319,9 | 475,1 | 635,2 | 1151,2 |
| 2010 | 1367,5 | 752,1 | 1099,9 | 846,2 | 452,8 | 357,5 | 345,1 | 291,3 | 275,7 | 337,0 | 551,0 | 1144,4 |
| 2011 | 1503,4 | 608,0 | 1275,4 | 807,8 | 439,7 | 371,8 | 330,8 | 294,8 | 261,3 | 321,1 | 383,2 | 765,9 |
| Mínimas | 261,4 | 221,3 | 326,7 | 285,0 | 249,0 | 230,2 | 200,9 | 182,0 | 173,0 | 181,8 | 214,0 | 226,1 |
| Médias | 872,3 | 891,3 | 841,1 | 577,8 | 390,8 | 336,7 | 292,4 | 261,4 | 264,9 | 296,3 | 387,4 | 598,6 |
| Máximas | 1749,4 | 2018,2 | 2372,3 | 1027,4 | 619,7 | 1237,8 | 603,3 | 393,9 | 861,3 | 817,1 | 898,8 | 1223,1 |

5.5.1.3 Vazão Sanitária

A vazão sanitária foi considerada nula, já que a Casa de Força é localizada no pé da barragem, não havendo, portanto, derivação de vazão.

5.5.1.4 Evaporação Líquida

Foram consideradas as alturas de evaporação líquida média de cada mês do ano no reservatório, isto é, o saldo entre a evaporação de superfície líquida e a evapotranspiração na sua bacia hidráulica. Sua estimativa, foi realizada com o emprego do programa SisEvapo, adotado pelo ONS, considerando-se as seguintes estações: Itaperuna - RJ (2141045), Vassouras - RJ (2243151), Cordeiro - RJ (2242074), Cataguases- MG (2142050).

A **Tabela 5.75** relaciona os resultados obtidos.

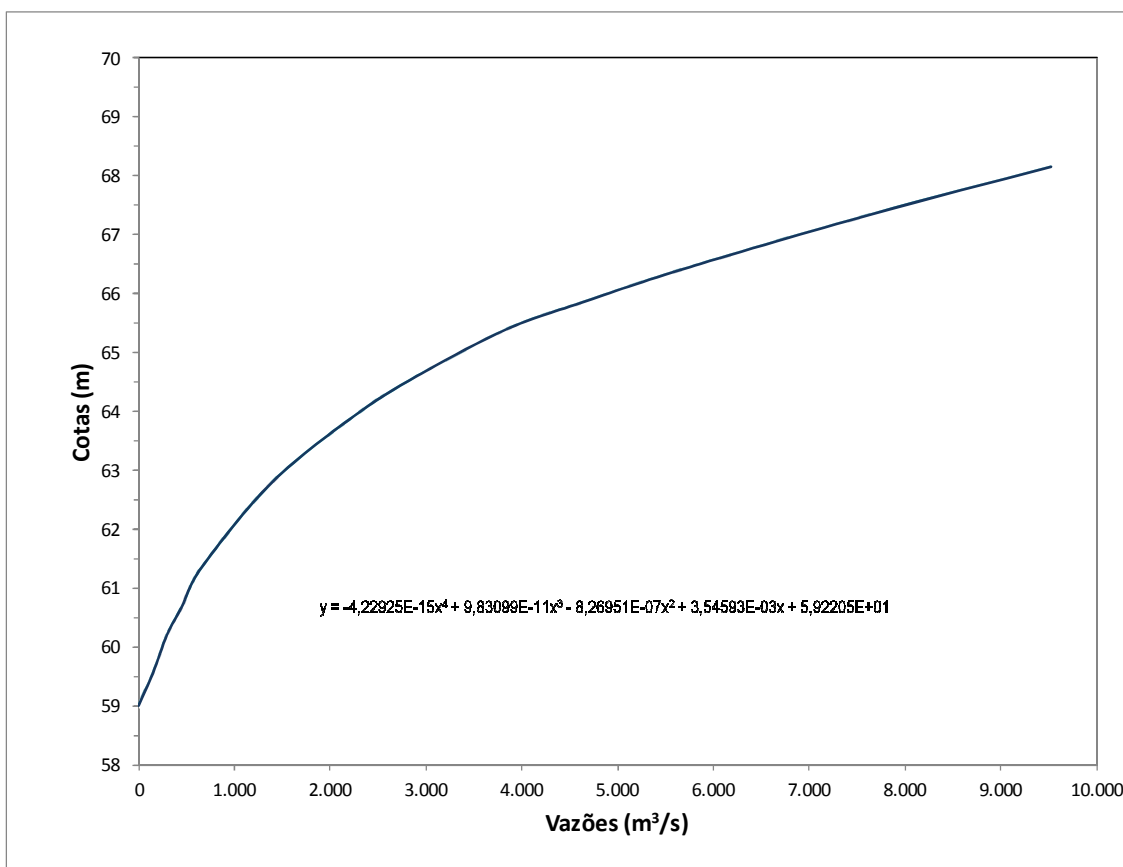
Tabela 5.75– Alturas de Evaporação Líquida no Reservatório

| Mês | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Evap. (mm) | -15 | 0 | 47 | 75 | 77 | 58 | 35 | -5 | -6 | -7 | -16 | -15 |

5.5.1.5 Curva-Chave do Canal de Fuga

A curva-chave definida para o canal de fuga do AHE Itaipava I esta apresentada na .

Figura 88 – Curva-Chave do Canal de Fuga da UHE Itaocara I



Os coeficientes da respectiva equação, utilizados no desenvolvimento dos estudos energéticos estão apresentados na **Tabela 5.76**.

Tabela 5.76 - Coeficientes do Polinômio da Curva-Chave do Canal de Fuga

| Coeficiente | Independente | 1º Grau | 2º Grau | 3º Grau | 4º Grau |
|-------------|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| Valor | 5.9220500E+01 | 3.5459300E-03 | -8.2695100E-07 | 9.8309900E-11 | -4.2292500E-15 |

Nota: Nível d'água (m) em função da vazão (m³/s).

5.5.1.6 Representação do Reservatório

O reservatório do AHE Itaocara I foi representado nos estudos energéticos pelos polinômios Volume x Cota (PVC) e Cota x Área (PCA), obtidos a partir das respectivas curvas Cota x Área x Volume. Os coeficientes dos polinômios Volume x Cota e Cota x Área estão, respectivamente, nas **Tabela 5.77** e **Tabela 5.78**.

Tabela 5.77 - Coeficientes do Polinômio da Volume x Cota

| Independente | 1º Grau | 2º Grau | 3º Grau | 4º Grau |
|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| $6,8940421 \cdot 10^{+01}$ | $1,1524476 \cdot 10^{-01}$ | $-2,9049205 \cdot 10^{-04}$ | $4,1348927 \cdot 10^{-07}$ | $-2,2447236 \cdot 10^{-10}$ |

Tabela 5.78 - Coeficientes do Polinômio da Cota x Área

| Independente | 1º Grau | 2º Grau | 3º Grau | 4º Grau |
|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| $3,8314418 \cdot 10^{+03}$ | $-1,9350569 \cdot 10^{+02}$ | $3,6389389 \cdot 10^{+00}$ | $-3,0332551 \cdot 10^{-02}$ | $9,5451335 \cdot 10^{-05}$ |

5.5.1.7 Tipo de Turbina

Em face da queda disponível e da potência unitária prevista para o AHE Itaocara I, considerou-se a utilização de turbinas do tipo Kaplan com uma vazão turbinada mínima equivalente a 30% da vazão plena na queda considerada. Foram definidas 2 unidades geradoras para o aproveitamento, conforme explicado no item 5.5.2.1.

5.5.1.8 Rendimento do Conjunto Turbina-Gerador

Adotou-se um rendimento para o conjunto turbina-gerador de 91%, valor esse resultante da estimativa de 97,5% de rendimento médio do gerador e de 93,33% para o rendimento médio da turbina, ambos trabalhando de modo ponderado na faixa prevista de operação, embora se espere para o ponto nominal de operação, ou seja para potência e queda de referência, um rendimento turbina-gerador superior, da ordem de 92%, compatível com a utilização de turbinas do tipo Kaplan com regulação dupla.

5.5.1.9 Perda Hidráulica

A perda hidráulica total máxima calculada e adotada nas simulações de operação da usina foi de 0,35 m.

Como a nova versão do modelo de simulação MSUI 3.3, permite o uso de curvas de perdas, elas foram utilizadas para a UHE Itaocara, em todas as alternativas analisadas.

5.5.1.10 Taxas de Indisponibilidade

Os valores de taxa de indisponibilidade forçada e programada (TEIF e IP) são aqueles recomendados pelo Comitê Brasileiro da CIER – BRACIER e utilizados pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE nos cálculos da garantia física de usinas hidrelétricas. A **Tabela 5.79** reproduz essas taxas adotadas tanto para as alternativas de potência unitária do empreendimento em estudo como para as potências unitárias das usinas que compõem o sistema de referência. Para o AHE Itaocara I, as taxas de indisponibilidade forçada e programada são respectivamente, 2,533% e 8,091%.

Tabela 5.79–Taxas de Indisponibilidade

| Pot. Unitária (MW) | TEIF (%) | IP (%) |
|--------------------|----------|--------|
| até 29 | 2,333 | 6,861 |
| 30 – 59 | 1,672 | 5,403 |
| 60 – 199 | 2,533 | 8,091 |
| 200 – 500 | 2,917 | 12,122 |
| 501 – 699 | 6,000 | 8,000 |
| 700 – 1300 | 0,210 | 10,000 |

5.5.1.11 Período Crítico

O período crítico conforme critério em vigor, situa-se entre junho de 1949 e novembro de 1956, abrangendo, portanto, um total de 90 meses.

5.5.1.12 Sistema de Referência

Por recomendação da Aneel, contida no Ofício nº 535, de 28/03/2014, depois de produzidas as séries de vazões artificiais, as usinas de Simplício, Ilha dos Pombos e Itaocara, foram simuladas isoladas e inseridas no sistema de referência utilizado pela EPE para o cálculo das garantias físicas para o 2º leilão de energia A-5 de 2013.

5.5.1.13 Data de Referência dos Investimentos

As estimativas de custos de investimentos incrementais com juros durante a construção, empregadas nos estudos de dimensionamento do AHE Itaocara I, têm como data de referência maio de 2014, também por recomendação da Aneel.

5.5.1.14 Custo de Operação e Manutenção (O&M)

Para a estimativa do CO&M foi utilizada a curva apresentada no Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas – edição 2007 do Ministério de Minas e Energia (MME), com data de referência em dezembro de 2006, atualizado pela variação do IGP-DI para a data de referência dos orçamentos. A equação adotada é apresentada a seguir:

$$CO\&M = 143,615 * Potência^{-0,3716} \quad (R\$/kW/ano)$$

5.5.1.15 Custo Marginal de Expansão

Nas análises energético-econômicas, a energia firme foi valorada pelo Custo Marginal de Expansão informado no Ofício 535 da Aneel, no valor de 145 R\$/MWh.

5.5.1.16 Taxa de Desconto e Vida Útil

Adotou-se uma taxa de desconto de 10% ao ano e uma vida útil de 50 anos.

5.5.2 Simulações Energéticas

As avaliações energéticas foram efetuadas com base no informado no item 5.5.1.1e utilizando-se o Modelo de Simulação de Usinas Individualizadas – MSUI (versão 3.3), desenvolvido pela Eletrobrás.

5.5.2.1 Determinação da Motorização

O estudo de motorização consiste em analisar os incrementos de energia firme decorrentes do aumento da potência instalada do aproveitamento, para diferentes alternativas de motorização, os quais foram calibrados com o MSUI.

Na **Tabela 5.80** é apresentada a análise energético-econômica para a determinação da potência instalada do AHE Itacara I.

Tabela 5.80 – Análise Energético-Econômica para Determinação da Potência Instalada

| Potência instalada (MW) | Energia firme (MW-médios) | Energia firme incremental (MW-médios) | Custo total c/ JDC (10 ⁶ R\$/ano) | Custo anual c/ JDC (10 ⁶ R\$/ano) | Custo anual de O&M (10 ⁶ R\$/ano) | Custo anual c/JDC + Custo de O&M (10 ⁶ R\$/ano) | Custo anual incremental (10 ⁶ R\$/ano) | Benefício anual incremental (10 ⁶ R\$/ano) | Relação Custo / Benefício |
|-------------------------|---------------------------|---------------------------------------|--|--|--|--|---|---|---------------------------|
| 135 | 86,76 | - | 1.027,38 | 103,62 | 3,133 | 106,75 | - | - | - |
| 140 | 87,71 | 0,95 | 1.037,26 | 104,62 | 3,205 | 107,82 | 1,07 | 1,21 | 0,885 |
| 145 | 88,64 | 0,93 | 1.046,42 | 105,54 | 3,276 | 108,82 | 1,00 | 1,18 | 0,843 |
| 150 | 89,44 | 0,80 | 1.055,76 | 106,48 | 3,347 | 109,83 | 1,01 | 1,02 | 0,997 |
| 155 | 90,22 | 0,78 | 1.065,29 | 107,44 | 3,417 | 110,86 | 1,03 | 0,99 | 1,040 |
| 160 | 90,93 | 0,71 | 1.074,99 | 108,42 | 3,486 | 111,91 | 1,05 | 0,90 | 1,162 |
| 165 | 91,59 | 0,66 | 1.083,88 | 109,32 | 3,554 | 112,87 | 0,96 | 0,84 | 1,151 |
| 170 | 92,28 | 0,69 | 1.092,92 | 110,23 | 3,621 | 113,85 | 0,98 | 0,88 | 1,117 |
| 175 | 92,95 | 0,67 | 1.103,14 | 111,26 | 3,687 | 114,95 | 1,10 | 0,85 | 1,289 |
| 180 | 93,58 | 0,63 | 1.112,49 | 112,21 | 3,753 | 115,96 | 1,01 | 0,80 | 1,262 |

Como pode ser observado, a potência ótima a ser instalada é de 150 MW, uma vez que o custo incremental ao se passar para uma alternativa de maior potência, é superior ao benefício incremental.

A usina foi contemplada com duas unidades geradoras, pois o uso de três unidades não conduziria a qualquer ganho energético, em face do fato da bacia do rio Paraíba do Sul ser bem regularizada pelos reservatórios existentes.

5.5.2.2 Determinação das Quedas Características

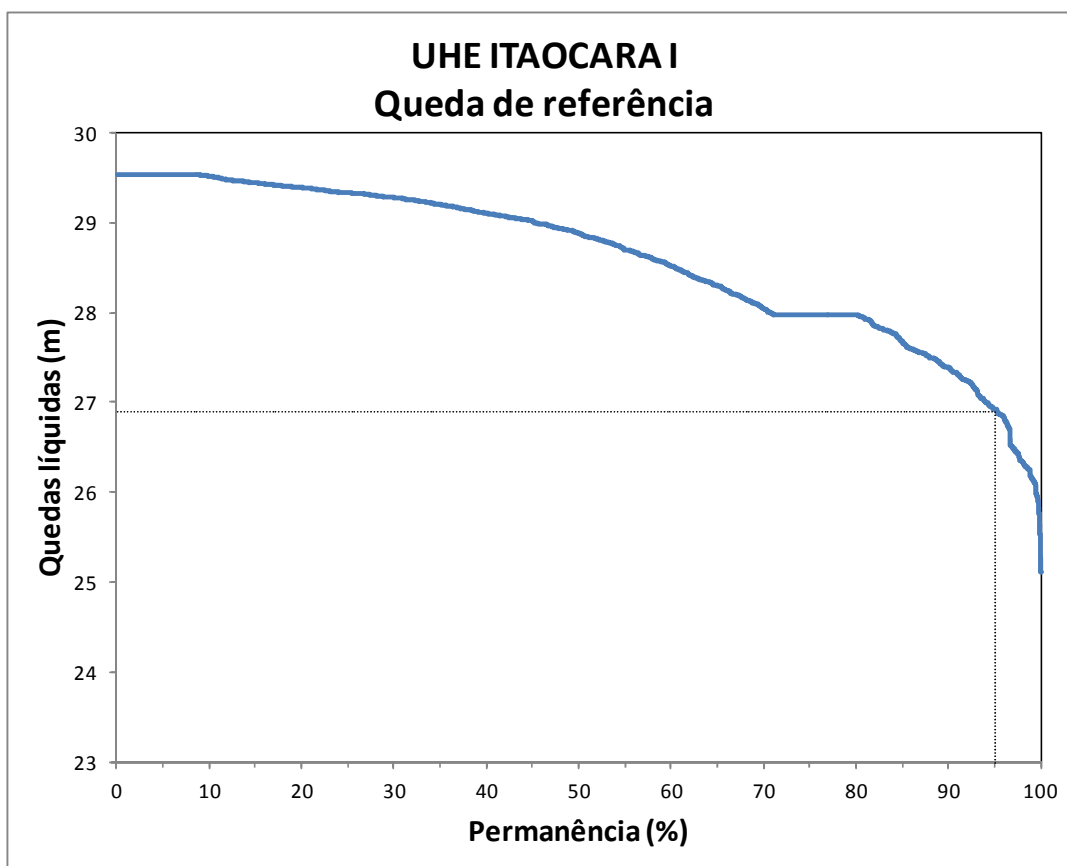
Foram determinadas as quedas líquidas referentes ao período da série de vazões médias mensais empregada.

A **Tabela 5.81** e a **Figura 89** apresentam a permanência das quedas líquidas obtidas para o aproveitamento em estudo.

Tabela 5.81 –Permanências das Quedas Líquidas Médias Mensais

| Permanência (%) | Queda Líquida (m) | Permanência (%) | Queda Líquida (m) |
|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| 5 | 29,53 | 55 | 28,69 |
| 10 | 29,51 | 60 | 28,51 |
| 15 | 29,44 | 65 | 28,29 |
| 20 | 29,39 | 70 | 28,04 |
| 25 | 29,33 | 75 | 27,97 |
| 30 | 29,27 | 80 | 27,97 |
| 35 | 29,1 | 85 | 27,65 |
| 40 | 29,01 | 90 | 27,38 |
| 45 | 29,01 | 95 | 26,92 |
| 50 | 28,87 | 100 | 25,11 |

Figura 89 - Curva de Permanência de Quedas Líquidas Médias Mensais



A queda de referência, que é definida como a queda para a qual a turbina, com abertura máxima do distribuidor, faz com que o gerador forneça a sua máxima potência, pode ser considerada como sendo a queda líquida com 95% de permanência. Assim sendo, para o AHE Itacara I, essa queda é de 26,9 m.

5.6 Estudos Socioambientais

O Estudo de Impacto Ambiental/EIA constitui-se num documento de natureza técnico-científica e administrativa que tem por finalidade embasar a avaliação dos impactos ambientais gerados por atividades e/ou empreendimentos potencialmente poluidores, ou que possam causar degradação ambiental, de modo a permitir a verificação da sua viabilidade ambiental.

Para tanto, na elaboração do estudo, foram observados os requisitos definidos pela Resolução CONAMA nº 237/97, dentre eles: contemplar todas as alternativas tecnológicas e de localização do projeto; identificar e avaliar sistematicamente os impactos ambientais gerados nas fases de implantação e operação da atividade e definir os limites da área geográfica a ser direta ou indiretamente afetada pelos impactos, denominada “área de influência do projeto” (art. 5º da Resolução CONAMA).

O EIA da UHE Itacara I contem o diagnóstico socioambiental da região, obtido através de dados primários e secundários, determina o grau de impacto do empreendimento após a identificação e avaliação dos impactos ambientais e propõe medidas mitigadoras e de controle ambiental, com o objetivo de garantir o uso sustentável dos recursos naturais. O estudo EIA foi desenvolvido considerando-se o conteúdo e a abordagem metodológica sugeridos no “Termo de Referência/TR” emitido pelo IBAMA em OUT/2.008.

5.7 Estudos de Integração da Usina ao Sistema de Transmissão Associado

5.7.1 Geral

- **Interligação da Casa de Força à Subestação Seccionadora da Usina**

Uma linha de transmissão curta será construída para interligar os Transformadores Elevadores da Casa de Força da UHE Itacara I às respectivas entradas na Subestação Seccionadora. Esta linha terá cerca de 200,00 m de extensão, será trifásica e irá operar na tensão de 138 kV.

- **Linha de Transmissão SE Itacara I – SE Ilha dos Pombos**

Uma linha de transmissão será construída para interligar a Subestação da UHE Itacara I à Subestação da UHE Ilha dos Pombos, usina já em fase de operação. A linha de transmissão terá cerca de 46,0 km de extensão, será trifásica e irá operar na tensão de 138 kV.

5.7.2 Subestação Seccionadora ou Subestação de Manobra

A subestação será do tipo convencional, externa, localizada próxima do Canal de Fuga e à jusante da Barragem de Terra Margem esquerda.

O arranjo da subestação será do tipo barra principal e barra de transferência, com disjuntor “by-pass” na tensão de 138 kV.

A subestação será constituída por: dois vãos/bays de geradores, dois vãos de saída de linha de transmissão para SE UHE Ilha dos Pombos, um vão de interligação de barras e possuirá uma Casa de Controle.

ANEXO 1

Ofício ANEEL 535 de 28/03/2014



Ofício nº 535 /2014-SGH/ANEEL

Brasília, 28 de março de 2014.

Ao Senhor
Luiz Carlos Amarilho
Diretor
Itaocara Energia Ltda.
Rio de Janeiro – RJ

Assunto: Processo nº 48500.005431/2013-81. Licitação do empreendimento hidrelétrico Itaocara I.

Senhor Diretor,

1. Em atenção à correspondência nº 016/IT/2014-TEC, na qual solicita esclarecimentos para elaboração dos estudos energéticos da UHE Itaocara I, nos manifestamos a seguir.
2. Com relação à utilização das séries de vazões constantes do projeto "Estudo de Consistência e Reconstituição de Séries de Vazões Naturais", referente às bacias dos rios Paraíba do Sul, Pirai e Ribeirão das Lajes, contratado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS e acompanhado pela ANA, ANEEL e EPE na elaboração dos estudos energéticos da UHE Itaocara I, acolhemos o pleito, tendo em vista que o estudo foi concluído pela empresa contratada e já foi avaliado pela Agência Nacional de Águas – ANA, conforme o Ofício nº 001/2013/SPR-ANA¹. Desse modo, encaminhamos anexo o relatório que contempla as informações das bacias dos rios Paraíba do Sul, Pirai e Ribeirão das Lajes. Destacamos que deverão ser atualizadas as séries de todos os aproveitamentos hidrelétricos das bacias citadas apontados na referida revisão.
3. Quanto ao cenário de usos consuntivos a ser adotado nos estudos energéticos, informamos que deverá ser considerado o horizonte de entrada em operação da usina, a saber 2019, cenário esse aderente ao utilizado no cálculo de garantia física do empreendimento.
4. Adicionalmente, informamos que deverá ser adotado nesse estudo específico como custo marginal de dimensionamento o valor de R\$145,00/MWh, tendo em vista ser esse o parâmetro que vem sendo utilizado pela ANEEL como balizador em suas avaliações de estudos dessa natureza até que haja uma

¹ Nota Técnica nº 032/2012/SPR-NHI

48539.002880/2014.00



(Pág. 2 do Ofício nº 535 /2014-SGH/ANEEL, de 28/03 /2014)

publicação mais específica acerca de sua determinação e forma de atualização financeira. Quanto aos parâmetros taxa de desconto e vida útil, deverão ser considerados 10% a.a e 50 anos, respectivamente.

5. Ademais, informamos ainda que a garantia física da UHE Itaocara I publicada pela Portaria SPE/MME nº 108/2013 perdeu validade e eficácia, nos termos do art. 3º da referida Portaria.

6. Com relação à rotina específica empregada pelo MSUI para a operação da cascata do Paraíba do Sul, informamos que a mesma não emprega a equação constante do Anexo III da Resolução ANA nº 1.404/2013. Assim, com o intuito de observar essa restrição regulatória, deverá ser empregado o modelo MSUI² em conjunto com planilhas eletrônicas, atentando-se para a seguinte sequência operativa:

- (i) Simular o modelo MSUI considerando como defluência mínima associada ao reservatório de Santa Cecília o valor de 209 m³/s (parâmetro disposto no arquivo *hidexp1.dat*);
- (ii) A partir do relatório de saída associado à simulação supracitada, aplicar a regra do Anexo III da Resolução ANA nº 1.404/2013 ao reservatório de Santa Cecília para as baixas aflúncias³, gerando, assim, novas séries de vazões defluentes e bombeadas em Santa Cecília;
- (iii) Concluída a etapa (ii), gerar séries de vazões artificiais nos locais das UHEs Simplício, Ilha dos Pombos e Itaocara, conforme as seguintes equações:

$$Q_{\text{SIMPLICIO}} = Q_{\text{defl_STACECILIA}} + Q_{\text{IncremSTACECILIA-SIMPLICIO}} - Q_{\text{naturalSANTANA}}$$

$$Q_{\text{ILHAPOMBOS}} = Q_{\text{defl_STACECILIA}} + Q_{\text{IncremSTACECILIA-ILHAPOMBOS}} - Q_{\text{naturalSANTANA}}$$

$$Q_{\text{ITAOCARA}} = Q_{\text{defl_STACECILIA}} + Q_{\text{IncremSTACECILIA-ITAOCARA}} - Q_{\text{naturalSANTANA}}$$

onde:

$Q_{\text{SIMPLICIO}}$: Vazão artificial na UHE Simplício

$Q_{\text{ILHAPOMBOS}}$: Vazão artificial na UHE Ilha dos Pombos

Q_{ITAOCARA} : Vazão artificial na UHE Itaocara

$Q_{\text{deflSTACECILIA}}$: Vazão defluente do reservatório de Santa Cecília

$Q_{\text{IncremSTACECILIA-SIMPLICIO}}$: Vazão incremental natural entre Santa Cecília e Simplício

$Q_{\text{IncremSTACECILIA-ILHAPOMBOS}}$: Vazão incremental natural entre Santa Cecília e Ilha dos Pombos

$Q_{\text{IncremSTACECILIA-ITAOCARA}}$: Vazão incremental natural entre Santa Cecília e Itaocara

$Q_{\text{naturalSANTANA}}$: Vazão natural em Santana (rio Pirai)

- (iv) Simular no modelo MSUI as UHEs Simplício, Ilha dos Pombos e Itaocara isoladamente da cascata, considerando as respectivas séries de vazões dispostas no arquivo *vazões.dat*, como sendo as vazões artificiais definidas no item anterior.
- (v) A energia firme da UHE Itaocara I deverá ser obtida a partir de uma segunda simulação do Modelo MSUI.

² Modelo oficial utilizado no cálculo de garantia física. Portaria MME nº 258/2008.

³ Vazões abaixo de 250m³/s.



(Pág. 3 do Ofício nº 535 /2014-SGH/ANEEL, de 28 / 03 /2014)

7. Após a aplicação da metodologia descrita acima, deverá ser encaminhado para a ANEEL as planilhas/resultados para avaliação e validação da metodologia empregada.

Atenciosamente,

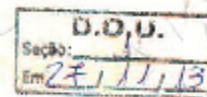

ODÉNIR JOSÉ DOS REIS
Superintendente de Gestão e Estudos Hidroenergéticos

c/c: Oduvaldo Barroso da Silva - EPE

Anexo: CD contendo as séries de vazões naturais, de usos consuntivos e de evaporação dos aproveitamentos hidrelétricos das bacias dos rios Paraíba do Sul, Pirai e Ribeirão das Lajes.

ANEXO 2

DRDH – Resolução ANA 1404/2013



RESOLUÇÃO Nº 1404, DE 26 DE NOVEMBRO 2013

O DIRETOR-PRESIDENTE SUBSTITUTO DA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA, no uso da atribuição que lhe confere a Portaria nº 207, de 19 de setembro de 2013, e o art. 63 inciso IV e XVII e o § 2º, do Regimento Interno, aprovado pela Resolução nº 567, de 17 de agosto de 2009, torna público, *ad referendum* da DIRETORIA COLEGIADA, com fundamento no art. 12, inciso V, da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, e com base nos elementos constantes do Processo nº 02501.002084/2013-23, resolve:

Art. 1º Declarar reservada, à Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, na seção do rio Paraíba do Sul situada às coordenadas geográficas 21º41'44" de latitude sul e 42º08'57" de longitude oeste, a disponibilidade hídrica caracterizada pelas vazões naturais afluentes, constantes do Anexo I, subtraídas das:

- I- vazões médias destinadas ao atendimento de outros usos consuntivos a montante na bacia do Paraíba do Sul conforme Anexo II;
- II- vazões transpostas pelo Sistema Guandu, em uma vazão média de 138,2 m³/s em Santa Cecília/Santana/Vigário e de 12,97 m³/s em Tocos, variando no tempo conforme equacionamento apresentado no Anexo III;
- III- vazões transpostas para um possível aumento da demanda das Regiões Metropolitanas do Rio de Janeiro e de São Paulo, conforme anexo IV; e
- IV- vazões eventualmente alocadas ao(s) Sistema(s) de Transposição de Peixes.

Art. 2º As vazões reservadas têm a finalidade de garantir a disponibilidade hídrica necessária à viabilidade do aproveitamento hidrelétrico Itaocara I, nos Municípios de Itaocara e Aperibê, no Estado do Rio de Janeiro, com as seguintes características:

- I - coordenadas geográficas do eixo do barramento: 21º41'44" de latitude sul e 42º08'57" de longitude oeste;
- II - nível d'água máximo normal a montante: 89,6 m;
- III - nível d'água máximo maximum a montante: 90,9 m;
- IV - nível d'água mínimo normal a montante: 89,6 m;
- V - área inundada do reservatório no nível d'água máximo normal: 40,4 km²;
- VI - volume do reservatório no nível d'água máximo normal: 412,76 hm³;
- VII - vazão máxima turbinada: 666,0 m³/s;
- VIII - vazão decamilenar defluente: 9.530m³/s; e
- IX - operação a fio d'água, com vazões defluentes iguais às afluentes.

§ 1º O vertedor deverá ser verificado para a passagem da cheia máxima provável, mantendo uma borda livre em relação à crista da barragem adequada para o porte do empreendimento;

§ 2º O abastecimento de água de sedes municipais e das localidades afetadas diretamente pelo reservatório, cujos pontos de captação estejam eventualmente na área a ser inundada, não poderão ser interrompidos em decorrência da implantação do empreendimento, em suas fases de construção e operação;

§ 3º As áreas urbanas e localidades deverão ser relocadas ou protegidas contra cheias com tempo de recorrência de 50 anos, considerando o efeito do remanso sobre a linha de inundação do reservatório;

§ 4º A infraestrutura composta por rodovias, ferrovias e pontes deverá ser relocada ou protegida contra cheias com tempo de recorrência de 100 anos, considerando o efeito do remanso sobre a linha de inundação do reservatório;

§ 5º Deverão ser mantidas as condições atuais de navegação, adequadas ao porte de navegação existente atualmente na região durante as fases de construção e operação do empreendimento, especialmente quanto à balsa no Porto do Tuta, no município de Cantagalo - RJ;

§ 6º Deverá ser acompanhada a evolução do assoreamento do reservatório, principalmente nas proximidades da tomada d'água, para determinar a eventual necessidade de medidas mitigadoras ou corretivas;

§ 7º A ANA poderá rever, a qualquer tempo, os aspectos relativos à Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica dispostos nesta Resolução, inclusive para eventual atualização das vazões destinadas a usos consuntivos da água a montante e demais condições de operação do reservatório.

§ 8º A ANA deverá ser informada previamente quanto à data de início do enchimento do reservatório.

Art. 3º A Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica, objeto desta Resolução:

- I. não confere direito de uso dos recursos hídricos e se destina a reservar a vazão a ser outorgada, possibilitando, ao investidor, o planejamento de seu empreendimento;
- II. tem prazo de validade de três anos, contado a partir da data de publicação desta resolução, podendo ser renovada, mediante solicitação da ANEEL, por igual período; e
- III. por se caracterizar como outorga preventiva, poderá ser suspensa, parcial ou totalmente, em definitivo ou por tempo determinado, no caso de incidência nos arts. 15 e 49 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e em caso de indeferimento ou cassação da Licença Ambiental pelo órgão competente.

Art. 4º As condições de operação do reservatório do aproveitamento hidrelétrico serão definidas e fiscalizadas pela ANA, em articulação com o Operador Nacional do Sistema - ONS, conforme disposição do art. 4º, inciso XII e § 3º, da Lei nº 9.984, de 2000, devendo respeitar as seguintes condições gerais:

§ 1º Vazão mínima no período de enchimento e operação do reservatório: 121,6 m³/s, até a água atingir a cota da soleira do vertedor; e 170 m³/s a partir deste nível;

§ 2º O órgão ambiental poderá eventualmente fixar regras complementares para o enchimento e operação, as quais deverão ser avaliadas pela ANA.

Art. 5º O futuro Outorgado deverá implantar e manter estações de monitoramento e reportar os dados monitorados regularmente à ANA, conforme especificado na Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010, e:

Parágrafo único. Monitorar trimestralmente os seguintes parâmetros: salinidade, temperatura, amônia, nitrato, nitrogênio orgânico, fósforo inorgânico, fósforo orgânico, fosforo total, Clorofila-a, zooplâncton, coliformes, OD e DBO.

Art. 6º Esta Declaração será transformada, automaticamente, pela ANA, em outorga de direito de uso de recursos hídricos para o aproveitamento hidrelétrico ao titular que receber da ANEEL a concessão ou a autorização para o uso do potencial de energia hidráulica, mediante apresentação de:

- I - Projeto Básico do aproveitamento hidrelétrico, conforme especificações da ANEEL;
- II - Revisão dos estudos de remanso, conforme diretrizes a ser obtidas junto à ANA;
- III - Estudo de concepção e definição de alternativas do sistema de transposição de desnível para embarcações, conforme conteúdo definido no Inciso I do Artigo 1º da Resolução ANA nº 463, de 03 de setembro de 2012, a ser apresentado como condicionante para obtenção da outorga de direito de uso de recursos hídricos, dimensionado para o comboio-tipo definido pelo Ministério dos Transportes;
- IV - Detalhamento do Sistema de Transposição de Desnível na alternativa definida no inciso anterior, conforme conteúdo definido no Inciso II do Artigo 1º da Resolução ANA nº 463, de 03 de setembro de 2012, a ser apresentado após a obtenção da outorga de direito de uso de recursos hídricos;
- V - Apresentar simulação da qualidade de água dos principais compartimentos do futuro reservatório, conforme diretrizes a ser obtidas junto à ANA; e avaliar propostas para melhoria das condições de qualidade da água do futuro reservatório, visando à contenção de processos de carreamento da poluição difusa da bacia e, eventualmente, a restrição de usos em compartimentos com maior potencial de deterioração da qualidade de água;
- VI - Apresentar Plano de Usos do Reservatório – PUR, conforme diretrizes a ser obtidas junto à ANA;
- VII - Encaminhar à ANA relatórios da implementação dos seguintes programas e medidas já contemplados no âmbito do licenciamento ambiental: Programa de Monitoramento Limnológico e de Qualidade de Águas; Programa de Controle de Macrófitas Aquáticas; Programas de Desmatamento e Limpeza da Área do Reservatório.


Art. 7º São de responsabilidade exclusiva do futuro titular da outorga todos os ônus, encargos e obrigações relacionadas à alteração, decorrente da implantação do empreendimento, das condições das outorgas emitidas pela ANA ou pelo órgão gestor de recursos hídricos estadual, além de captações de água, acumulações ou lançamentos de efluentes cadastrados e/ou considerados insignificantes, em vigor na data de início do enchimento, nos trechos de rio correspondentes à área a ser inundada e a jusante do empreendimento.

Art. 8º O futuro titular da outorga é responsável pelos aspectos relacionados à segurança da barragem, devendo assegurar que seu projeto, construção, operação e manutenção sejam executados de acordo com o que estabelece a Lei no 12.334, de 20 de setembro de 2010, e demais regulamentos emitidos pelo órgão fiscalizador da segurança da barragem.

Art. 9º Esta Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica não dispensa, nem substitui a obtenção, pelo (a) declarado (a), de certidões, alvarás ou licenças de qualquer natureza, exigidos pela legislação federal, estadual ou municipal.

Art. 10. O direito de uso de recursos hídricos, quando da transformação desta Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica em outorga de direito de uso, estará sujeito à cobrança, nos termos da legislação pertinente.

Art. 11. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.


PAULO LOPES VARELLA NETO



Anexo I – Série de vazões naturais médias mensais afluentes à UHE Itaacara I (m³/s)

| Ano | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| 1931 | 1090 | 2240 | 1737 | 1120 | 708 | 552 | 464 | 387 | 400 | 534 | 554 | 936 |
| 1932 | 1466 | 1277 | 1158 | 685 | 640 | 593 | 411 | 384 | 368 | 485 | 557 | 1198 |
| 1933 | 1391 | 816 | 748 | 520 | 469 | 386 | 324 | 273 | 306 | 454 | 514 | 951 |
| 1934 | 1414 | 710 | 767 | 553 | 397 | 316 | 270 | 230 | 351 | 277 | 266 | 896 |
| 1935 | 944 | 1921 | 1123 | 762 | 542 | 437 | 347 | 309 | 319 | 528 | 413 | 411 |
| 1936 | 412 | 589 | 1542 | 952 | 522 | 377 | 318 | 291 | 359 | 315 | 361 | 758 |
| 1937 | 1348 | 1397 | 774 | 675 | 648 | 446 | 330 | 264 | 233 | 447 | 622 | 1491 |
| 1938 | 1363 | 1208 | 1099 | 823 | 608 | 498 | 396 | 439 | 385 | 530 | 658 | 915 |
| 1939 | 1136 | 1094 | 730 | 809 | 519 | 394 | 326 | 277 | 257 | 291 | 388 | 662 |
| 1940 | 1179 | 1525 | 1278 | 690 | 498 | 410 | 303 | 255 | 259 | 382 | 706 | 822 |
| 1941 | 938 | 666 | 813 | 671 | 428 | 360 | 356 | 238 | 488 | 573 | 605 | 1076 |
| 1942 | 1000 | 896 | 1174 | 740 | 589 | 445 | 478 | 298 | 315 | 402 | 585 | 1009 |
| 1943 | 1886 | 1495 | 1195 | 777 | 551 | 457 | 362 | 342 | 328 | 547 | 556 | 937 |
| 1944 | 935 | 1507 | 1784 | 908 | 622 | 478 | 403 | 315 | 267 | 286 | 376 | 586 |
| 1945 | 947 | 1501 | 930 | 870 | 566 | 483 | 528 | 314 | 286 | 263 | 465 | 858 |
| 1946 | 1783 | 921 | 989 | 807 | 532 | 430 | 354 | 283 | 229 | 383 | 508 | 543 |
| 1947 | 1517 | 1685 | 2708 | 1245 | 821 | 585 | 670 | 337 | 590 | 632 | 752 | 1255 |
| 1948 | 1218 | 1534 | 1707 | 1075 | 704 | 575 | 452 | 432 | 354 | 429 | 568 | 985 |
| 1949 | 1262 | 1619 | 1062 | 761 | 560 | 492 | 394 | 312 | 286 | 375 | 483 | 760 |
| 1950 | 1479 | 1862 | 1374 | 1092 | 792 | 592 | 454 | 351 | 303 | 439 | 719 | 1124 |
| 1951 | 1197 | 1390 | 1626 | 1153 | 642 | 533 | 487 | 381 | 335 | 353 | 373 | 674 |
| 1952 | 1201 | 1517 | 1831 | 1019 | 569 | 679 | 488 | 432 | 472 | 450 | 659 | 845 |
| 1953 | 569 | 735 | 632 | 683 | 500 | 353 | 356 | 313 | 281 | 370 | 606 | 718 |
| 1954 | 506 | 660 | 562 | 556 | 509 | 405 | 288 | 232 | 205 | 267 | 317 | 385 |
| 1955 | 887 | 507 | 527 | 475 | 334 | 293 | 220 | 183 | 188 | 204 | 350 | 651 |
| 1956 | 659 | 490 | 837 | 534 | 437 | 436 | 312 | 374 | 278 | 303 | 384 | 721 |
| 1957 | 834 | 886 | 1245 | 1187 | 609 | 448 | 380 | 314 | 420 | 315 | 555 | 730 |
| 1958 | 541 | 928 | 828 | 684 | 672 | 582 | 432 | 321 | 376 | 426 | 642 | 816 |
| 1959 | 1280 | 764 | 1019 | 896 | 498 | 377 | 306 | 313 | 249 | 267 | 561 | 560 |
| 1960 | 796 | 1093 | 1658 | 788 | 577 | 460 | 390 | 354 | 298 | 318 | 463 | 819 |
| 1961 | 1782 | 1892 | 1932 | 1078 | 792 | 566 | 441 | 373 | 305 | 282 | 375 | 578 |
| 1962 | 907 | 1829 | 1168 | 718 | 533 | 417 | 342 | 318 | 365 | 477 | 714 | 959 |
| 1963 | 1032 | 1089 | 797 | 515 | 363 | 309 | 271 | 241 | 195 | 226 | 389 | 287 |
| 1964 | 604 | 1284 | 1729 | 506 | 415 | 311 | 328 | 252 | 225 | 366 | 412 | 672 |
| 1965 | 1296 | 1671 | 1307 | 744 | 769 | 537 | 467 | 377 | 302 | 539 | 684 | 879 |
| 1966 | 2118 | 898 | 1523 | 910 | 653 | 473 | 398 | 365 | 343 | 444 | 1067 | 1127 |
| 1967 | 2161 | 2396 | 2122 | 1235 | 772 | 638 | 529 | 414 | 382 | 401 | 695 | 940 |
| 1968 | 1089 | 745 | 861 | 623 | 437 | 360 | 324 | 321 | 314 | 308 | 275 | 611 |
| 1969 | 852 | 767 | 799 | 622 | 375 | 355 | 289 | 287 | 249 | 346 | 677 | 918 |
| 1970 | 879 | 861 | 919 | 566 | 412 | 334 | 347 | 296 | 465 | 439 | 512 | 533 |
| 1971 | 553 | 314 | 665 | 466 | 355 | 377 | 302 | 249 | 333 | 470 | 607 | 991 |
| 1972 | 888 | 1141 | 1271 | 743 | 483 | 383 | 371 | 365 | 370 | 536 | 701 | 777 |
| 1973 | 1157 | 1305 | 805 | 851 | 612 | 439 | 401 | 351 | 319 | 429 | 705 | 919 |
| 1974 | 1213 | 851 | 1001 | 874 | 521 | 467 | 409 | 311 | 272 | 321 | 332 | 745 |
| 1975 | 1217 | 1142 | 879 | 609 | 429 | 350 | 321 | 248 | 220 | 365 | 645 | 951 |
| 1976 | 862 | 908 | 909 | 773 | 587 | 612 | 621 | 498 | 567 | 638 | 727 | 974 |
| 1977 | 1132 | 903 | 587 | 705 | 459 | 381 | 300 | 254 | 343 | 321 | 327 | 952 |

Anexo I (continuação)

| Ano | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
|------|------|------|------|------|-----|------|-----|-----|------|------|------|------|
| 1978 | 1276 | 830 | 854 | 526 | 428 | 425 | 339 | 269 | 259 | 240 | 459 | 583 |
| 1979 | 727 | 1344 | 920 | 587 | 489 | 381 | 354 | 349 | 430 | 344 | 692 | 787 |
| 1980 | 1185 | 977 | 692 | 827 | 457 | 390 | 381 | 327 | 324 | 378 | 523 | 878 |
| 1981 | 1293 | 838 | 780 | 639 | 459 | 401 | 347 | 308 | 252 | 390 | 699 | 1062 |
| 1982 | 1189 | 837 | 1460 | 1106 | 620 | 578 | 462 | 424 | 335 | 452 | 533 | 1101 |
| 1983 | 1728 | 1335 | 1233 | 1109 | 811 | 1431 | 785 | 560 | 1049 | 1003 | 1089 | 1374 |
| 1984 | 1166 | 721 | 650 | 689 | 676 | 430 | 355 | 358 | 345 | 317 | 337 | 522 |
| 1985 | 1449 | 1749 | 1705 | 972 | 681 | 512 | 421 | 354 | 383 | 334 | 437 | 629 |
| 1986 | 899 | 1000 | 1150 | 633 | 496 | 405 | 362 | 403 | 324 | 288 | 337 | 976 |
| 1987 | 1043 | 1109 | 750 | 973 | 707 | 624 | 437 | 336 | 403 | 366 | 372 | 741 |
| 1988 | 908 | 1819 | 1283 | 820 | 734 | 658 | 452 | 408 | 372 | 427 | 576 | 583 |
| 1989 | 1145 | 1250 | 1256 | 849 | 580 | 547 | 442 | 468 | 411 | 378 | 436 | 648 |
| 1990 | 693 | 390 | 673 | 597 | 441 | 359 | 372 | 348 | 400 | 422 | 409 | 393 |
| 1991 | 1040 | 1163 | 1048 | 1267 | 718 | 467 | 455 | 373 | 344 | 559 | 395 | 477 |
| 1992 | 1273 | 776 | 681 | 520 | 489 | 371 | 376 | 322 | 463 | 535 | 782 | 842 |
| 1993 | 657 | 924 | 1012 | 883 | 545 | 533 | 398 | 345 | 388 | 454 | 368 | 468 |
| 1994 | 853 | 613 | 930 | 813 | 683 | 442 | 340 | 286 | 235 | 235 | 384 | 722 |
| 1995 | 612 | 1598 | 763 | 363 | 436 | 329 | 331 | 255 | 226 | 504 | 643 | 737 |
| 1996 | 1378 | 1298 | 1606 | 931 | 622 | 481 | 402 | 362 | 623 | 451 | 988 | 959 |
| 1997 | 1642 | 1063 | 970 | 631 | 487 | 504 | 378 | 329 | 291 | 393 | 540 | 689 |
| 1998 | 737 | 1015 | 763 | 560 | 458 | 356 | 299 | 276 | 293 | 526 | 528 | 600 |
| 1999 | 1250 | 1140 | 1032 | 629 | 427 | 420 | 375 | 300 | 284 | 280 | 347 | 665 |
| 2000 | 1326 | 970 | 808 | 722 | 406 | 334 | 331 | 309 | 419 | 287 | 430 | 747 |
| 2001 | 796 | 867 | 620 | 565 | 368 | 291 | 251 | 234 | 256 | 333 | 386 | 592 |
| 2002 | 989 | 1247 | 744 | 494 | 407 | 303 | 287 | 258 | 274 | 205 | 464 | 847 |
| 2003 | 1172 | 902 | 749 | 514 | 381 | 311 | 280 | 257 | 262 | 367 | 506 | 664 |
| 2004 | 939 | 1096 | 1093 | 975 | 660 | 615 | 531 | 393 | 303 | 400 | 493 | 934 |
| 2005 | 1261 | 1348 | 986 | 836 | 626 | 533 | 452 | 359 | 364 | 359 | 546 | 899 |
| 2006 | 715 | 1178 | 792 | 577 | 426 | 348 | 314 | 281 | 291 | 446 | 666 | 1021 |
| 2007 | 1724 | 999 | 591 | 492 | 419 | 352 | 332 | 287 | 208 | 285 | 562 | 579 |
| 2008 | 708 | 1418 | 1246 | 1070 | 641 | 514 | 381 | 371 | 319 | 440 | 758 | 1182 |
| 2009 | 1413 | 1805 | 1115 | 863 | 590 | 510 | 477 | 453 | 453 | 729 | 866 | 1513 |
| 2010 | 1770 | 987 | 1318 | 1068 | 642 | 494 | 493 | 358 | 322 | 407 | 702 | 1453 |
| 2011 | 1804 | 814 | 1476 | 1003 | 624 | 511 | 419 | 360 | 298 | 403 | 501 | 997 |

R

CONSÓRCIO DA USINA HIDRELÉTRICA DE ITAOCARA

AHE ITAOCARA I

ESTUDOS DE HIDRÁULICA FLUVIAL E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

RELATÓRIO TÉCNICO FINAL

POTITA-001-1-TC-RTF-0001-R0

Abril/2014

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| APRESENTAÇÃO | 3 |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 4 |
| 2. DADOS BÁSICOS | 4 |
| 3. CRITÉRIOS E PREMISSAS..... | 5 |
| 3.1. Série de Vazões | 5 |
| 3.2. Geometria do Trecho Avaliado | 8 |
| 3.3. Curva-chave de Sedimento Transportado | 11 |
| 3.4. Curva Granulométrica de Sedimento..... | 16 |
| 4. METODOLOGIA | 21 |
| 5. RESULTADOS | 22 |
| 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 33 |

APRESENTAÇÃO

Belo Horizonte, 24 de abril de 2014.

Ao
Consórcio da Usina Hidrelétrica de Itacara
At. Eng. Antônio Carlos Borges Batista
SCN, Quadra 4, Bloco B, Salas 904 e 1004
CEMIG
Belo Horizonte/MG

Prezados Senhores,

Estamos apresentando o relatório técnico final referente aos estudos de hidráulica fluvial e transporte de sedimentos para AHE Itacara I, a ser implantado no rio Paraíba do Sul. O objetivo principal dos estudos é estabelecer a curva guia de operação do reservatório da AHE Itacara I, considerando os níveis de restrição em São Sebastião do Paraíba nas cotas 92,80; 92,50 e 92,00 m.

Colocamo-nos à disposição de V. Sas. para quaisquer esclarecimentos adicionais que se fizerem necessários.

Atenciosamente,

POTAMOS ENGENHARIA E HIDROLOGIA LTDA.

Avenida Barão Homem de Melo, 4386, 15º andar - conj. 1504, Estoril

CEP: 30.494-270 - Belo Horizonte/MG

e-mail: geral@potamos.com.br

Tel.: (31) 2534-5100

1. INTRODUÇÃO

O presente documento foi elaborado com o objetivo de estabelecer a curva guia de operação do reservatório do AHE Itaipava I, por meio da análise da hidráulica fluvial, do transporte de sedimento e do nível de água resultante na comunidade denominada São Sebastião do Paraíba para o cenário atual e após 10 e 30 anos de operação da usina. Os níveis de restrição considerados para elevação da água na referida comunidade foram as cotas 92,80 m, 92,50 m e 92,0 m.

Com a implantação da usina, o reservatório tende a aumentar o depósito de sedimento devido ao aumento do nível de água e a diminuição da velocidade de escoamento. Para determinar o transporte de sedimento e o perfil de depósito ao longo do tempo de operação da usina, é de suma importância estabelecer a relação entre a descarga sólida de arraste e a descarga sólida total. O presente trabalho avaliou as relações de 5%, 10% e 15%, apesar de o estudo básico ter adotado o valor de 5%. Para a definição da descarga de sedimento, a granulometria dos sedimentos do leito e do material afluente, foram incorporadas as novas campanhas de medições de descarga sólidas e granulométricas contratadas pela CEMIG e realizadas nos anos de 2011 e 2012.

Além deste capítulo introdutório, o relatório foi organizado em outros 05 (cinco) capítulos: **Capítulo (2)**, que apresenta os dados básicos utilizados na elaboração deste documento; **Capítulo (3)**, que trata dos critérios e premissas considerados nas modelagens hidráulicas; **Capítulo (4)**, que trata dos aspectos metodológicos; **Capítulo (5)**, que contém uma síntese dos resultados obtidos; e **Capítulo (6)**, no qual são apresentadas as conclusões.

2. DADOS BÁSICOS

Para o desenvolvimento do presente estudo, foram disponibilizados e consultados os seguintes dados básicos e estudos:

- × Documento PJ0722-B-R00-GR-RL-101-1A: “AHE Itaipava I – Projeto Básico”, elaborado pela PCE em abril/2010;
- × Documento S0813B01-1-G00-REF-0001: “AHE Itaipava I – Projeto Básico Otimizado”, elaborado pela SPEC em Setembro/2010;
- × Documento 0323-RT001-R01: “UHE Itaipava I – Estudo de Remanso com Fundo Móvel”, elaborado pela Potamos em Dezembro 2010;
- × Curva de Descarga do Vertedouro de Itaipava I, disponibilizada pela CEMIG em Outubro/2010;
- × Monitoramento Hidrossedimentométrico – I Campanha Estação Porto do Tuta e Roda D’água, elaborado pela HAC em Junho 2013;
- × Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico da UHE Itaipava, Relatório Técnico Final, elaborado pela Hidrogest em Abril/2012;

- × Levantamento de Seções Topobatimétricas instalação e manutenção de estações, transporte de cotas e medição de vazão a jusante do canal de fuga, elaborado pela Hidrogest em Maio/2012;

3. CRITÉRIOS E PREMISSAS

A definição da curva guia de operação foi realizada com o auxílio do programa HEC-RAS – 4.0.1 – *River Analysis System*, desenvolvido pelo *U.S. Army Corps of Engineers*. Os principais dados de entrada para a simulação são: (i) vazão afluente; (ii) geometria do trecho avaliado; e (iii) coeficiente de rugosidade (*Manning*).

O prognóstico do assoreamento do reservatório avaliado para 10 e 30 anos de operação do AHE Itaocara I foi realizado com o auxílio do programa HEC-6 - *Scour and Deposition in Rivers and Reservoirs*, desenvolvido pelo *U.S. Army Corps of Engineers*, versão 4.2. Os principais dados de entrada para a simulação são: (i) série de vazão afluente; (ii) geometria do trecho avaliado; (iii) descarga de sedimento total afluente e; (iv) granulometria do leito e do material afluente.

3.1. Série de Vazões

A série de vazões médias mensais adotada para simulação no HEC-6 abrange o período de janeiro de 1978 a dezembro de 2007, correspondente aos últimos 30 anos de dados apresentados no projeto básico.

Para a avaliação do nível de restrição de água em São Sebastião do Paraíba e definição dos principais quantis de vazões, analisou-se toda a série de vazões apresentada no projeto básico, sendo ele de janeiro de 1931 a dezembro de 2007. A curva de permanência está representada na Figura 3.1, sendo seus respectivos valores listados na Tabela 3.1. Na Tabela 3.2 estão apresentadas as vazões para os quantis de referência obtidos.

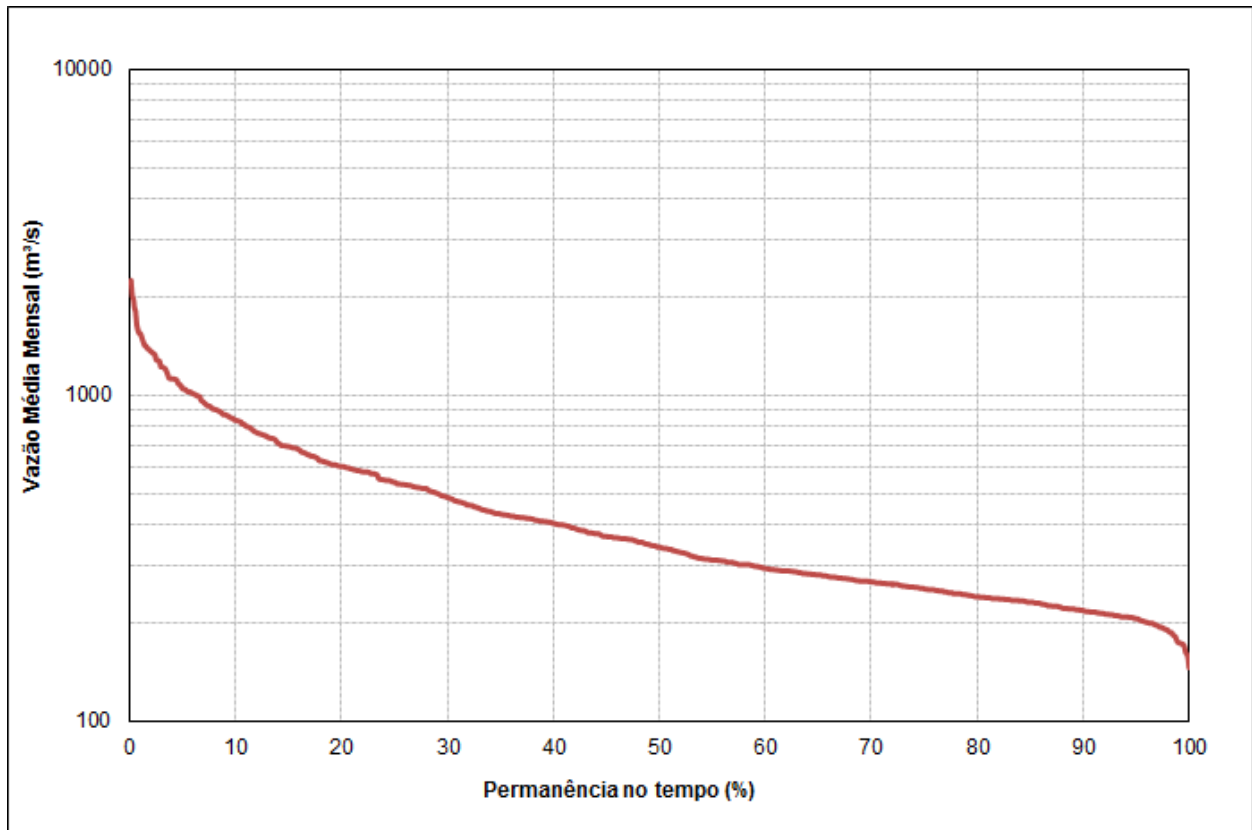


Figura 3.1 – Curva de permanência das vazões médias mensais regularizadas pelo reservatório AHE Itaocara I. Fonte: Projeto Básico

Tabela 3.1 – Vazões da curva de permanência.

| Permanência (%) | Vazão (m³/s) |
|------------------------|--------------------------------|
| 0,1 | 2255 |
| 1 | 1541 |
| 5 | 1047 |
| 10 | 838 |
| 15 | 696 |
| 20 | 604 |
| 25 | 541 |
| 30 | 486 |
| 35 | 432 |
| 40 | 404 |
| 45 | 369 |
| 50 | 342 |
| 55 | 312 |
| 60 | 295 |
| 65 | 281 |
| 70 | 268 |
| 75 | 255 |
| 80 | 241 |
| 85 | 232 |
| 90 | 218 |
| 95 | 206 |
| 100 | 146 |

Tabela 3.2 – Vazões para quantis de referência.

| Tempo de Retorno (anos) | Vazão (m³/s) |
|--------------------------------|--------------------------------|
| 2 | 2305 |
| 5 | 3231 |
| 10 | 3844 |
| 25 | 4619 |
| 50 | 5194 |
| 100 | 5764 |
| 200 | 6332 |
| 500 | 7082 |
| 1000 | 7649 |
| 10.000 | 9530 |

*Fonte: Projeto Básico

3.2. Geometria do Trecho Avaliado

Para a simulação do perfil de deposição de sedimento e avaliação do perfil de nível de água resultante, foram utilizadas 41 e 48 seções topobatimétricas, essa diferença no número de seções refere-se ao trecho a jusante do eixo de Itaocara I, onde as simulações que possuem a presença do barramento têm como limite de jusante a seção do próprio eixo e as simulações sem a presença do barramento na seção do Posto Itaocara Jusante. Na Figura 3.2 são apresentadas em planta as localizações das seções utilizadas e na Tabela 3.2 as suas principais descrições com a nomenclatura utilizada, com destaque para as seções S-22 – Eixo Itaocara I, S-9.5 - Posto São Sebastião do Paraíba e S-8.7 - Eixo Itaocara II, seções essas onde foram retirados os valores de nível de água nas simulações. O nível de água no eixo de Itaocara II foi avaliado devido à geração de usinas em cascata. A regra de operação da AHE Itaocara I pode influenciar e determinar o nível de água no canal de fuga da AHE Itaocara II e, conseqüentemente, impactar a geração de energia da mesma.

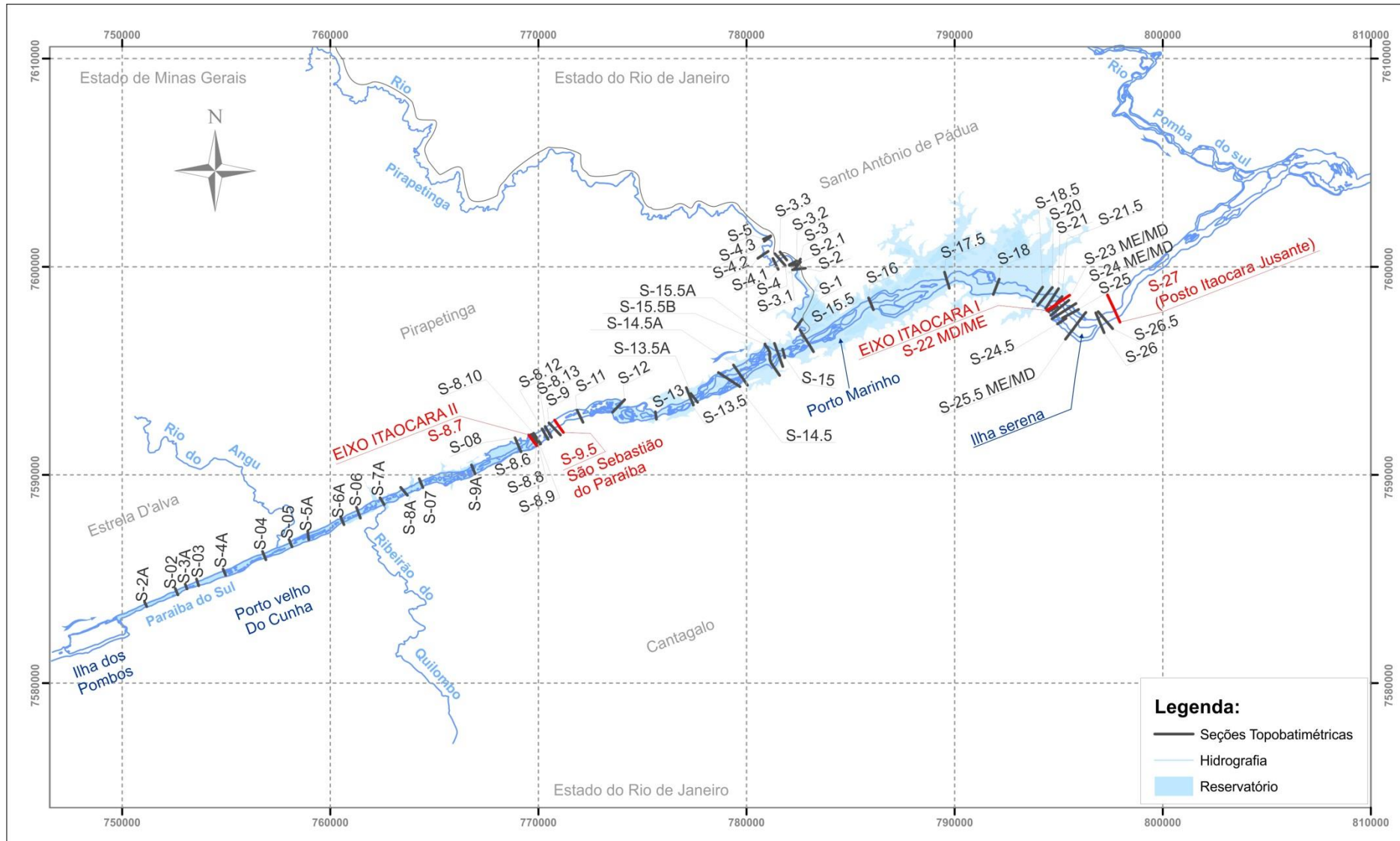


Figura 3.2 – Localização das seções topobatimétricas utilizadas nos estudos de hidráulica fluvial do reservatório Itaocara I.

Tabela 3.3 – Seções utilizadas para simulação.

| Descrição | Seção | Distância (m) | Fundo (m) |
|---|--------------|-----------------|--------------|
| Seção S-27 Posto Itaocara Jusante | 1,00 | 0,00 | 54,35 |
| Seção S-26.5 | 2,00 | 612,51 | 60,00 |
| Seção S-26 Jusante Ilha Serena | 3,00 | 902,49 | 55,85 |
| Seção S-25.5 (ME e MD) | 6,00 | 2847,49 | 52,96 |
| Seção S-25 ME e Seção S-24.5 MD | 6,50 | 3531,54 | 49,46 |
| Seção S-24 (ME e MD) | 7,00 | 3888,67 | 54,08 |
| Seção S-23 (ME e MD) | 9,00 | 4090,66 | 47,62 |
| Seção S-22 - Eixo Itaocara I (ME e MD) | 11,00 | 4365,32 | 51,55 |
| Seção S-21 Montante Ilha Serena | 14,00 | 4551,32 | 57,15 |
| Seção S-20 | 15,00 | 4910,32 | 57,46 |
| Seção S-18.5 | 18,00 | 5254,32 | 50,86 |
| Seção S-18 | 19,00 | 7233,32 | 60,89 |
| Seção S-17.5 Porto das Cruzes | 20,00 | 9729,32 | 62,59 |
| Seção S-16 | 23,00 | 13586,32 | 67,24 |
| Seção S-15.5 Porto Marinho | 24,00 | 17189,33 | 70,64 |
| Seção S-15 | 25,00 | 18483,61 | 67,87 |
| Seção S-15.5A | 25,30 | 18757,61 | 69,90 |
| Seção S-15.5B | 25,60 | 19213,61 | 73,35 |
| Seção S-14.5A | 25,90 | 21717,61 | 76,36 |
| Seção S-13.5A | 27,00 | 23343,61 | 76,29 |
| Seção S-13.5 Porto do Tuta | 28,00 | 23491,61 | 74,94 |
| Seção S-13 | 29,00 | 25411,61 | 80,05 |
| Seção S-12 | 31,00 | 27421,61 | 75,89 |
| Seção S-11 | 33,00 | 29371,61 | 86,14 |
| Seção S-9.5 Posto São Sebastião do Paraíba | 35,00 | 30536,61 | 86,10 |
| Seção S-9 | 37,00 | 30796,61 | 85,10 |
| Seção S-8.13 | 37,10 | 31099,61 | 85,79 |
| Seção S-8.12 | 37,20 | 31293,31 | 81,18 |
| Seção S-8.10 | 37,30 | 31735,21 | 81,71 |
| Seção S-8.9 | 37,40 | 31811,10 | 76,16 |
| Seção S-8.8 | 37,50 | 31870,26 | 76,41 |
| Seção S-8.7 Eixo Itaocara II | 37,60 | 31923,89 | 80,05 |
| Seção S-8 | 38,00 | 32695,82 | 86,32 |
| Seção S-9A | 39,00 | 35331,52 | 83,76 |
| Seção S-7 | 40,00 | 37897,52 | 87,68 |
| Seção S-8A | 41,00 | 38778,93 | 86,21 |
| Seção S-7A | 42,00 | 39990,11 | 89,02 |
| Seção S-06 | 43,00 | 41306,80 | 91,96 |
| Seção S-06A | 44,00 | 42162,79 | 87,40 |
| Seção S-5A | 45,00 | 44061,64 | 92,17 |
| Seção S-05 | 46,00 | 44944,01 | 92,47 |
| Seção S-04 | 47,00 | 46332,21 | 94,25 |

Tabela 3.3 continuação – Seções utilizadas para simulação.

| Descrição | Seção | Distância (m) | Fundo (m) |
|-------------|-------|---------------|-----------|
| Seção S-04A | 48,00 | 48416,10 | 93,91 |
| Seção S-03 | 49,00 | 49801,88 | 91,18 |
| Seção S-2.5 | 50,00 | 50337,50 | 86,93 |
| Seção S-03A | 51,00 | 50396,36 | 88,32 |
| Seção S-02 | 52,00 | 50919,78 | 92,26 |
| Seção S-2A | 53,00 | 52529,86 | 92,07 |

A Figura 3.3 apresenta o perfil longitudinal das referidas seções, com destaque para a localização do Posto Itacocara Jusante, São Sebastião do Paraíba e o eixo Itacocara II.

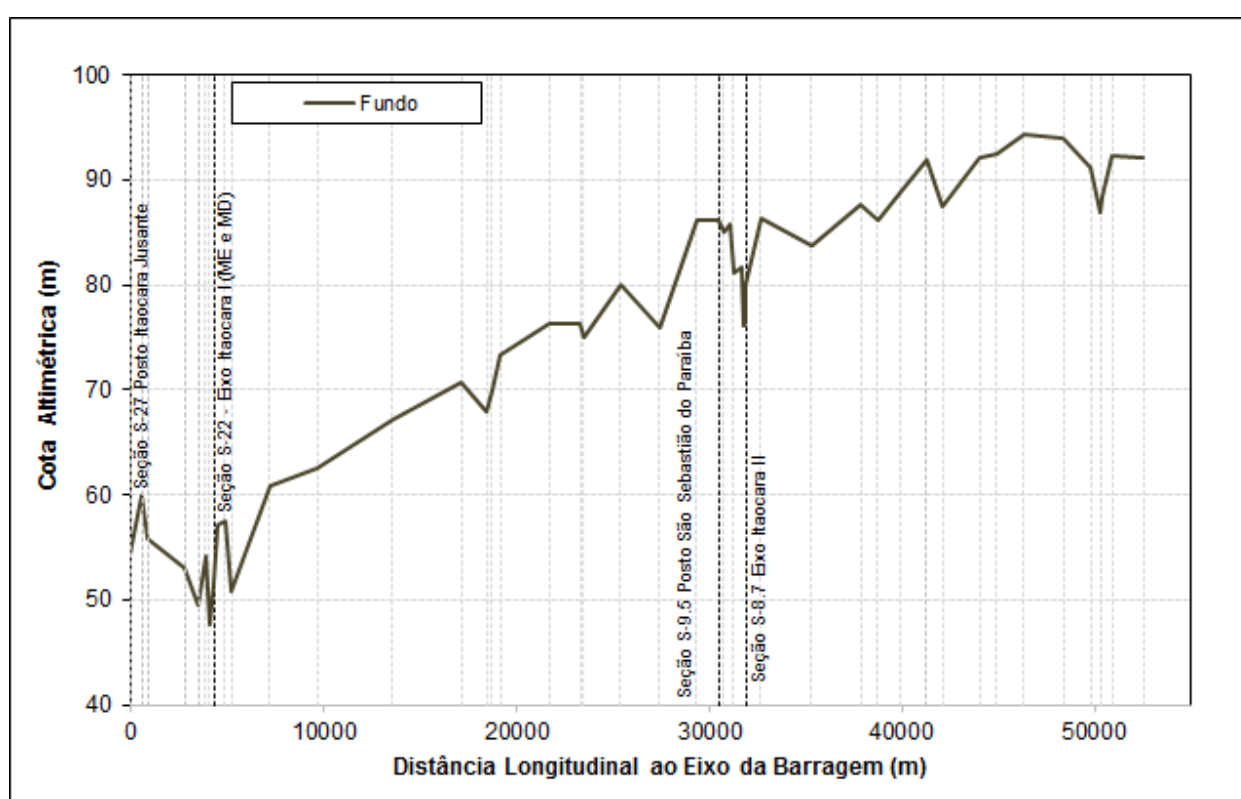


Figura 3.3 – Perfil topográfico do trecho do reservatório Itacocara I.

Os coeficientes de Manning utilizados foram os mesmos obtidos na calibração realizada no estudo anterior (POTAMOS, 2010).

3.3. Curva-chave de Sedimento Transportado

Para a definição da curva-chave de sedimento afluente foram avaliados os dados de medição de descarga sólida em suspensão realizadas pelo Consórcio UHE Itacocara desde o ano de 1998 até as 14 medições mais recentes de 2011 e 2012. A Tabela 3.4 apresenta os resumos das campanhas de medições levantadas.

Tabela 3.4 – Resumo das campanhas de medições de sedimento.

| Local da Medição | Campanha | Data | Vazão (m³/s) | Concentração Sólidos Suspensão (mg/l) |
|------------------|------------|--------------------------------|--------------|---------------------------------------|
| Itaocara Jusante | Anteriores | 30/12/1998 | 547,0 | - |
| | | 14/01/1999 | 453,0 | - |
| | | 18/01/1999 | 705,0 | - |
| | | 25/01/1999 | 582,0 | 55,0 |
| | | 19/02/1999 | 565,0 | 35,0 |
| | | 27/02/1999 | 762,0 | 47,0 |
| | | 02/03/1999 | 1034,0 | 117,0 |
| | | 06/04/1999 | 348,0 | 70,0 |
| | | 09/04/1999 | 343,0 | 63,0 |
| | | 05/05/1999 | 258,0 | 20,0 |
| | | 10/08/1999 | 209,0 | 52,0 |
| | | 14/09/1999 | 204,0 | 20,0 |
| | | 14/10/1999 | 220,0 | 16,0 |
| | | 30/11/1999 | 312,0 | 67,0 |
| | | 21/12/1999 | 315,0 | 26,0 |
| | | 25/01/2000 | 416,0 | 55,0 |
| | | 14/03/2000 | 577,0 | 57,0 |
| | | 25/04/2000 | 271,0 | 14,0 |
| | | 30/05/2000 | 237,0 | 6,0 |
| | | 04/07/2000 | 218,0 | 4,0 |
| | | 10/08/2000 | 249,0 | 47,0 |
| | | 12/09/2000 | 212,0 | 12,0 |
| | | 03/10/2000 | 231,0 | 6,0 |
| | | 08/11/2000 | 236,0 | 25,0 |
| | | 12/12/2000 | 308,0 | 48,0 |
| | | 06/02/2001 | 498,0 | 79,0 |
| | | 27/03/2001 | 255,0 | 28,0 |
| | | 17/04/2001 | 327,0 | 30,0 |
| | | 16/05/2001 | 337,0 | 33,0 |
| | | 10/07/2001 | 199,0 | 14,0 |
| | | 07/03/2002 | 258,0 | 60,0 |
| | | Itaocara II – Formiga Montante | 03/03/2009 | 1041,0 |
| 03/03/2009 | 951,0 | | 229,0 | |
| 04/03/2009 | 833,0 | | 165,0 | |
| 10/03/2009 | 713,0 | | 82,0 | |
| 11/03/2009 | 770,0 | | 114,0 | |
| 24/03/2009 | 584,0 | | 87,0 | |
| 24/03/2009 | 659,0 | | 87,0 | |

Tabela 3.4 Continuação– Resumo das Campanhas de Medições de Sedimento.

| Local da Medição | Campanha | Data | Vazão (m³/s) | Concentração Sólidos Suspensão (mg/l) |
|-----------------------|----------|------------|--------------|---------------------------------------|
| Itaocara II – Formiga | 1ª | 11/02/2011 | 245,0 | 131,30 |
| Porto do Tuta | 2ª | 22/03/2011 | 700,0 | 81,10 |
| | 3ª | 12/04/2011 | 857,0 | 73,08 |
| | 4ª | 26/04/2011 | 478,0 | 40,42 |
| | 5ª | 24/05/2011 | 314,0 | 16,49 |
| | 6ª | 25/05/2011 | 326,0 | 17,51 |
| | 7ª | 14/12/2011 | 350,0 | 74,87 |
| | 8ª | 07/02/2012 | 596,0 | 87,35 |
| Roda D'água | 9ª | 05/11/2011 | 297,0 | |
| | 10ª | 07/02/2012 | 517,0 | |
| | 11ª | 08/02/2012 | 554,0 | |
| | 12ª | 01/03/2012 | 384,0 | |
| | 13ª | 20/03/2012 | 456,0 | |
| | 14ª | 03/05/2012 | 574,0 | |

Para o cálculo da descarga sólida em suspensão em toneladas por dia, unidade utilizada para curva de descarga de sedimento, aplicou-se a equação:

$$DSS = 0,0864 * Q * CSS$$

Onde:

Q = vazão (m³/s);

CSS = concentração de sólidos em suspensão (mg/l).

Apesar de terem sido realizadas 14 campanhas, apenas 8 delas levantaram a concentração de sólidos em suspensão, dado necessário para cálculo do sedimento afluente.

Analisando os dados levantados e as curvas de tendência ajustadas por equações de potência, para os dados com e sem a incorporação dos novos levantamentos, optou-se por manter a curva-chave de sedimento estabelecida anteriormente e utilizada no “Estudo de Remanso com Fundo Móvel” (POTAMOS, 2010), visto que as novas medições (pontos azuis na Figura 3.4) não resultaram em alterações significativas na curva de descarga sólida em suspensão.

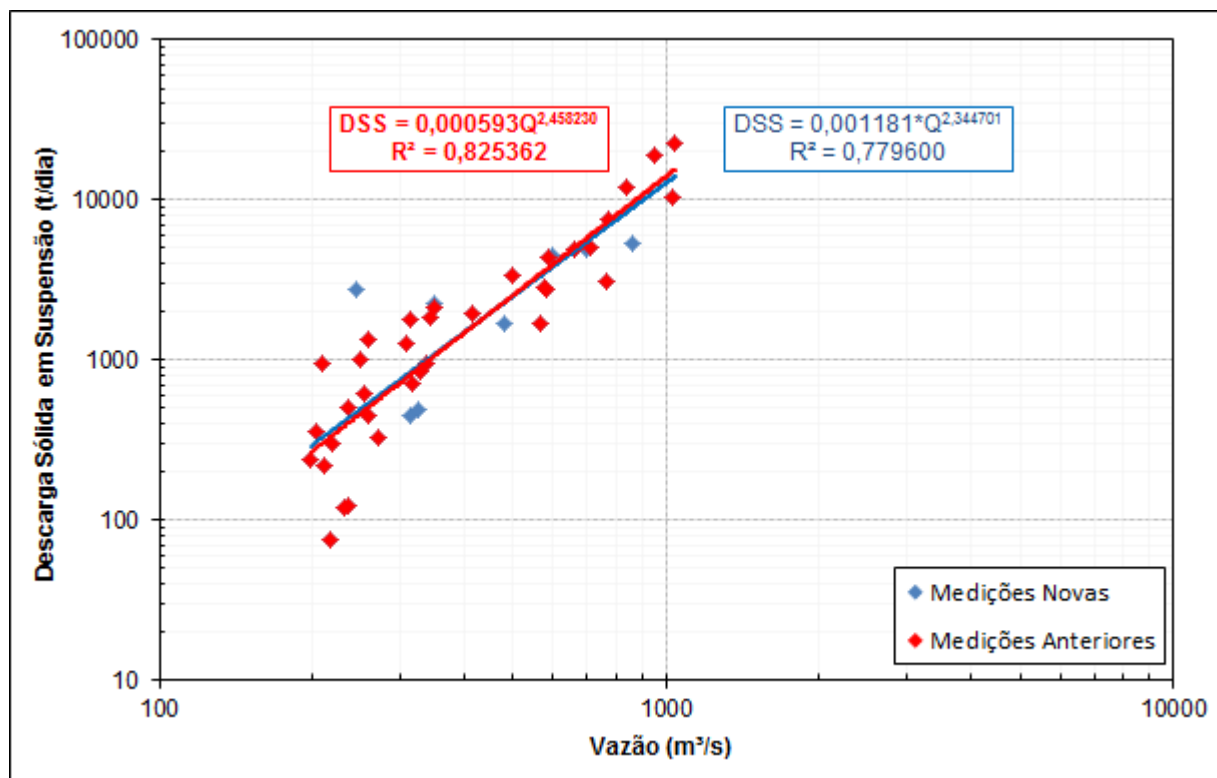


Figura 3.4 – Resumo das campanhas de medições e ajuste de tendência para descarga de sedimento em suspensão.

Para a definição da curva de descarga sólida total, obtida através da soma entre a descarga em suspensão e de arraste, adotou-se como premissa que o sedimento em arraste corresponde a uma parcela do sedimento total de 5% a 15%. Foi necessário adotar essa premissa, visto que não há dados medidos do sedimento de arraste no local devido a grande dificuldade de execução.

Cabe aqui ressaltar que a parcela de sedimento de arraste adotada no projeto básico foi de 5%. Entretanto, optou-se por realizar uma variação de até 15% para uma análise de sensibilidade dada a incerteza de tal relação. Porém, sabe-se que a descarga de sedimento de arraste no trecho de interesse do rio Paraíba do Sul é de pequena magnitude devido à retenção proporcionada por reservatórios localizados a montante, fato evidenciado pela ausência de delta de sedimento no reservatório da UHE Ilha dos Pombos e de bancos de areia nos afloramentos rochosos no leito do rio. Nas Figuras 3.5 a 3.7 são apresentadas as curvas de descarga de sedimento total para as relações de 5%, 10% e 15%, respectivamente.

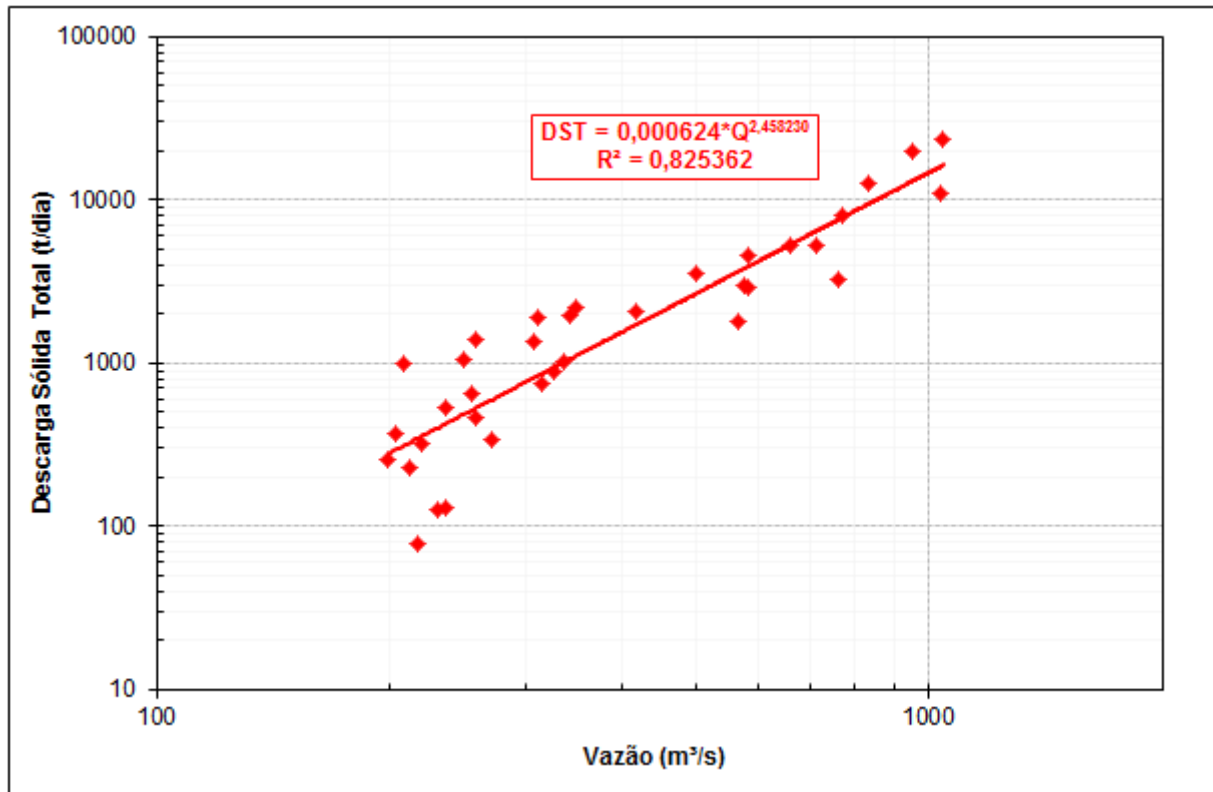


Figura 3.5 – Curva adotada para descarga de sedimento total com 5% de descarga de arraste.

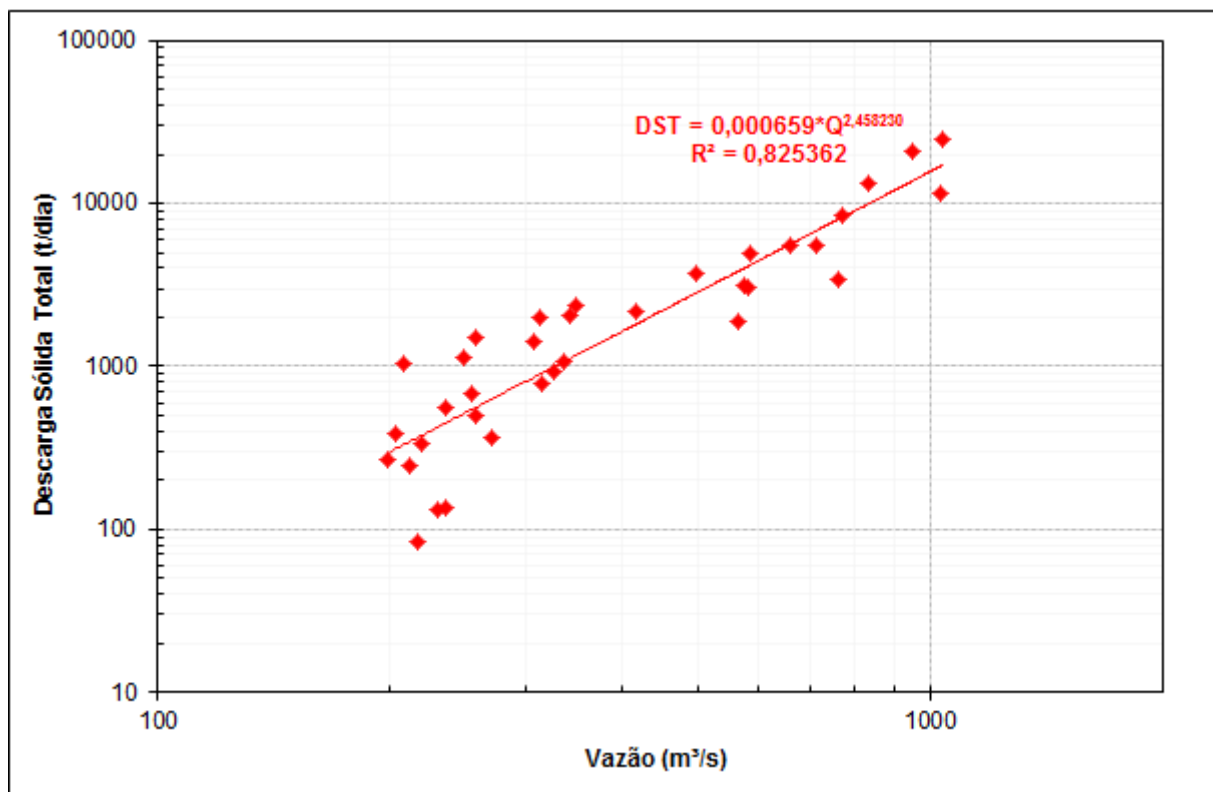


Figura 3.6 – Curva adotada para descarga de sedimento total com 10% de descarga de arraste.

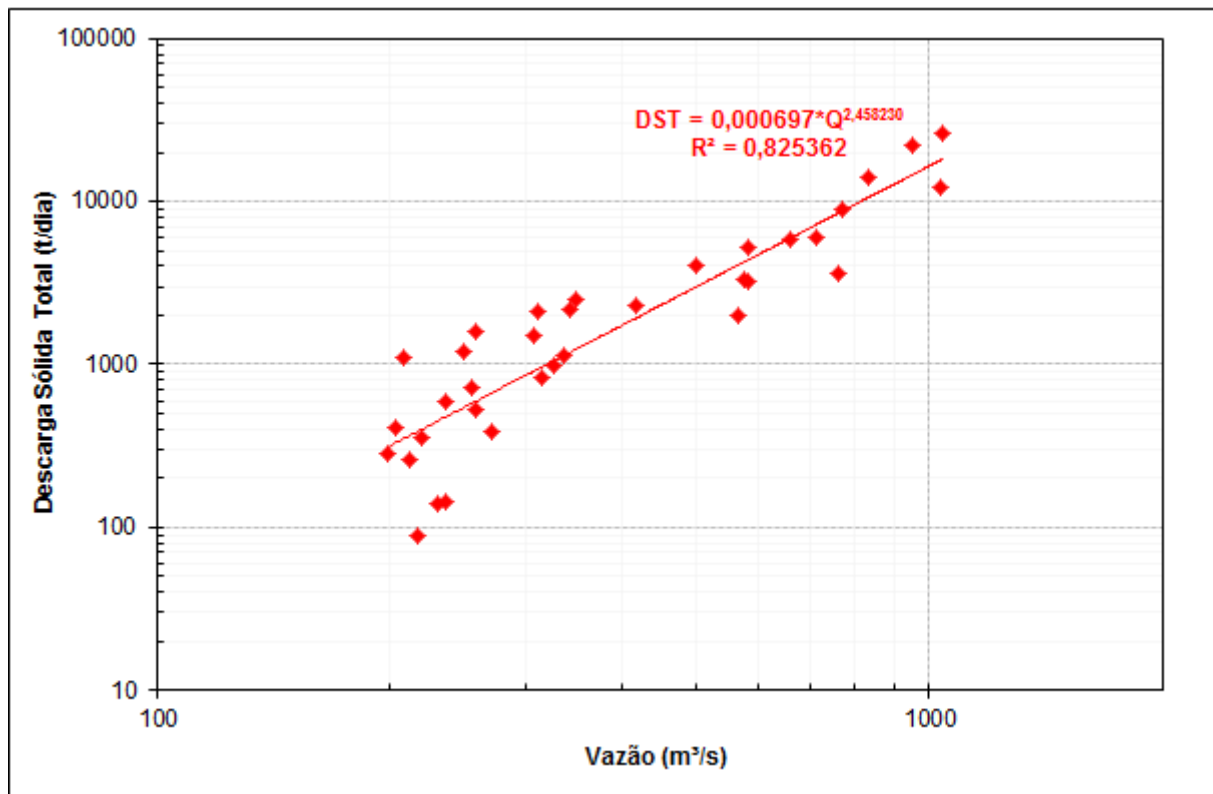


Figura 3.7 – Curva adotada para descarga de sedimento total com 15% de descarga de arraste.

3.4. Curva Granulométrica de Sedimento

Para definição das curvas granulométricas do leito e do material afluyente foram analisados os levantamentos granulométricos realizados anteriormente, apresentados no projeto básico e as novas amostras levantadas.

Na Tabela 3.5 estão apresentados os valores dos levantamentos granulométricos do fundo.

Tabela 3.5 – Resumo das Campanhas de Medições de Sedimento.

| Campanha | Data | Peneira | | ME | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | MD | Média | |
|--------------------------------|------------|---------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|---|--------|--------|-------|--------|--------|-------|
| | | Nº | mm | | | | | | | | | | | | | | |
| Itaocara II - Formiga Montante | 11/02/2011 | 3/8" | 9,52 | 100,00 | | 100,00 | | | | | | | | | 100,00 | 100,00 | |
| | | 5 | 4 | 100,00 | | 97,98 | | | | | | | | | | 100,00 | 98,99 |
| | | 10 | 2 | 100,00 | | 77,65 | | | | | | | | | | 99,82 | 88,74 |
| | | 18 | 1 | 99,70 | | 26,38 | | | | | | | | | | 99,27 | 62,83 |
| | | 35 | 0,5 | 98,22 | | 12,64 | | | | | | | | | | 97,09 | 54,87 |
| | | 60 | 0,25 | 73,76 | | 9,51 | | | | | | | | | | 76,18 | 42,85 |
| | | 120 | 0,125 | 31,19 | | 2,55 | | | | | | | | | | 33,09 | 17,82 |
| | | 230 | 0,063 | 6,73 | | 0,29 | | | | | | | | | | 9,64 | 4,97 |
| | | Fundo | | 0,00 | | 0,00 | | | | | | | | | | 0,00 | 0,00 |
| Porto do Tuta | 22/03/2011 | 3/8" | 9,52 | 100,00 | 100,00 | | | 100,00 | | | | | 74,91 | | 100,00 | 93,73 | |
| | | 5 | 4 | 100,00 | 100,00 | | | 100,00 | | | | | 62,70 | | 100,00 | 90,68 | |
| | | 10 | 2 | 99,78 | 100,00 | | | 98,60 | | | | | 51,06 | | 99,26 | 87,23 | |
| | | 18 | 1 | 99,33 | 99,45 | | | 90,53 | | | | | 37,87 | | 97,52 | 81,34 | |
| | | 35 | 0,5 | 98,20 | 69,32 | | | 51,40 | | | | | 23,32 | | 94,80 | 59,71 | |
| | | 60 | 0,25 | 81,12 | 7,71 | | | 9,78 | | | | | 5,45 | | 82,18 | 26,28 | |
| | | 120 | 0,125 | 42,25 | 0,71 | | | 2,17 | | | | | 1,19 | | 48,27 | 13,09 | |
| | | 230 | 0,063 | 16,40 | 0,16 | | | 0,47 | | | | | 0,10 | | 16,09 | 4,21 | |
| | | Fundo | | 0,00 | 0,00 | | | 0,00 | | | | | 0,00 | | 0,00 | 0,00 | |
| Porto do Tuta | 12/04/2011 | 3/8" | 9,52 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | | | 100,00 | 100,00 | 89,79 | 100,00 | 98,87 | |
| | | 5 | 4 | 99,51 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | | | 99,44 | 100,00 | 88,09 | 100,00 | 98,61 | |
| | | 10 | 2 | 99,19 | 100,00 | 100,00 | 99,58 | 99,84 | 98,87 | | | 78,00 | 100,00 | 88,09 | 98,42 | 95,87 | |
| | | 18 | 1 | 98,70 | 99,81 | 99,26 | 87,35 | 93,42 | 75,19 | | | 16,33 | 99,15 | 87,52 | 98,22 | 84,03 | |
| | | 35 | 0,5 | 97,03 | 91,50 | 63,65 | 26,69 | 56,57 | 11,06 | | | 1,95 | 84,22 | 84,52 | 96,77 | 57,44 | |
| | | 60 | 0,25 | 73,79 | 30,52 | 4,78 | 4,62 | 6,50 | 0,39 | | | 0,70 | 22,30 | 66,36 | 93,41 | 25,51 | |
| | | 120 | 0,125 | 32,50 | 4,18 | 0,53 | 0,55 | 0,56 | 0,09 | | | 0,28 | 2,85 | 15,88 | 66,69 | 10,18 | |
| | | 230 | 0,063 | 10,73 | 0,58 | 0,11 | 0,09 | 0,08 | 0,04 | | | 0,14 | 0,32 | 2,27 | 20,19 | 2,65 | |
| | | Fundo | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |

| Campanha | Data | Peneira | | ME | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | MD | Média | |
|---------------|------------|---------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | Nº | mm | | | | | | | | | | | | | | |
| Porto do Tuta | 26/04/2011 | 3/8" | 9,52 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| | | 5 | 4 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 98,79 | 100,00 | | 98,83 | 99,73 | 81,36 | 100,00 | 100,00 | 97,87 |
| | | 10 | 2 | 99,76 | 100,00 | 100,00 | 99,81 | 99,72 | 94,47 | 99,91 | | 93,46 | 99,64 | 81,36 | 99,56 | 99,56 | 96,79 |
| | | 18 | 1 | 97,59 | 99,50 | 98,91 | 93,51 | 93,67 | 56,56 | 82,88 | | 53,42 | 98,48 | 81,36 | 98,25 | 98,25 | 85,65 |
| | | 35 | 0,5 | 89,88 | 93,50 | 65,22 | 42,34 | 64,62 | 9,86 | 14,93 | | 6,64 | 72,61 | 80,51 | 95,61 | 95,61 | 54,58 |
| | | 60 | 0,25 | 63,37 | 32,00 | 11,36 | 18,60 | 30,54 | 2,65 | 5,27 | | 0,68 | 17,91 | 75,42 | 87,72 | 87,72 | 28,22 |
| | | 120 | 0,125 | 42,17 | 4,00 | 1,19 | 7,75 | 12,01 | 1,06 | 1,05 | | 0,29 | 1,97 | 46,61 | 51,10 | 51,10 | 12,70 |
| | | 230 | 0,063 | 22,17 | 0,50 | 0,10 | 1,26 | 2,42 | 0,15 | 0,09 | | 0,10 | 0,27 | 16,10 | 24,56 | 24,56 | 4,56 |
| | | Fundo | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Porto do Tuta | 24/05/2011 | 3/8" | 9,52 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | | 99,63 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 99,96 |
| | | 5 | 4 | 100,00 | 67,24 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 99,61 | 100,00 | | 98,41 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 96,53 |
| | | 10 | 2 | 99,10 | 63,79 | 100,00 | 99,88 | 99,75 | 96,52 | 100,00 | | 86,90 | 99,72 | 99,19 | 99,76 | 99,76 | 94,55 |
| | | 18 | 1 | 95,03 | 62,07 | 96,82 | 90,64 | 99,75 | 60,60 | 97,94 | | 37,79 | 98,72 | 98,10 | 99,28 | 99,28 | 84,17 |
| | | 35 | 0,5 | 76,98 | 56,03 | 39,56 | 44,95 | 96,95 | 12,00 | 32,65 | | 2,71 | 85,25 | 97,02 | 97,60 | 97,60 | 56,47 |
| | | 60 | 0,25 | 43,12 | 31,90 | 2,90 | 14,78 | 82,99 | 2,52 | 8,93 | | 0,37 | 24,82 | 92,14 | 91,13 | 91,13 | 35,25 |
| | | 120 | 0,125 | 22,35 | 6,90 | 0,36 | 3,20 | 42,13 | 0,39 | 1,37 | | 0,09 | 1,70 | | 53,24 | 53,24 | 12,15 |
| | | 230 | 0,063 | 10,38 | 0,86 | 0,09 | 0,37 | 9,64 | 0,10 | 0,34 | | 0,00 | 0,28 | | 22,06 | 22,06 | 3,75 |
| | | Fundo | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Porto do Tuta | 25/05/2011 | 3/8" | 9,52 | 100,00 | 97,31 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | | | 100,00 | 100,00 | 98,60 | 100,00 | 100,00 | 99,55 |
| | | 5 | 4 | 100,00 | 85,56 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 99,83 | | | 99,14 | 100,00 | 98,60 | 100,00 | 100,00 | 98,13 |
| | | 10 | 2 | 99,42 | 84,85 | 99,89 | 99,89 | 99,78 | 98,26 | | | 89,93 | 99,87 | 97,90 | 99,34 | 99,34 | 96,63 |
| | | 18 | 1 | 98,46 | 82,71 | 97,46 | 92,68 | 98,01 | 65,85 | | | 38,06 | 98,66 | 96,50 | 96,47 | 96,47 | 85,16 |
| | | 35 | 0,5 | 97,30 | 63,80 | 46,58 | 44,78 | 87,17 | 12,06 | | | 3,02 | 85,62 | 95,33 | 91,39 | 91,39 | 58,86 |
| | | 60 | 0,25 | 80,35 | 11,90 | 3,75 | 12,70 | 62,17 | 2,44 | | | 0,94 | 28,31 | 81,78 | 69,76 | 69,76 | 30,42 |
| | | 120 | 0,125 | 29,87 | 0,86 | 0,33 | 2,15 | 29,87 | 0,70 | | | 0,29 | 3,45 | 47,66 | 42,16 | 42,16 | 14,16 |
| | | 230 | 0,063 | 4,62 | 0,10 | 0,11 | 0,22 | 7,08 | 0,04 | | | 0,08 | 0,38 | 20,09 | 17,00 | 17,00 | 5,01 |
| | | Fundo | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

| Campanha | Data | Peneira | | ME | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | MD | Média |
|---------------|------------|---------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---|---|---|---|----|--------|--------|
| | | Nº | mm | | | | | | | | | | | | | |
| Porto do Tuta | 14/12/2011 | 3/8" | 9,52 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | | | | | | 100,00 | 100,00 |
| | | 5 | 4 | 98,49 | 99,74 | 99,10 | 100,00 | 99,75 | 100,00 | | | | | | 100,00 | 99,77 |
| | | 10 | 2 | 95,14 | 99,41 | 98,28 | 99,42 | 99,32 | 99,69 | | | | | | 98,77 | 99,15 |
| | | 18 | 1 | 88,11 | 91,47 | 96,15 | 97,01 | 96,28 | 99,14 | | | | | | 97,78 | 96,31 |
| | | 35 | 0,5 | 71,69 | 16,54 | 57,21 | 57,96 | 56,84 | 74,45 | | | | | | 96,06 | 59,84 |
| | | 60 | 0,25 | 43,55 | 0,98 | 6,89 | 6,65 | 6,76 | 7,32 | | | | | | 91,62 | 20,04 |
| | | 120 | 0,125 | 22,61 | 0,26 | 0,82 | 0,68 | 1,10 | 0,93 | | | | | | 55,71 | 9,92 |
| | | 230 | 0,063 | 8,04 | 0,07 | 0,25 | 0,19 | 0,25 | 0,23 | | | | | | 26,37 | 4,56 |
| | | Fundo | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | | | | 0,00 | 0,00 |
| Porto do Tuta | 07/02/2012 | 3/8" | 9,52 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | | | | | | | | | 100,00 | 100,00 |
| | | 5 | 4 | 100,00 | 100,00 | 97,77 | | | | | | | | | 100,00 | 99,26 |
| | | 10 | 2 | 100,00 | 99,64 | 93,54 | | | | | | | | | 99,55 | 97,58 |
| | | 18 | 1 | 98,55 | 91,07 | 64,63 | | | | | | | | | 98,44 | 84,71 |
| | | 35 | 0,5 | 93,95 | 29,40 | 17,14 | | | | | | | | | 96,43 | 47,66 |
| | | 60 | 0,25 | 66,59 | 12,53 | 6,23 | | | | | | | | | 84,15 | 34,30 |
| | | 120 | 0,125 | 37,53 | 3,97 | 1,37 | | | | | | | | | 44,42 | 16,59 |
| | | 230 | 0,063 | 17,43 | 0,36 | 0,17 | | | | | | | | | 16,29 | 5,61 |
| | | Fundo | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | | | | | | | 0,00 | 0,00 |

*ME= Margem Esquerda, MD= Margem Direita

Na Figura 3.8 estão apresentadas as curvas granulométricas do leito utilizadas no projeto básico e a curva obtida pela média das medianas das novas campanhas.

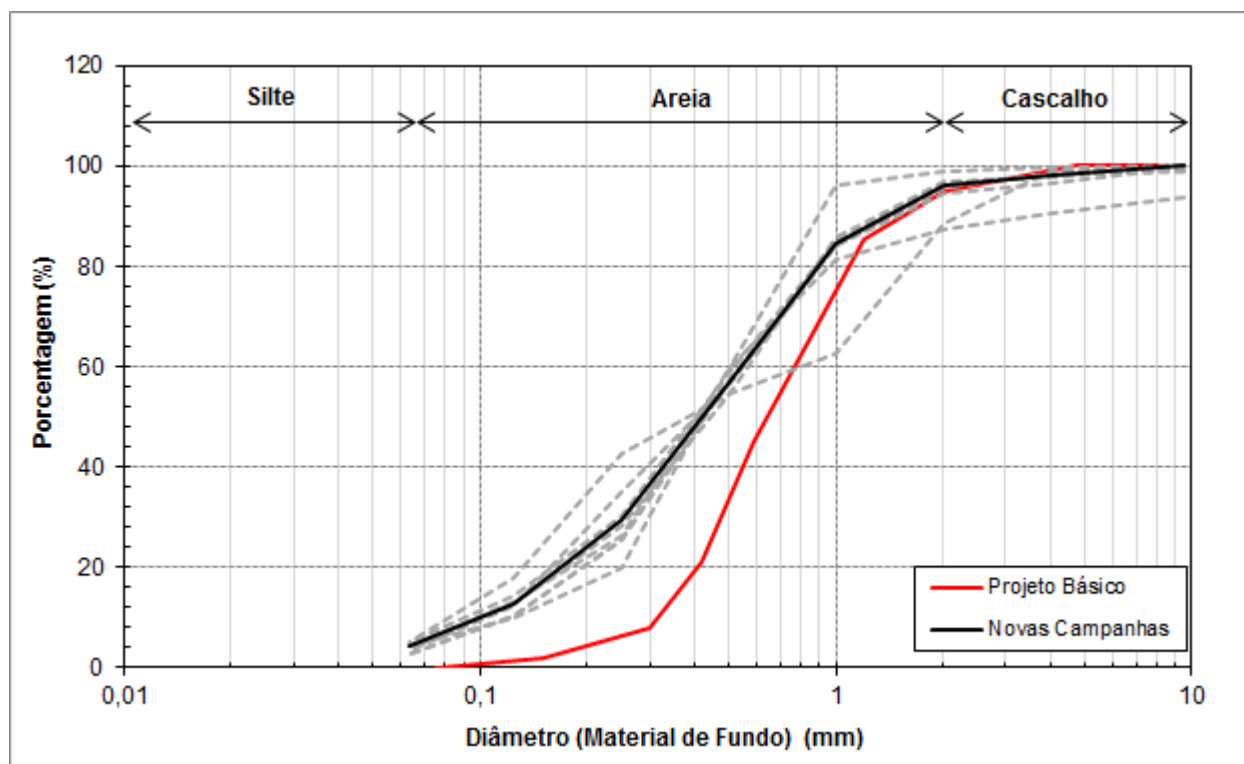


Figura 3.8 – Curva granulométrica de fundo apresentada no projeto básico e os valores das novas campanhas.

Optou-se por utilizar a curva granulométrica relativa às novas campanhas ao invés da curva do projeto básico, pois foram identificados materiais mais finos (areia de menor granulometria) nas novas campanhas.

Nas campanhas de medições de sedimento não foi levantada a curva de granulometria em suspensão por não ter sido possível levantar em campo um volume de sedimento necessário para a sua definição. Dessa forma, adotou-se os mesmos valores da estação ANTA – 58630002, também localizada no Paraíba do Sul, apresentados na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Distribuição granulométrica adotada.

| Material | Argila (%) | Silte (%) | Areia (%) |
|-----------------------|------------|-----------|-----------|
| Material em Suspensão | 35,32 | 62,94 | 1,74 |

Fonte: Avaliação da Vida Útil do Reservatório de Anta – DEC.T.068.95 – FURNAS – Dez/95

Para a definição da curva granulométrica afluente, composta pela granulometria de suspensão e a granulometria do sedimento de arraste (leito) adotou-se como critério a mesma relação entre a descarga de arraste e a total, ou seja, 5% a 15%. Dessa forma, foram obtidas 3 curvas granulométricas afluentes, apresentadas na Figura 3.9.

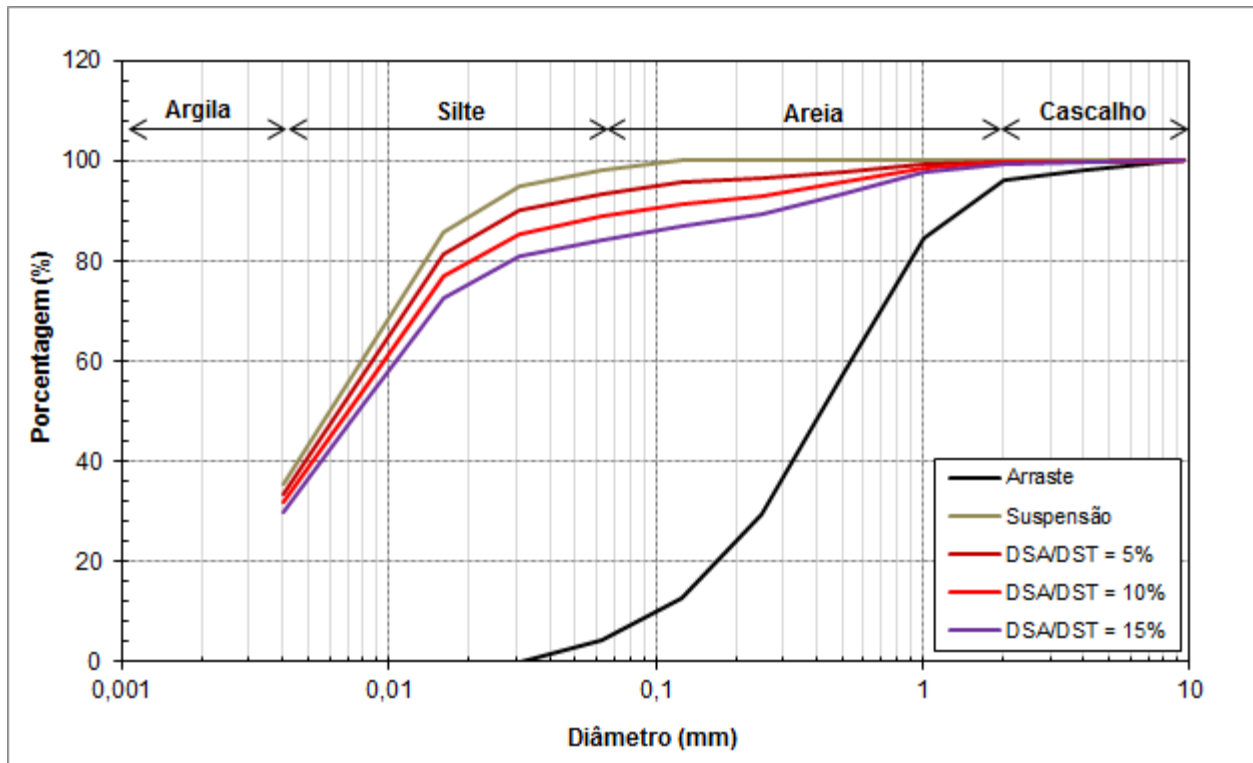


Figura 3.9 – Curvas granulométricas utilizadas.

4. METODOLOGIA

Definidos os critérios e premissas, expostos no Capítulo 3, segue abaixo a descrição da metodologia adotada para a definição das curvas guias de operação do reservatório e a avaliação do perfil de deposição de sedimento ao longo do tempo.

Inicialmente, definiu-se a etapa preliminar ao estudo com a simulação no *software* HEC-6 sem a presença do barramento. Essa análise teve como objetivo avaliar a condição de equilíbrio do curso de água natural, evidenciando a coerência na definição da curva de descarga de sedimento e na sua granulometria. Para esse cenário foram utilizadas todas as 48 seções topobatimétricas apresentadas na Tabela 3.2, que correspondem ao trecho entre o Posto Itaocara Jusante e a Seção 02-A, localizada a montante do eixo Itaocara II. A condição de contorno adotada foi a curva-chave do Posto Itaocara Jusante, apresentada no Projeto Básico.

A primeira etapa, propriamente dita, se deu com a definição da **curva guia de operação com o perfil de fundo atual** das seções levantadas. Nessa avaliação e nas seguintes, foram utilizadas 41 seções topobatimétricas, sendo a seção mais de jusante a que representa o eixo de Itaocara I (Seção S-22) e a seção mais de montante a Seção 02-A. A condição de contorno foi definida como o nível de operação do reservatório de tal forma que o nível de água alcançado em São Sebastião do Paraíba respeitasse o nível de restrição imposto. O resultado dessa etapa foi a obtenção de 3 curvas guias, apresentadas no Capítulo 5, sendo a primeira para o nível de restrição de 92,0 m, a segunda para 92,50 m e a terceira para 92,80 m.

A segunda etapa consistiu na obtenção dos **perfis de deposição de sedimento para 10 e 30 anos operando com as curvas guias** do reservatório obtidas na primeira etapa. Nessa segunda etapa, para cada curva guia de operação, variou-se a relação entre a descarga sólida de arraste e a descarga sólida total em (i) 5%, (ii) 10% e (iii) 15%, assim como a respectiva curva granulométrica apresentada na Figura 3.8 e 3.9. Durante a realização dessa etapa a CEMIG optou por substituir a curva guia com restrição de nível na cota 92,80 m por uma regra otimizada. Essa regra será descrita no Capítulo 5. Portanto, o resultado dessa etapa foi a obtenção de 3 perfis de deposição de sedimentos para cada curva guia.

A terceira etapa teve como objetivo a definição das **curvas guias de operação para o perfil de deposição de 10 e 30 anos de operação**. Para essa avaliação as seções resultantes de cada cenário da segunda etapa foram inseridas no modelo HEC-RAS e avaliou-se o nível de operação no reservatório necessário para respeitar o nível de água de restrição imposto em São Sebastião do Paraíba.

5. RESULTADOS

O resultado da etapa preliminar, sem a presença do barramento, não apresentou deposição de sedimento que altere o nível de água no trecho avaliado. Assim conclui-se que todas as curvas de descarga de sedimentos afluentes e as granulometrias definidas são coerentes com a realidade de equilíbrio do curso de água. A Figura 5.1 apresenta os perfis resultantes após 30 anos de operação de reservatório para as 3 relações de descarga de arraste avaliadas.

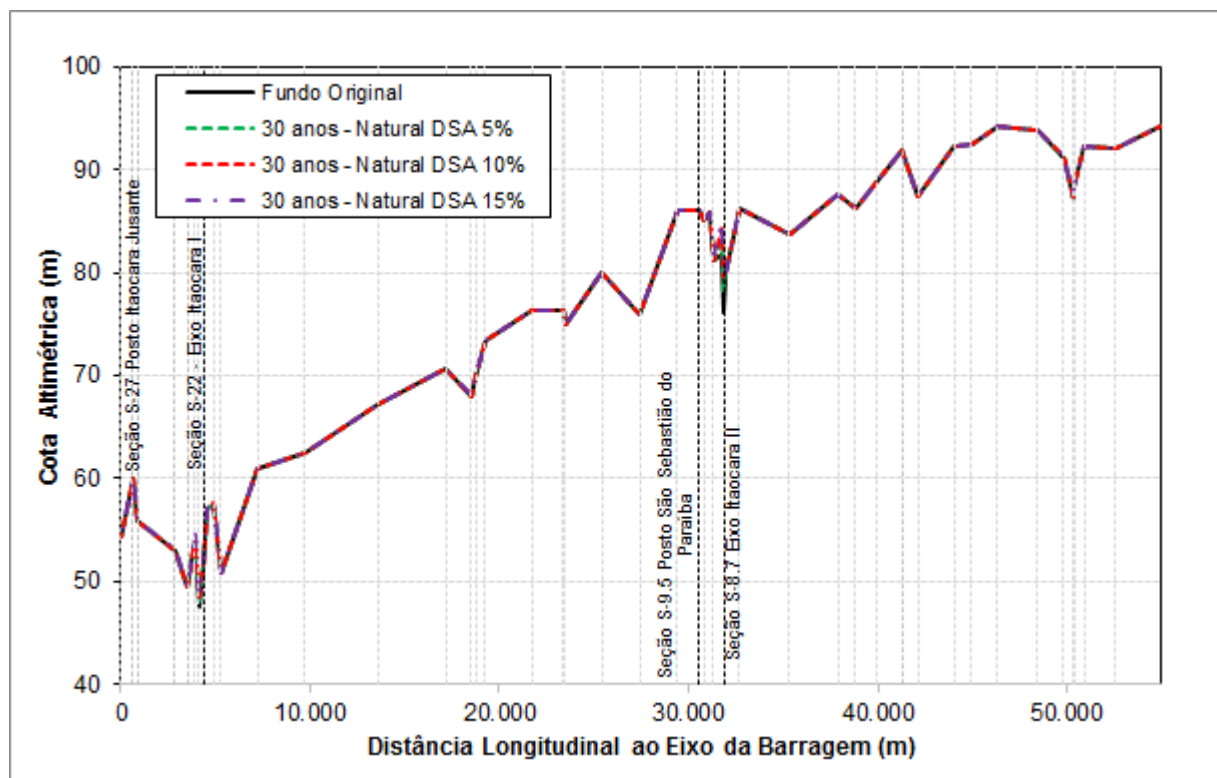


Figura 5.1 – Perfil de deposição para a condição natural sem a presença de barramento para a relação de descarga de sedimento de arraste de 5%, 10% e 15% da descarga total.

Na Figura 5.2 e na Tabela 5.1 estão apresentadas as curvas guias para o perfil original com a restrição de 92,00 m, 92,50 m, 92,80 m bem como a curva otimizada para as vazões da curva de permanência e dos quantis de referência, resultado da primeira etapa descrita no Capítulo 4 – Metodologia.

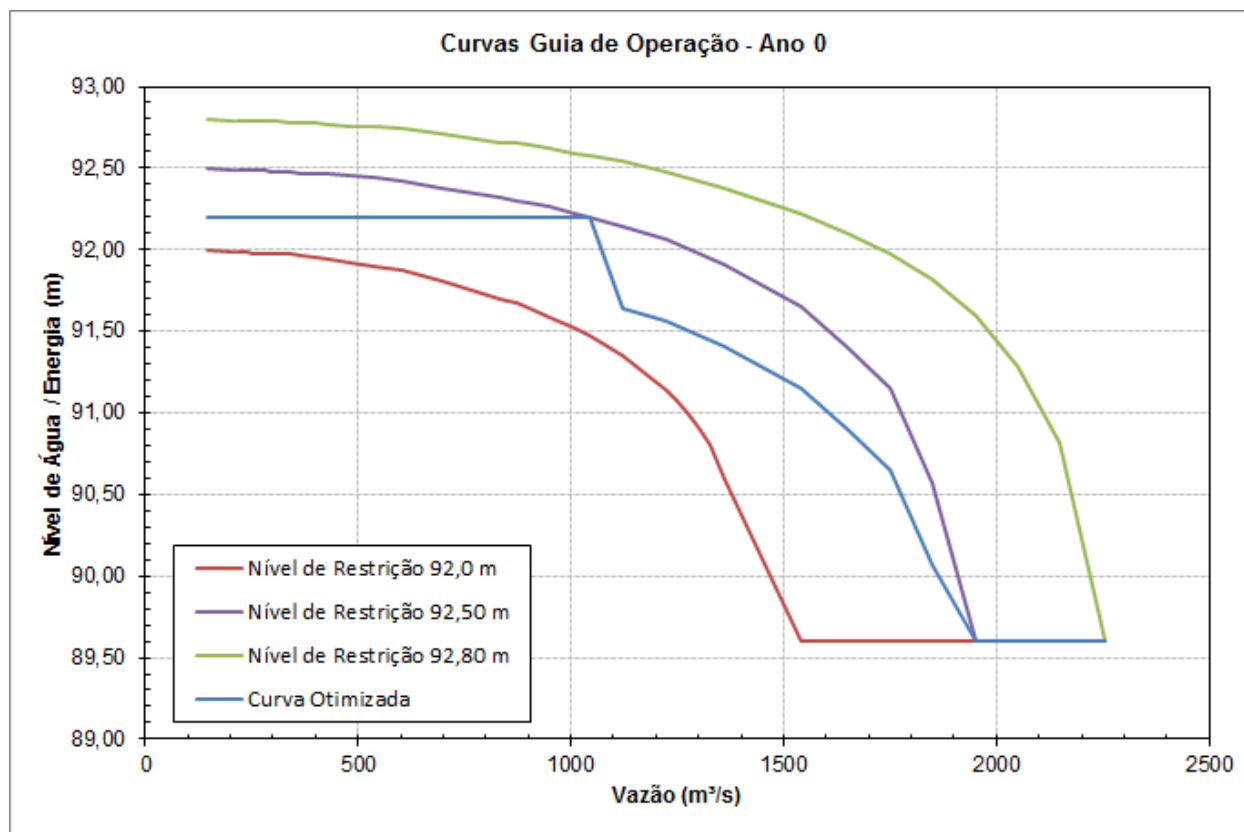


Figura 5.2 – Curvas guias para o nível de restrição em São Sebastião do Paraíba e curva Otimizada.

Tabela 5.1 – Curvas Guias iniciais de Operação para Itaocara I.

| Descrição | Vazão (m³/s) | Nível de Água (m) | | | |
|------------------|--------------|--------------------|---------------------|-----------------|---------------------|
| | | Restrição 92,0 (m) | Restrição 92,50 (m) | Curva Otimizada | Restrição 92,80 (m) |
| Q ₁₀₀ | 146 | 92,00 | 92,50 | 92,20 | 92,80 |
| Q ₉₅ | 207 | 91,99 | 92,49 | 92,20 | 92,79 |
| Q ₉₀ | 219 | 91,99 | 92,49 | 92,20 | 92,79 |
| Q ₈₅ | 232 | 91,99 | 92,49 | 92,20 | 92,79 |
| Q ₈₀ | 241 | 91,99 | 92,49 | 92,20 | 92,79 |
| Q ₇₅ | 255 | 91,98 | 92,49 | 92,20 | 92,79 |
| Q ₇₀ | 268 | 91,98 | 92,49 | 92,20 | 92,79 |
| Q ₆₅ | 281 | 91,98 | 92,49 | 92,20 | 92,79 |
| Q ₆₀ | 295 | 91,98 | 92,48 | 92,20 | 92,79 |
| Q ₅₅ | 312 | 91,97 | 92,48 | 92,20 | 92,79 |
| Q ₅₀ | 342 | 91,97 | 92,48 | 92,20 | 92,78 |
| Q ₄₅ | 369 | 91,96 | 92,47 | 92,20 | 92,78 |
| Q ₄₀ | 404 | 91,95 | 92,47 | 92,20 | 92,78 |
| Q ₃₅ | 431 | 91,94 | 92,46 | 92,20 | 92,77 |
| Q ₃₀ | 486 | 91,92 | 92,45 | 92,20 | 92,76 |
| Q ₂₅ | 541 | 91,90 | 92,44 | 92,20 | 92,75 |
| Q ₂₀ | 604 | 91,87 | 92,42 | 92,20 | 92,74 |
| Q ₁₅ | 696 | 91,81 | 92,38 | 92,20 | 92,71 |
| Q ₁₀ | 837 | 91,70 | 92,32 | 92,20 | 92,66 |
| Q ₉ | 872 | 91,67 | 92,30 | 92,20 | 92,65 |
| Q ₈ | 905 | 91,64 | 92,29 | 92,20 | 92,64 |
| Q ₇ | 949 | 91,59 | 92,26 | 92,20 | 92,62 |
| Q ₆ | 1011 | 91,52 | 92,22 | 92,20 | 92,59 |
| Q ₅ | 1046 | 91,47 | 92,20 | 92,20 | 92,58 |
| Q ₄ | 1123 | 91,35 | 92,14 | 91,64 | 92,54 |
| Q ₃ | 1223 | 91,14 | 92,06 | 91,56 | 92,48 |
| Q ₂ | 1362 | 90,59 | 91,91 | 91,41 | 92,38 |
| Q ₁ | 1541 | 89,60 | 91,65 | 91,15 | 92,22 |
| 1650 | 1650 | 89,60 | 91,39 | 90,89 | 92,10 |
| 1750 | 1750 | 89,60 | 91,15 | 90,65 | 91,97 |
| 1850 | 1850 | 89,60 | 90,57 | 90,07 | 91,82 |
| 1950 | 1950 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 91,60 |
| 2050 | 2050 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 91,28 |
| 2150 | 2150 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 90,81 |
| Q ₀ | 2255 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 |
| TR ₂ | 2305 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 |
| TR ₅ | 3231 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 |
| TR ₁₀ | 3844 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 |
| TR ₂₅ | 4619 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 |

| Descrição | Vazão (m³/s) | Nível de Água (m) | | | |
|----------------------|--------------|--------------------|---------------------|-----------------|---------------------|
| | | Restrição 92,0 (m) | Restrição 92,50 (m) | Curva Otimizada | Restrição 92,80 (m) |
| TR ₅₀ | 5194 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 |
| TR ₁₀₀ | 5764 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 |
| TR ₂₀₀ | 6332 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 |
| TR ₅₀₀ | 7082 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 |
| TR ₁₀₀₀ | 7649 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 |
| TR _{10.000} | 9530 | 91,81* | 91,81* | 91,81* | 91,81* |

*NA Máx. Maximorum

Analisando a Figura 5.2 e a Tabela 5.1 para a curva guia obtida com nível de restrição de 92,00 m em São Sebastião do Paraíba, observa-se que para vazões acima de 1500 m³/s o reservatório terá que operar com nível constante de 89,60 m, correspondente ao NA máximo normal. Para os níveis de restrição de 92,50 m e 92,80 m as vazões são respectivamente de 1950 m³/s e 2255 m³/s.

A curva guia otimizada, definida juntamente com a CEMIG, foi obtida a partir da curva com nível de restrição na cota altimétrica 92,50 m. Para vazões superiores a 1046 m³/s, vazão com nível de permanência de 5% (Q₅), o nível de operação no eixo foi calculado subtraindo-se 0,50 m do nível da regra 92,50 m até a vazão de 1950 m³/s, a partir da qual o nível de operação na barragem deve ser o NA máximo normal de 89,60 m. Para vazões inferiores à Q₅ o nível na barragem foi mantido constante na cota 92,20 m.

As curvas guias com restrição de 92,00 m, 92,50 m e a otimizada foram incorporadas no HEC-6 para simular a operação do reservatório e obter os perfis de deposição após 10 e 30 anos de operação, conforme etapa três descrita no Capítulo 4. Nas Figuras 5.3 a 5.11 são apresentados os perfis de deposição de sedimento no trecho avaliado para cada condição de operação e relação sedimentométrica adotada.

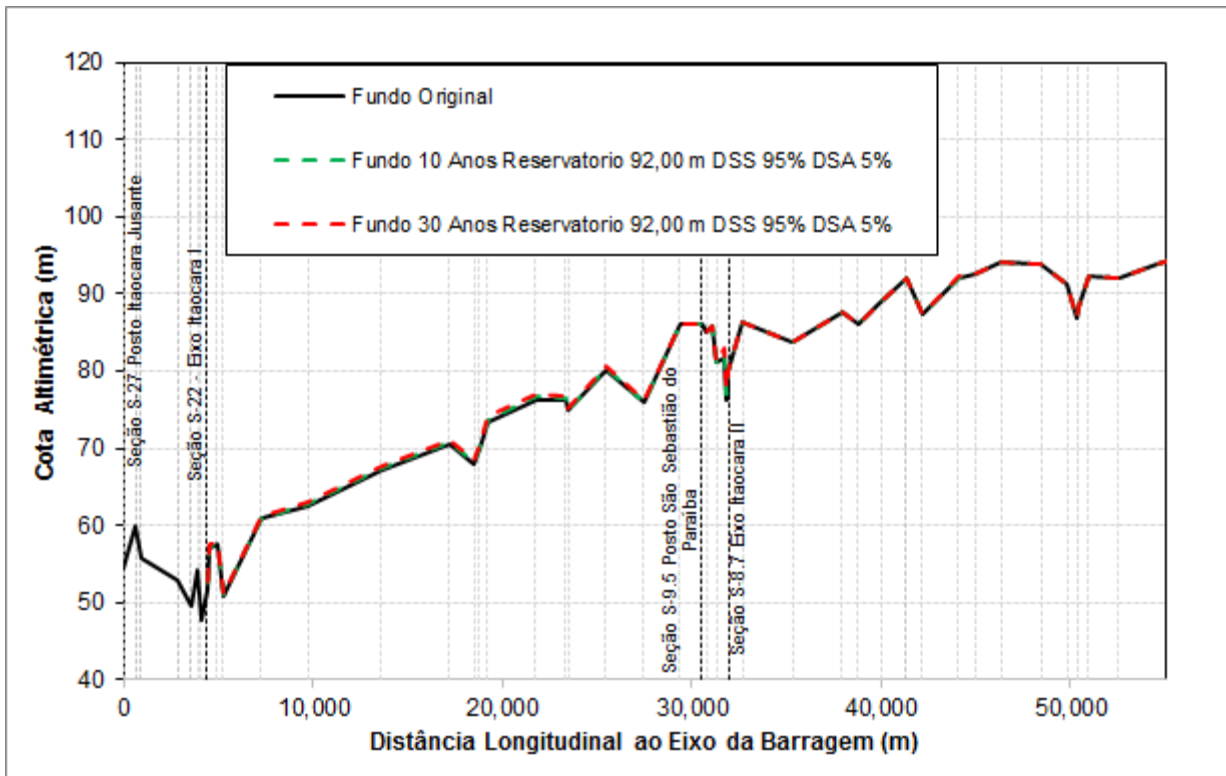


Figura 5.3 – Perfil de fundo para curva guia 92,0 m e 5% DSA.

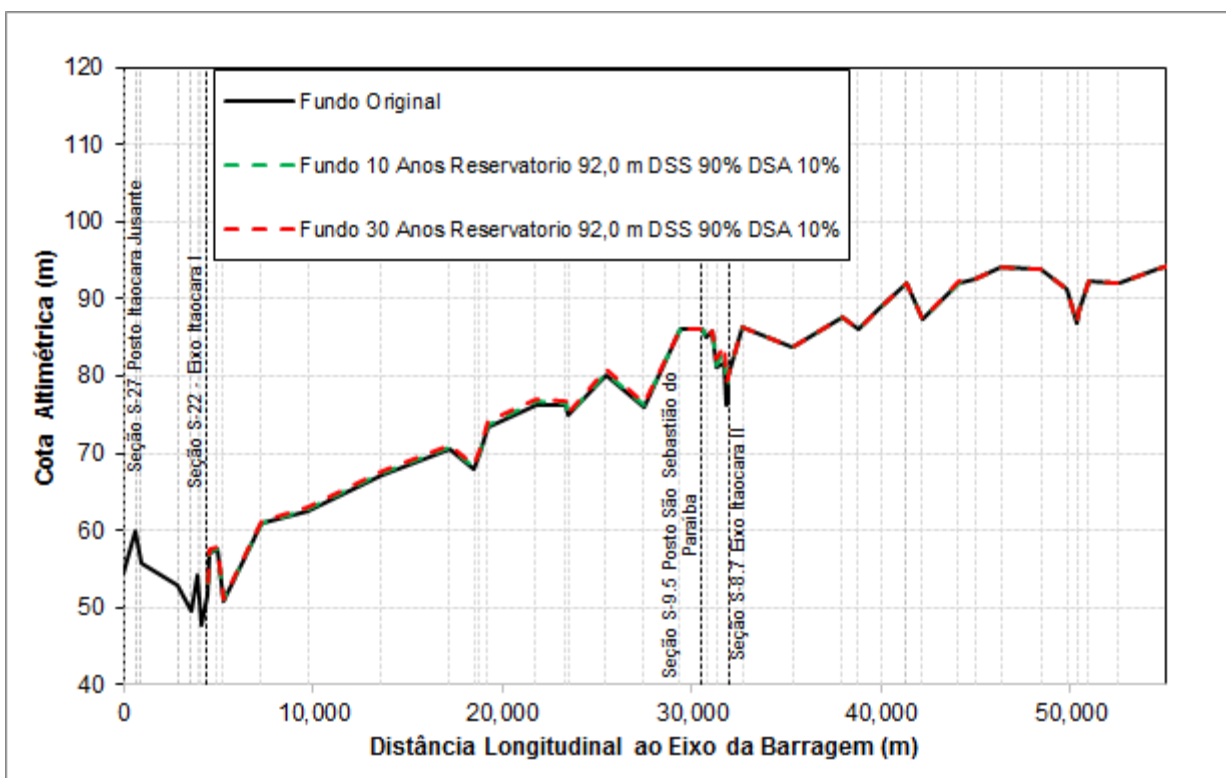


Figura 5.4 – Perfil de fundo para curva guia 92,0 m e 10% DSA.

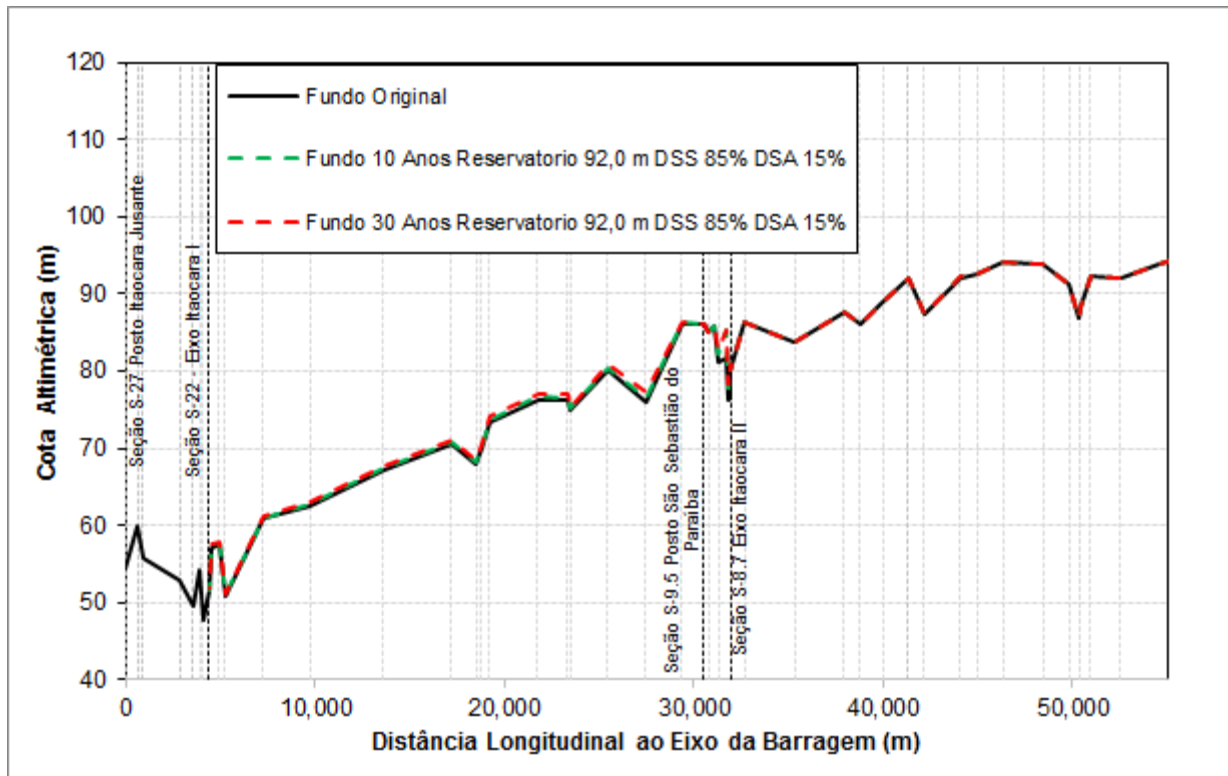


Figura 5.5 – Perfil de fundo para curva guia 92,0 m e 15% DSA.

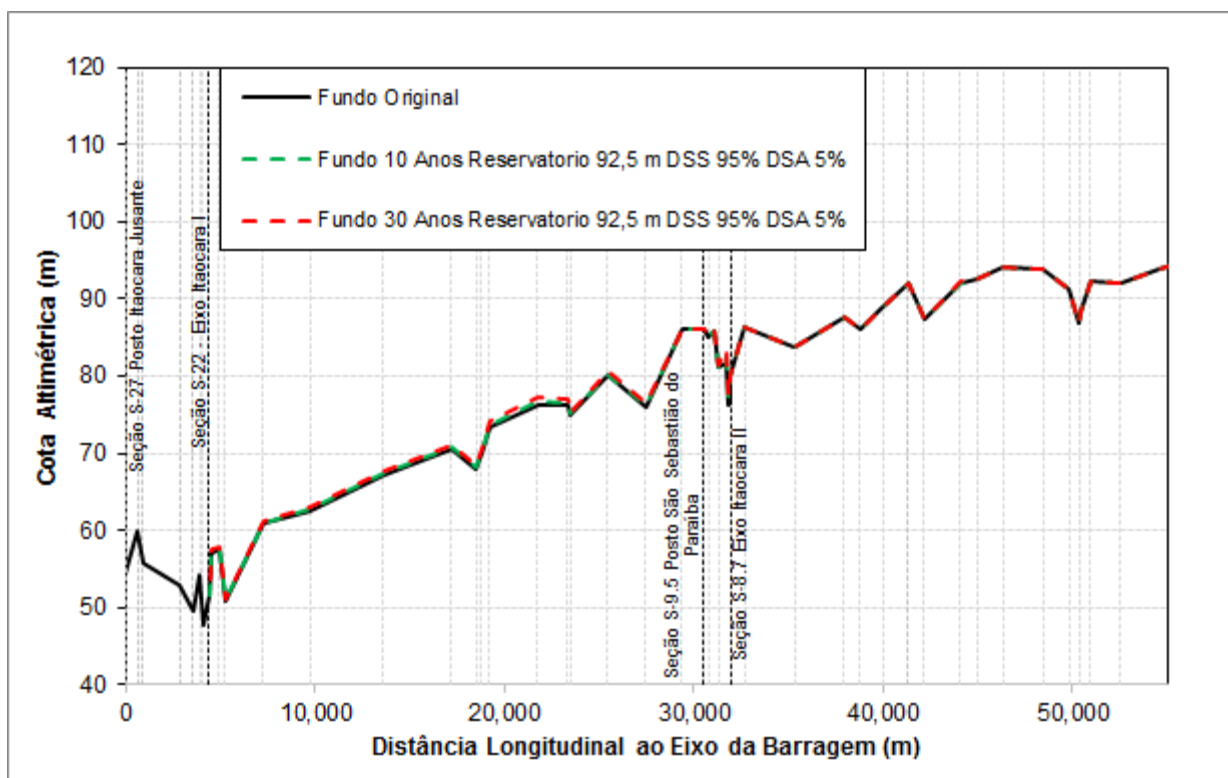


Figura 5.6 – Perfil de fundo para curva guia 92,50 m e 5% DSA.

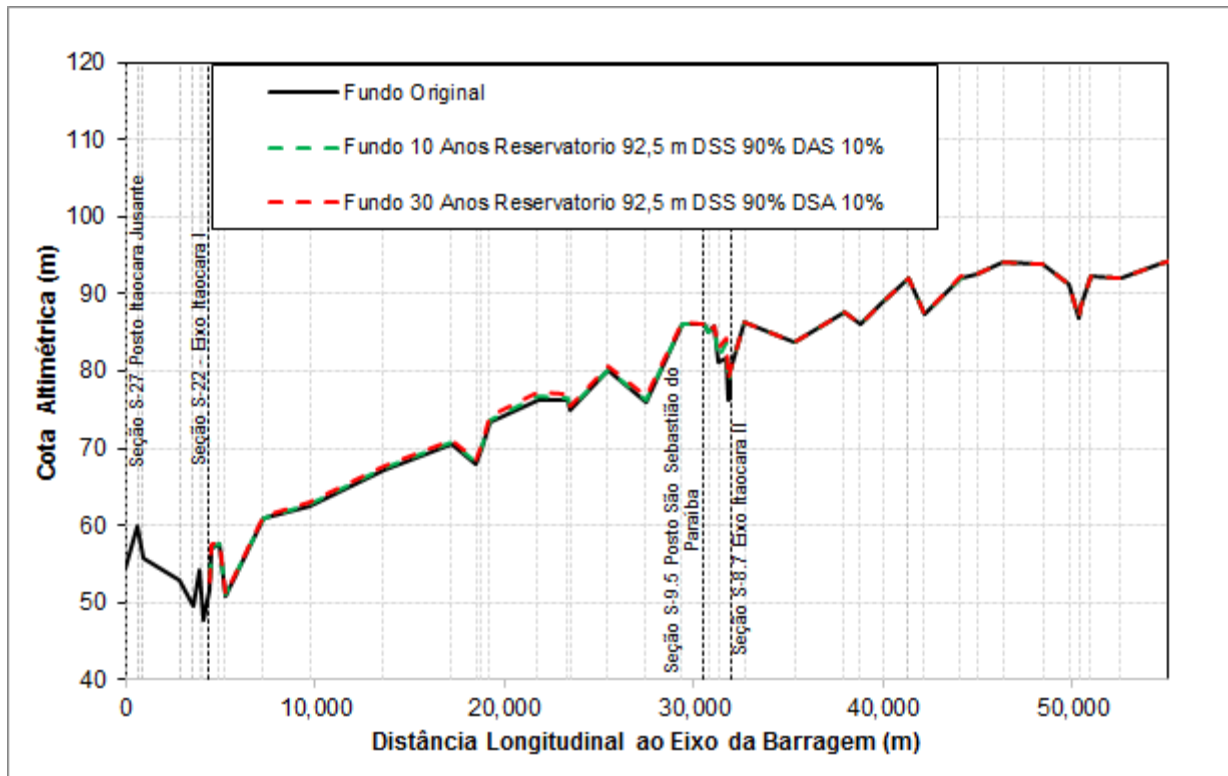


Figura 5.7 – Perfil de fundo para curva guia 92,50 m e 10% DSA.

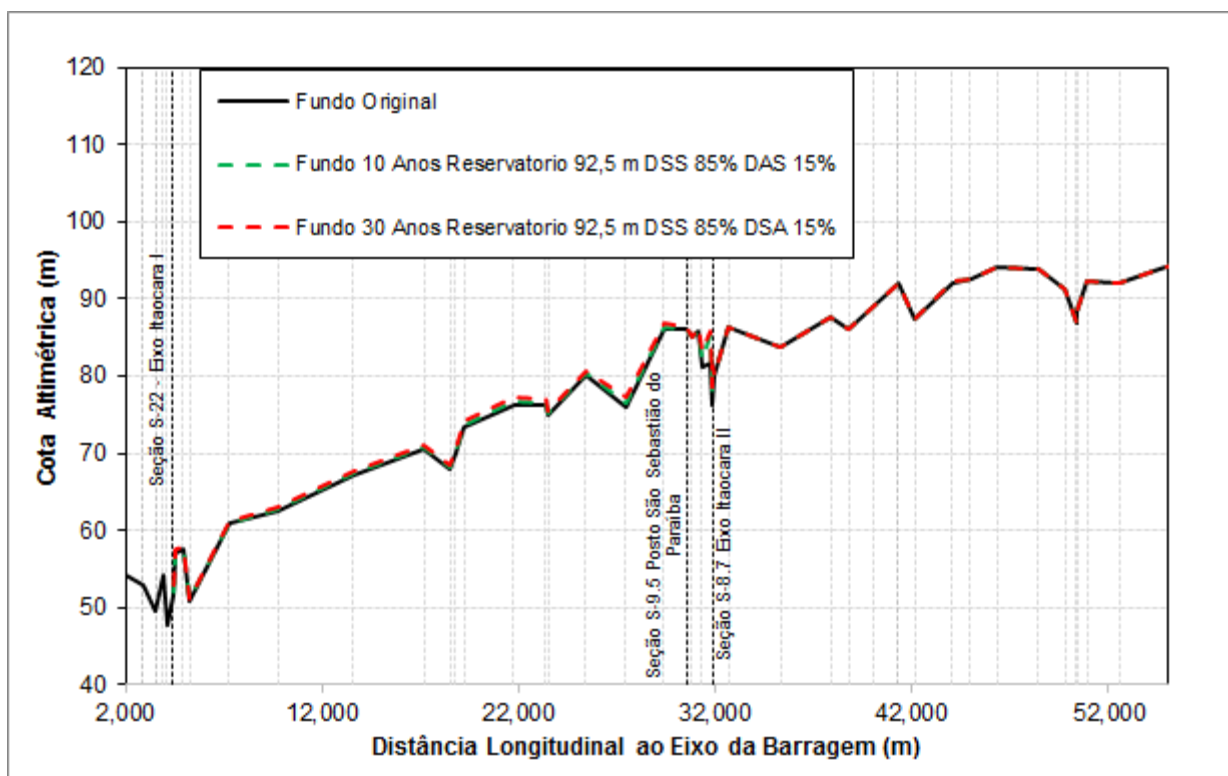


Figura 5.8 – Perfil de fundo para curva guia 92,50 m e 15% DSA.

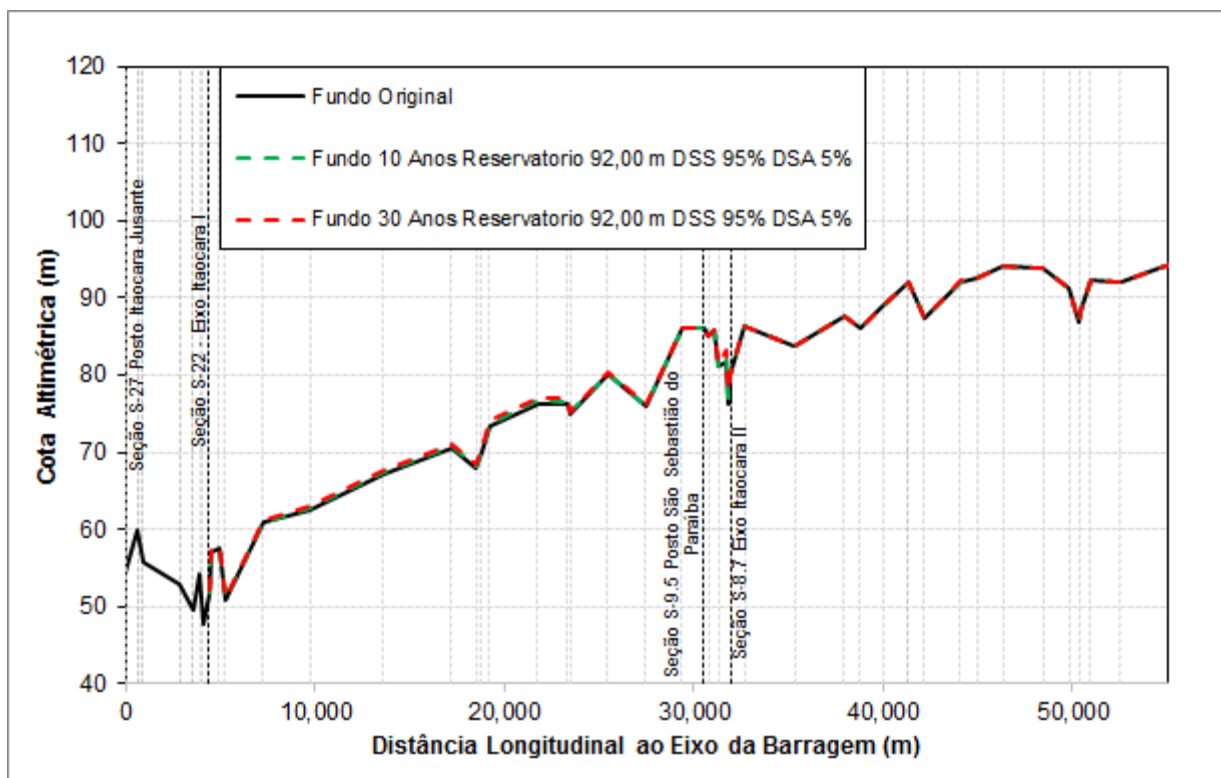


Figura 5.9 – Perfil de fundo para curva guia 92,50 m Otimizada e 5% DSA.

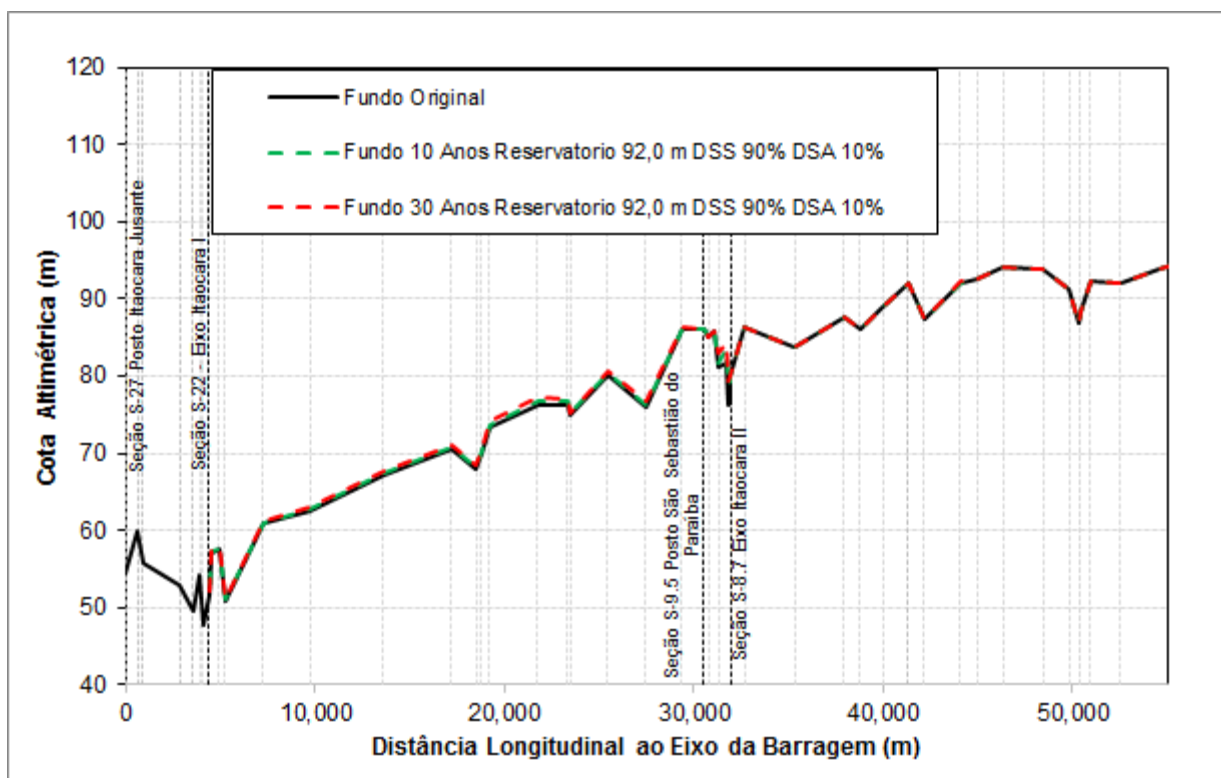


Figura 5.10 – Perfil de fundo para curva guia 92,50 m Otimizada e 10% DSA.

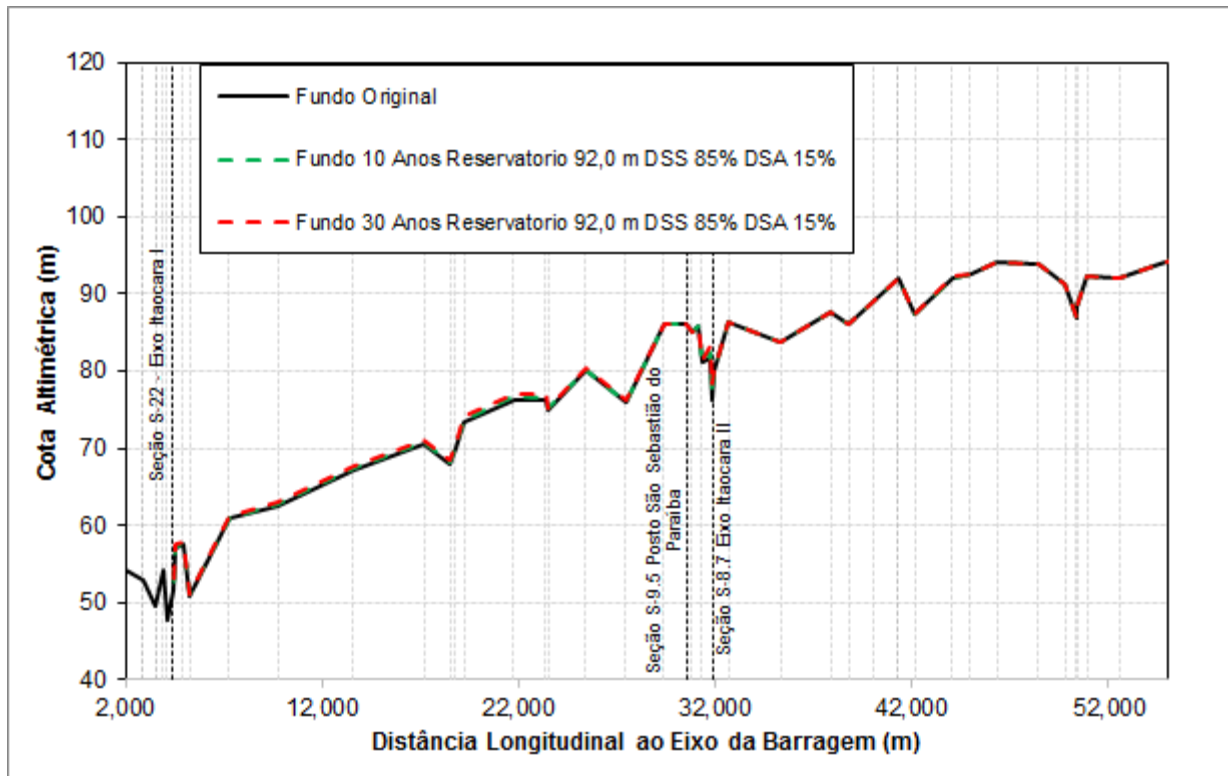


Figura 5.11 – Perfil de fundo para curva guia 92,50 m Otimizada e 15% DSA.

É de suma importância avaliar o impacto da operação da usina no nível de água em São Sebastião do Paraíba, que pode ser alterado ao longo do tempo devido a depósitos de sedimentos no leito provocados pelo reservatório.

No cenário de nível de restrição de 92,50 m, o escoamento natural, ou seja, sem a presença da barragem, excede o nível de restrição apenas para vazões iguais ou superiores à 1541 m³/s, vazão essa observada em apenas 1% do tempo (Q₁). Para vazões inferiores, a cota permanece abaixo ou igual à elevação 92,50 m que, considerando as desapropriações previstas, não provocam danos. Portanto, conclui-se que, para vazões inferiores a 1500 m³/s, a barragem não impacta a comunidade de São Sebastião do Paraíba.

As Figuras 5.12 e 5.13 apresentam, respectivamente, as curvas-chaves e a diferença do nível de água para a seção em São Sebastião do Paraíba para vazões superiores a 1500 m³/s com uma relação sedimentométrica de 5% de DSA, para a condição de fundo atual (ano 0) e após 10 e 30 anos operando com a curva guia de operação 92,50 m Otimizada.

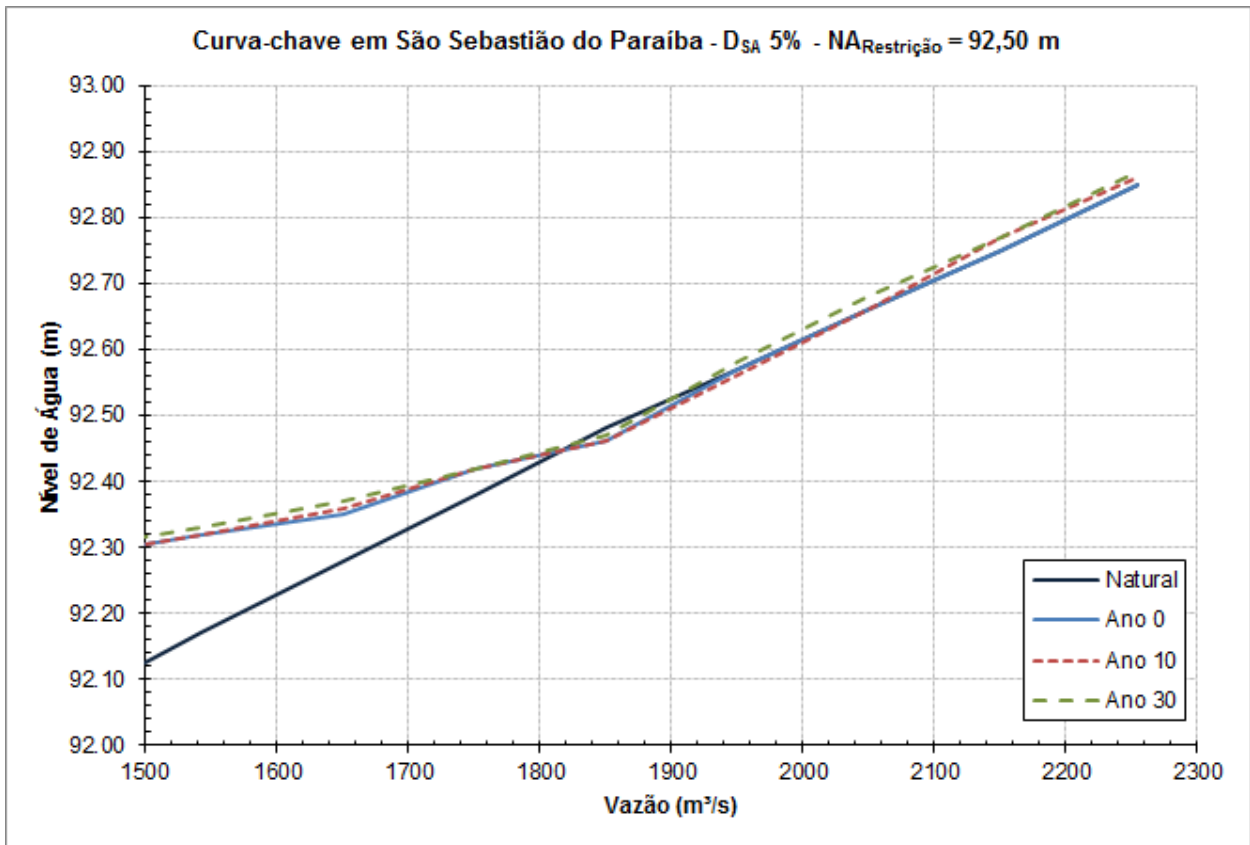


Figura 5.12 – Curvas-chaves para São Sebastião do Paraíba com operação da curva guia de 92,50 m Otimizada e 5% DSA.

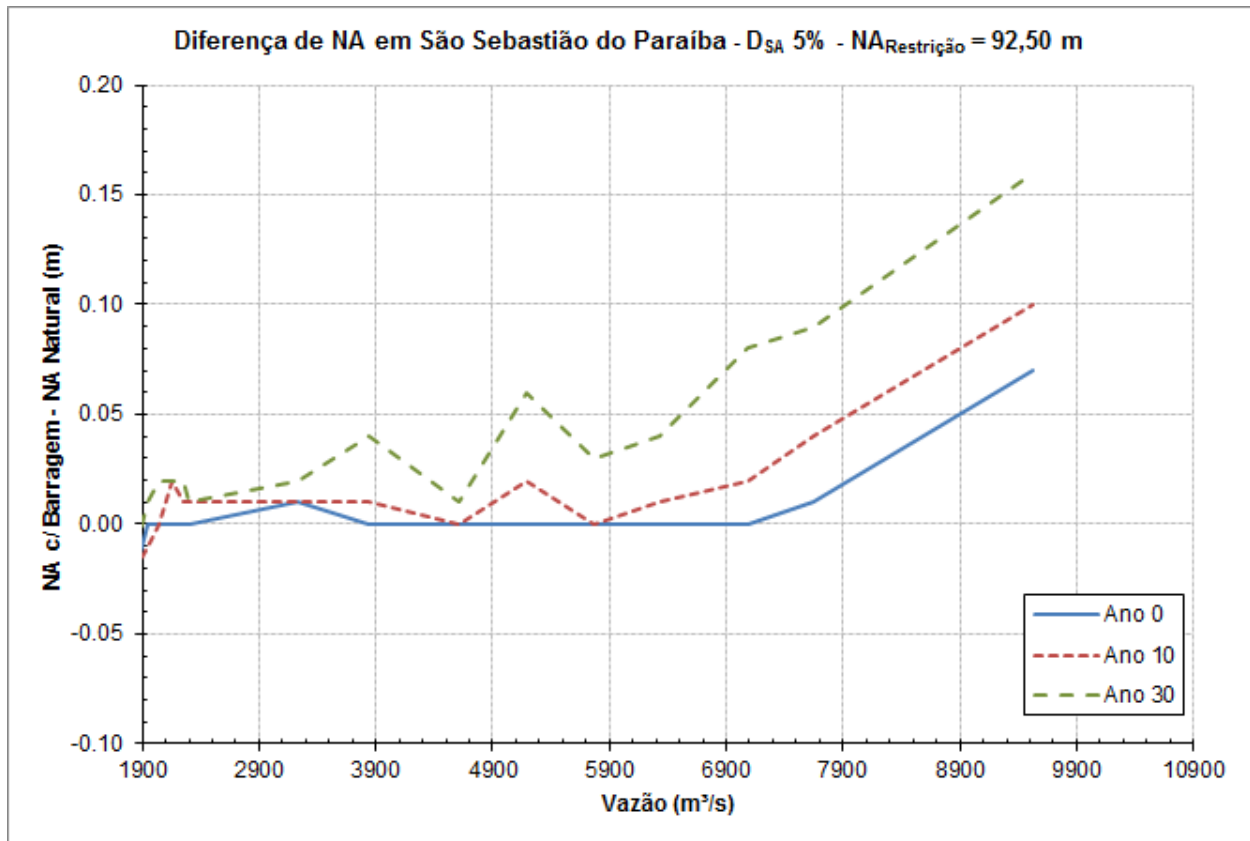


Figura 5.13 – Diferença de nível São Sebastião do Paraíba com operação da curva guia de 92,50 m Otimizada e 5% DSA.

Analisando as Figuras 5.12 e 5.13 constata-se que mesmo após 30 anos de operação a interferência do reservatório em São Sebastião do Paraíba é desprezível, com sobrelevação máxima de 16 cm para a máxima vazão de 9530 m³/s (TR 10.000 anos). Na condição natural (sem a presença do barramento) o nível de água esperado é de 96,27 m, para o início da operação (ano 0) de 96,34 m e após 10 e 30 anos respectivamente de 96,37 m e 96,43 m.

Para uma relação de 15% de DSA a influência da sobrelevação do reservatório é maior, sendo de 0,07 cm no início da operação e de 18 cm e 52 cm após 10 e 30 anos, respectivamente, para a vazão máxima de 9530 m³/s.

Para a vazão com 1% de permanência (Q_1 de 1541 m³/s) o impacto causado no nível de água na comunidade São Sebastião após 30 anos de operação com a curva guia 92,50 m Otimizada foi de 16 cm para relação de DSA de 5% e de 32 cm para relação de 15%.

Os resultados detalhados para todas as curvas guias avaliadas e para todas as relações sedimentométricas estão apresentados nos seguintes documentos disponibilizados pela Potamos:

- ✓ “Resultados_HEC_RAS_92_00.xls”. Resultados com a curva guia de 92,0 m;
- ✓ “Resultados_HEC_RAS_92_50.xls”. Resultados com a curva guia de 92,5 m;

- ✓ “Resultados_HEC_RAS_92_50_RegraCemig.xls”. Resultados com a curva guia de 92,5 Otimizada m.
- ✓ “Resultados_HEC_RAS_92_80.xls”. Resultados com a curva guia de 92,8 m.

Nos referidos arquivos estão apresentados as curvas-chaves para a seção em Itaocara II.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de novas campanhas sedimentométricas terem sido realizadas nos anos de 2011 e 2012, os novos dados obtidos não alteraram significativamente o perfil de deposição anteriormente obtido pela POTAMOS no relatório “UHE Itaocara I – Estudo de Remanso com Fundo Móvel”, documento nº 0323-RT001-R01, de dezembro de 2010..

Devido à incerteza da relação de descarga de sedimento total e a descarga de sedimento de arraste (DSA/DST) foi realizada uma análise de sensibilidade variando-se o valor de 5% a 15%. Após uma análise da região em que a usina será inserida, constatou-se que a descarga de sedimento de arraste no trecho de interesse do rio Paraíba do Sul é de pequena magnitude devido à retenção proporcionada por reservatórios localizados a montante, fato evidenciado pela ausência de delta de sedimento no reservatório da UHE Ilha dos Pombos e de bancos de areia nos afloramentos rochosos no leito do rio.

Foram obtidas curvas guias de operação do nível do reservatório do AHE Itaocara I respeitando as restrições do nível de água de 92,00 m, 92,50 m e 92,80 m para a comunidade localizada a montante do eixo do AHE Itaocara I, denominada São Sebastião do Paraíba.


Após análise da CEMIG para as curvas guias obtidas optou-se por não prosseguir com a análise da restrição de 92,80 m, porém, foi acrescentado uma curva guia de operação otimizada com base no nível de restrição de 92,50 m. Para essas curvas guias de operação foram mensurados os impactos de sobrelevação do nível de água em São Sebastião do Paraíba e no canal de fuga do AHE Itaocara II após 10 e 30 anos de operação.

Para a vazão com 1% de permanência ($Q_1 = 1541 \text{ m}^3/\text{s}$) o impacto causado no nível de água na comunidade São Sebastião e no canal de fuga de Itaocara II após 30 anos de operação com a curva guia 92,50 m Otimizada foi respectivamente de 16 cm e 25 cm para relação de DSA de 5% e de 32 cm e 75 cm para a relação de 15%.

Os resultados para as simulações com todas as curvas guias e relações sedimentométricas analisadas foram disponibilizados em arquivos do Excel.



PROJETO BÁSICO
VOLUME 1 DE 3 - TEXTOS

| | | | | |
|--|---------------|-------|--------|--------|
| | | | | |
| 0 | Emissão Final | MKT | MKT | MAI/16 |
| Nº | Descrição | Prep. | Aprov. | Data |
| REVISÕES | | | | |
|  | | | | |
| PROJETO BÁSICO | | | | |
|  | | | | |

UHE ITAOCARA I

| | | | | | |
|-----------|--------|--------|-----------------------------|-----------------------|------|
| Preparado | MKT | Aprov. | Marcelo K. Turqueti | Nº VLB | Rev. |
| Conferido | MKT | | Gerente do Projeto | 1530-IT-B-RT-G00-0001 | 0 |
| Visto | MKT | Aprov. | José H. R. Lopes | Nº do Cliente | Rev. |
| Data | MAI/15 | | Resp. Técnico MG-12545/D | | |

PROJETO BÁSICO
VOLUME 1 DE 3 – TEXTOS

SUMÁRIO

| | | |
|-----|--|-----|
| 1. | APRESENTAÇÃO..... | 3 |
| 1.1 | ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO..... | 3 |
| 2. | INTRODUÇÃO..... | 5 |
| 2.1 | ESTUDOS ANTERIORES..... | 6 |
| 2.2 | CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DO EIXO SELECIONADO..... | 12 |
| 3. | SUMÁRIO DAS PRINCIPAIS CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... | 13 |
| 4. | LEVANTAMENTOS COMPLEMENTARES E ESTUDOS BÁSICOS..... | 13 |
| 4.1 | AEROFOTOGRAMÉTRICOS E TOPOBATIMÉTRICOS..... | 13 |
| 4.2 | HIDROMETEOROLÓGICOS..... | 22 |
| 4.3 | GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS..... | 117 |
| 4.4 | ESTUDOS ENERGÉTICOS..... | 147 |
| 4.5 | INTEGRAÇÃO DA USINA AO SISTEMA DE TRANSMISSÃO..... | 158 |
| 5. | DESCRIÇÃO DAS ESTRUTURAS DO APROVEITAMENTO..... | 158 |
| 5.1 | CONCEPÇÃO GERAL DO PROJETO..... | 158 |
| 5.2 | DESVIO DO RIO..... | 159 |
| 5.3 | BARRAGEM..... | 161 |
| 5.4 | VERTEDOIRO..... | 162 |
| 5.5 | CIRCUITO HIDRÁULICO DE GERAÇÃO..... | 163 |
| 5.6 | CASA DE FORÇA..... | 163 |
| 5.7 | ACESSOS INTERNOS PERMANENTES, ÁREAS DE ESTACIONAMENTO, CERCAS E DEFENSAS..... | 164 |
| 5.8 | EQUIPAMENTOS E SISTEMAS ELETROMECAÂNICOS..... | 167 |
| 6. | PROJETOS SOCIOAMBIENTAIS..... | 205 |
| 6.1 | HISTÓRICO DO LICENCIAMENTO AMBIENTAL PROGRAMAS SOCIOAMBIENTAIS..... | 206 |
| 7. | INFRA-ESTRUTURA E SUPRIMENTO PARA A OBRA..... | 207 |
| 8. | CRONOGRAMA E PLANEJAMENTO CONSTRUTIVO..... | 209 |
| 9. | ORÇAMENTO PADRÃO ELETROBRÁS..... | 209 |
| 10. | FICHA RESUMO..... | 209 |
| 11. | PARTICIPANTES DO GRUPO DE TRABALHO..... | 209 |

1. APRESENTAÇÃO

O presente relatório é a compilação de todos os levantamentos e estudos que foram desenvolvidos para a elaboração do Projeto Básico da UHE Itaocara I, a ser implantada no rio da Paraíba do Sul, nos municípios de Itaocara e Aperibé, no Estado do Rio de Janeiro. Estes trabalhos foram elaborados pela VLB Engenharia Ltda. para o Consórcio UHE Itaocara I.

Cabe destacar que o presente documento atende todos os requisitos do “check-list” para o aceite do Projeto Básico, conforme preconizado na resolução ANEEL 412/2010. O Relatório é apresentado em 03 (três) volumes, organizados da seguinte forma:

Volume I - Texto;

Volume II - Desenhos;

Volume III - Apêndices.

1.1 ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

Os estudos apresentados no Projeto Básico da UHE Itaocara I foram organizados tomando-se como diretriz o documento da ELETROBRÁS “Diretrizes para Elaboração de Projeto Básico de Usinas Hidrelétricas” em sua versão de setembro de 1999.

Assim, os volumes deste Relatório foram organizados desta maneira:

VOLUME I – TEXTO

Capítulo 1 – Apresentação

É apresentada uma visão geral dos estudos e sua organização.

Capítulo 2 – Introdução

Este capítulo informa o objetivo dos estudos, relata o histórico dos estudos anteriores, a seleção do eixo, a descrição e a localização da UHE Itaocara I.

Capítulo 3 – Sumário das Principais Conclusões e Recomendações

Apresentam-se, de forma sucinta, as principais conclusões e recomendações do Projeto Básico.

Capítulo 4 – Levantamentos Complementares e Estudos Básicos

São apresentados os serviços de campo e de escritórios realizados para os estudos:

1 – Aerofotogramétricos e Topobatimétricos;

2 – Hidrometeorológicos;

3 – Hidráulicos;

4 – Geológico-Geotécnicos;

5 – Energéticos;

UHE ITAOCARA I

.6 – Integração da Usina ao Sistema de Transmissão

Capítulo 5 – Descrição das Estruturas do Aproveitamento

São apresentadas as principais características do Arranjo Geral das Estruturas componentes do Aproveitamento Hidrelétrico, descrevendo de forma detalhada os aspectos civis, mecânicos e elétricos.

Capítulo 6 – Projetos Socioambientais

Neste capítulo é realizada uma avaliação do empreendimento, com levantamentos e análises que permitam indicar a viabilidade ambiental do Aproveitamento. Esta avaliação foi realizada por uma equipe multidisciplinar e se baseou em dados secundários e primários, obtidos com visitas de campo realizadas ao local de implantação da UHE Itaocara I.

Capítulo 7 – Infraestrutura e Suprimento para a Obra

Neste capítulo são descritas as principais atividades necessárias para o planejamento, infraestrutura e apoio logístico para a implantação das obras.

Capítulo 8 – Cronograma e Planejamento Construtivo

Neste capítulo descrevem-se, de forma sucinta, as principais etapas para implantação do empreendimento.

Capítulo 9 – Orçamento Padrão Eletrobrás

O Orçamento Padrão Eletrobrás apresenta o custo previsto para a implantação do empreendimento, considerando os preços unitários das obras civis e equipamentos eletromecânicos.

Capítulo 10 – Ficha Resumo

Apresentam-se as principais características do aproveitamento, descrevendo os dados referentes aos aspectos hidrológicos, os dados das principais estruturas, dos equipamentos eletromecânicos, de energia, dos custos e outros itens correlatos definidos na Ficha Resumo padrão Eletrobrás.

Capítulo 11 – Participantes do Grupo de Trabalho

VOLUME II - DESENHOS CIVIS, ELÉTRICOS E MECÂNICOS

Neste volume são apresentados os desenhos de Localização, Base Cartográfica da região do empreendimento, Mapa do Reservatório, desenhos com as características Hidrológicas, Geológicas e Geotécnicas regionais e locais, Arranjo Geral do Aproveitamento, incluindo o detalhamento das principais estruturas, e diagramas e fluxogramas dos sistemas elétricos e mecânicos principais.

VOLUME III - APÊNDICES

Neste volume estão contidos todos os estudos complementares realizados para a elaboração do projeto da UHE ITAOCARA I, bem como os documentos complementares exigidos pela ANEEL para aceite do projeto, conforme Resolução nº 412/2010 (e seu respectivo “check-list”).

Os apêndices estão divididos da seguinte forma:

APÊNDICE A – GEOLOGIA E GEOTECNIA;

APÊNDICE B – CARTOGRAFIA E TOPOGRAFIA;

APÊNDICE C – HIDROMETRIA;

APÊNDICE D – DOCUMENTAÇÕES;

APÊNDICE E – ESTUDOS SOCIOAMBIENTAIS;

APÊNDICE F – ESTUDOS HIDROLÓGICOS;

APÊNDICE G – ESTUDOS ENERGÉTICOS;

APÊNDICE H – RESERVA DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA;

APÊNDICE I – PARECER DE ACESSO.

2. INTRODUÇÃO

Objetivo

O objetivo da elaboração do Projeto Básico da UHE Itaocara I é a coleta, análise e consistência de um número de informações suficientes para subsidiar os estudos técnicos, ambientais e econômicos de forma a consolidar o Projeto Básico anterior aprovado pela ANEEL.

Para alcançar este objetivo, foi realizada minuciosa análise dos dados coletados e feita uma complementação de levantamentos de campo, visando atender a todas as normas vigentes e ao “check-list” da ANEEL, em estrita observância às instruções das “Diretrizes para Elaboração de Projeto Básico de Usinas Hidrelétricas”.

Histórico

Desde a década de 1.960 a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, no seu todo ou em trechos específicos, tem sido objeto de muitos estudos relativos ao aproveitamento de seu potencial hidrelétrico.

Particularmente, a parcela dessa bacia que compreende o trecho do rio Paraíba do Sul entre as cidades de Sapucaia e São Fidélis foi objeto de estudos por várias empresas interessadas: CEMIG/Companhia Energética de Minas Gerais (1.964 a 1.966); CFLCL/Companhia de Força e Luz Cataguases-Leopoldina (1.969 a 1.982); IBRA/Instituto Brasileiro de Reforma Agrária (1.967) e DNAEE/Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (1.970).

Em 1.984 a empresa FURNAS Centrais Elétricas iniciou os estudos relacionados à exploração do potencial disponível, no trecho limitado pela confluência com o rio Pirai,

UHE ITAOCARA I

a montante e o município de Campos à jusante, dividindo-o em três áreas (Sub-Bacias I, II e III).

A área de interesse direto à UHE Itaocara I é a Sub-Bacia II que se estende da Estação Ferroviária de Benjamin Constant, logo à jusante da cidade de Sapucaia até pouco além da foz do rio Pomba, afluente pela margem esquerda do rio Paraíba do Sul.

Os Estudos de Inventário da Sub-Bacia II desenvolvidos pela THEMAG Engenharia e concluídos em 1986, indicaram a atratividade técnico-econômica da UHE Itaocara I.

2.1 ESTUDOS ANTERIORES

2.1.1 Estudos Realizados por Furnas

Os primeiros Estudos de Viabilidade da UHE Itaocara I, também desenvolvidos por FURNAS e THEMAG, foram concluídos em 1.987. Contudo a empresa FURNAS interrompeu os estudos nesta fase, dando prosseguimento ao desenvolvimento dos projetos básicos dos aproveitamentos hidrelétricos de Anta e Simplício, localizados a montante da UHE Ilha dos Pombos, Usina da LIGHT já em fase de operação.

2.1.2 Estudos Realizados Pela Light

No início de 1.998 a ENGEVIX Engenharia elaborou para a LIGHT uma reavaliação dos principais impactos ambientais e outros impactos associados, com a construção dos sítios de Itaocara e São Fidélis.

Os resultados desta avaliação indicaram impactos de pequena magnitude para a UHE Itaocara . Sendo assim, a LIGHT contratou a ENGEVIX para desenvolver os estudos em 02(duas) fases: Fase I/Diagnóstico Técnico-Econômico e Fase II/Estudos de Viabilidade que seriam desenvolvidos em função dos resultados obtidos no "Diagnóstico Técnico-Econômico/Fase I".

Os resultados preliminares, obtidos na Fase I, confirmaram a atratividade técnica e econômica do Empreendimento UHE Itaocara, fornecendo subsídios à LIGHT para dar prosseguimento aos estudos na Fase II.

Os Estudos de Viabilidade realizados pela ENGEVIX englobaram os serviços de engenharia consultiva, as investigações/ levantamentos de campo e a elaboração dos documentos ambientais EIA/Estudos de Impacto Ambiental e respectivo RIMA/Relatório de Impacto Ambiental.

Os estudos desenvolvidos entre os anos 1.999 e 2.000 reafirmaram a viabilidade técnica e econômica de implantação do Empreendimento UHE Itaocara para atendimento às necessidades do mercado de energia elétrica.

Com uma Capacidade Instalada de 195,00 MW e 98,50 MW médios de Energia Firme, o investimento previsto para implantação da UHE Itaocara totalizava cerca de 156 milhões de dólares, incluindo juros durante o período de construção, correspondendo a um custo de implantação de 800.00 US\$/kW instalado, na base econômica JUL/1.999. No custo total estava incluído a implantação da Linha de Transmissão até a conexão na Subestação da UHE Ilha dos Pombos, Subestação Elevadora e Sistema de Transposição de Peixes. O custo médio de geração da UHE Itaocara conforme cálculos recomendados pela ELETROBRÁS, atingia 23.96 US\$/MWh.

Considerando a Lei 9.074/95 referente às concessões outorgadas por licitação pública que estabelece os encargos e impostos incidentes sobre empreendimentos hidrelétricos, elevava o custo médio de geração de 23.96 para 30.70 US\$/MWh.

A comparação do custo médio de geração calculado em 30.70 US\$/kW versus o custo marginal de expansão indicado pelo Plano Decenal de Expansão de 1.999/2.008 da ELETROBRÁS, justificava sob o ponto de vista energético a implantação do aproveitamento UHE Itaocara I.

2.1.3 Relatório de Validação de Alternativa para Viabilização Ambiental

Em fevereiro de 2.001 foi outorgada pelo Poder Concedente à LIGHT Sinergias – atual empresa Itaocara Energia e subsidiária da LIGHT S.A. a concessão de exploração do potencial hidráulico denominado UHE Itaocara, com potência mínima a instalar de 195,00 MW. No mês posterior, março de 2.001, foi assinado o Contrato de Concessão nº 12/2.001 entre ANEEL/UHE ITAOCARA que regulava a exploração do empreendimento e as garantias de implantação da UHE pela Itaocara Energia Ltda.

O processo de Licenciamento Ambiental da UHE Itaocara teve início em fevereiro de 1.999 com a emissão do “Termo de Referência/TR” para “Estudos de Impacto Ambiental/EIA” pelo IBAMA. Em agosto de 2.000 foi apresentado ao IBAMA o EIA/Estudos de Impacto Ambiental e o respectivo Relatório de Impacto Ambiental/RIMA, tendo sido requerida, nessa ocasião, a Licença Prévia LP do empreendimento.

Desde então, o processo de “Licenciamento Ambiental da UHE Itaocara” sofreu diversos tipos de interferências, principalmente no que diz respeito à solicitação de novas informações e complementações dos estudos ambientais por parte dos órgãos ambientais estaduais, IBAMA, Ministério das Minas e Energia, Ministério Público Federal e IPHAN, dentre outros. Além disso, o processo sempre enfrentou forte resistência da sociedade civil organizada, principalmente do município de Cantagalo/RJ, contrária à implantação do empreendimento em função da inundação da localidade de São Sebastião do Paraíba.

Saliente-se que a análise procedida pelo Ministério Público Federal, expressa na Informação Técnica nº 105/2002/ 4ª CCR e encaminhada ao IBAMA, cita o documento EIA na descrição da Vila de São Sebastião do Paraíba, mostrando que a localidade distingue-se por ser muito bem cuidada; suas ruas organizadas em xadrez em volta de duas praças, são arborizadas, calçadas e iluminadas; sendo bem equipada com serviços sociais, tais como posto médico, escola, igreja, cemitério, água por rede pública, algumas facilidades para o lazer, além de um ancoradouro. Essa análise conclui que o processo de “Licenciamento Ambiental” da UHE Itaocara encontrava-se prejudicado, sendo necessário para saná-lo que os documentos EIA/RIMA fossem refeitos, de forma a contemplar a realização de outros estudos sobre a população diretamente afetada que serviriam de subsídios para a elaboração das medidas e programas de compensação e minimização de impactos sobre o meio socioeconômico.

Por outro lado o IBAMA, ao final de sua análise, expediu o Parecer Técnico nº 340/2002/ IBAMA/DILQ/Coordenadoria Geral de Licenciamento onde diz que o meio socioeconômico é o grande desafio do Empreendimento quanto à sua Viabilidade Ambiental, admite que as complementações ao EIA/RIMA incorporadas pelo Empreendedor retratam um significativo avanço no que se refere aos Programas Sociais a serem implantados, contudo ainda permanecem questões que mereciam ser melhor esclarecidas e encaminhadas, como o caso de São Sebastião do Paraíba,

Distrito de Cantagalo/RJ, cuja comunidade, através de suas lideranças e associações, solicitou uma nova “Audiência Pública” exatamente para esse fim. O mesmo IBAMA, após considerar a recomendação do MPF / 4ªCCR, conclui pela realização de mais uma “Audiência Pública”, agora no Distrito de São Sebastião do Paraíba.

Ao longo do processo a Concessionária Itaocara Energia procurou atender todas as solicitações dos órgãos ambientais para complementação dos estudos. No entanto, em agosto de 2.005, a Itaocara Energia foi informada de que o Ministério de Minas e Energia/MME passou a desconsiderar a UHE ITAOCARA no planejamento da expansão da oferta de energia. E informou, complementarmente que sua reinclusão nos Estudos de Planejamento do Setor Elétrico somente ocorreria após os resultados da “Avaliação Ambiental Integrada/AAI” dos aproveitamentos hidrelétricos da bacia do Paraíba do Sul.

Diante desses fatos, foram solicitados esclarecimentos ao MME no sentido de conhecer seu posicionamento no que se referia à continuidade do processo de Licenciamento Ambiental. Tal decisão foi comunicada ao IBAMA em junho de 2.006.

No entanto, apesar de justificada, a falta de movimentação do processo porque se aguardava o posicionamento do MME para dar continuidade à complementação dos estudos ambientais solicitados, ensejou o arquivamento do processo em março de 2007 conforme decisão da presidência do IBAMA (Ofício nº 183/2007 – DILIC/IBAMA). Diante de tal decisão, o requerimento da Licença Ambiental só poderia ser realizado com a abertura de novo processo de licenciamento.

Desta forma em agosto de 2.007, a Itaocara Energia retomou as tratativas institucionais junto ao órgão ambiental IBAMA para início de um novo processo de licenciamento. Num primeiro momento, a reação da equipe técnica do IBAMA diante da UHE Itaocara diante da configuração original do projeto de engenharia (uma única Usina), foi de forte rejeição. Contudo, o IBAMA estava aberto a “soluções alternativas” que reduzissem os impactos ambientais e sociais em face do estigma negativo existente em relação ao Projeto, destacando-se a inundação da localidade de São Sebastião do Paraíba.

Foi então, levado ao IBAMA, o resultado do estudo de análise de risco que estava sendo desenvolvido na época e que propunha a análise e comparação dos riscos e custos do cenário atual (uma Usina única) versus um cenário alternativo que considerava a realização do empreendimento em dois eixos, uma UHE na cota 91,00m com a manutenção do eixo da barragem no seu local atual, e a previsão de construção de nova UHE cota 102,00m a montante de São Sebastião do Paraíba. Essa alternativa de partição de queda de uma (01) Usina em dois (02) eixos, eliminava a necessidade de relocação dos dois núcleos populacionais de São Sebastião do Paraíba e Formiga.

Diante dessa proposta, em 16 de maio de 2.008 o IBAMA encaminhou o Ofício nº 330/2008/ DILIC/IBAMA solicitando que fosse avaliada oficialmente a possibilidade de revisão da partição de queda e do arranjo UHE Itaocara, de modo a minimizar seus impactos socioambientais com a substituição de uma UHE Itaocara única por duas UHEs Itaocara I e Itaocara II. Cabe dizer que em 05 de junho de 2.008, a Itaocara Energia protocolou na ANEEL carta solicitando modificação do projeto original, anexando o referido ofício do IBAMA.

Em continuidade às tratativas com o IBAMA, em 17 de julho de 2008 a Itaocara Energia enviou a carta nº 016/2008 informando ter iniciado uma série de estudos no sentido de avaliar a melhor alternativa de projeto, tanto do ponto de vista técnico-econômico quanto socioambiental.

Informava ainda, que a minuta de “Termo de Referência” já enviada para análise considerou a nova alternativa do projeto e que a nova proposta já havia sido apresentada à população, com o intuito de tornar o processo de licenciamento mais transparente e participativo.

Assim em outubro de 2.008 o IBAMA emitiu o “Termo de Referência”/TR para elaboração do novo estudo EIA/RIMA para o arranjo proposto com nova partição de queda em dois (02) eixos e que subsidiou os novos estudos ambientais. O novo EIA/RIMA foi então elaborado e concluído em dezembro de 2.009. Foi mantida a linha de detalhamento do projeto de engenharia em dois (02) eixos e obteve-se a Licença Prévia Ambiental/LP em maio de 2.010.

2.1.4 Estudos para Validação da Alternativa de Engenharia

Com a emissão do “Termo de Referência” para elaboração do novo EIA/RIMA solicitado pelo IBAMA, a Itaipava Energia contratou em DEZ/ 2.008 a PCE Projetos para realizar os estudos de engenharia para validação da alternativa proposta ao IBAMA, bem como elaborar os Projetos Básicos das UHEs Itaipava I e II.

Com enfoque nos estudos energéticos, o “Relatório de Validação” teve a finalidade de demonstrar a Viabilidade Técnico-Econômica do novo projeto do Complexo Itaipava (UHE ITAOCARA I e UHE ITAOCARA II) e a manutenção da produção energética objeto do Contrato de Concessão da ANEEL 012/2.001. O “Relatório de Validação” foi apresentado à ANEEL em maio de 2.009.

O novo projeto “Complexo UHEs Itaipava” reduz impactos ambientais e sociais, já que prevê a implantação de dois eixos, um eixo UHE Itaipava I no local definido pelos Estudos de Viabilidade com Nível D’água Máximo Normal do reservatório na El. 89,60m, de forma a preservar os núcleos populacionais de São Sebastião do Paraíba e Formiga.

O outro eixo, UHE Itaipava II, com a Casa de Força projetada ao “pé” da nova Barragem situada a montante desses núcleos populacionais e com reservatório no Nível D’água Máximo Normal na El. 102,00 m, garante o aproveitamento integral do potencial hidráulico do trecho de rio abrangido pelo projeto original de uma única UHE, com significativa redução da área alagada.

2.1.5 Estudo Realizado pela SPEC

Por solicitação da LIGHT a SPEC Engenharia, em JUL/2.010, fez o desenvolvimento dos estudos de “Otimização” do Projeto Básico PCE considerando as premissas básicas indicadas em seguida:

No trabalho foram adotados os mesmos estudos hidrológicos, vazões médias, máximas e mínimas desenvolvidos na etapa do Projeto Básico PCE;

A Curva-Chave adotada para o Canal de Fuga da UHE Itaipava I foi determinada a partir de avaliações, objetivando-se o ganho de queda com a locação das estruturas principais Tomada D’Água, Casa de Força e Vertedouro, no braço esquerdo do rio Paraíba do Sul formado pela Ilha Serena. Deve-se ressaltar, também, que um benefício relevante foi conseguido com a locação das estruturas no braço esquerdo da Ilha Serena: evitar o direcionamento do fluxo d’água, em período de cheias, sobre o distrito de Batatal localizado à jusante da UHE Itaipava I;

As investigações geológico-geotécnicas de campo utilizadas na “Otimização” também se referem às apresentadas na fase do Projeto Básico PCE;

UHE ITAOCARA I

A sequência de Desvio do Rio foi subdividida em duas fases:

Primeira fase – as ensecadeiras foram dimensionadas para uma vazão de 5.293 m³/s com tempo de recorrência de 50 anos e verificadas para a vazão com tempo de recorrência de 100 anos, vazões estas referentes ao período completo. Nesta fase, o rio foi desviado pelo braço direito da Ilha Serena e foram construídas as estruturas na margem esquerda;

Segunda fase – as ensecadeiras foram dimensionadas para a mesma vazão de 5.293 m³/s com tempo de recorrência de 50 anos e verificadas para a vazão com tempo de recorrência de 100 anos, vazões estas referentes ao período completo. Nesta segunda fase, o rio foi desviado pelas Adufas de Desvio e foi executada a Barragem de Terra no leito do rio e Margem Direita.

Os estudos foram concluídos SET/2.010 com a emissão do “Relatório Final do Projeto Básico Otimizado”, documento N.º: ST-813-B-RE-G00-001 em dois Volumes (Volume I/Texto e Volume II/Desenhos).

Características Técnicas Principais da UHE ITAOCARA I (Referência Projeto Básico SPEC):

| | |
|---|--------------------------|
| N.A. máximo maximorum montante: | 90,90m |
| N.A. máximo normal de operação:..... | 89,60 m |
| N.A. mínimo normal de operação: | 89,60 m |
| N.A. máximo maximorum de jusante: | 68,40 m |
| N.A. normal de jusante: | 61,28 m |
| N.A. mínimo de jusante:..... | 59,49 m |
| Área do reservatório no N.A. máximo normal: | 40,4 km ² |
| Volume acumulado total no N.A. máximo normal:..... | 412,76 hm ³ |
| Queda de referência: | 26,9 m |
| Vazão Média de Longo Termo (Série de Vazões Naturais Médias Mensais): ... | 664 m ³ /s |
| Vazão de projeto do Vertedouro (TR=10.000 anos):..... | 9.530 m ³ /s |
| Energia Firme: | 89,44 MW médios |
| Potência Instalada Total: | 150,00 MW |
| Vazão Máxima Turbinada: | 626,00 m ³ /s |
| Turbinas Kaplan Vertical (Potência no Eixo): | 2 x 76,923MW |
| Geradores Síncronos (Potência Aparente cós Ø 0,95): | 2 x 78,95 MVA |

Quantidades Principais das Obras Civis:

| | |
|--|------------------------|
| Escavação comum obrigatória inclusive Ensecadeiras Desvio: | 442.390 m ³ |
| Escavação em rocha à céu aberto:..... | 220.919 m ³ |
| Cimento: | 52.160 ton |
| Concreto Convencional Vibrado: | 185.688 m ³ |
| Armadura:..... | 8.073 ton |



Aterros Compactados inclusive Ensecadeiras Desvio: 2.475.447 m³

2.1.6 Estudo Realizado pela VLB Engenharia

O Consórcio UHE Itaocara, formado pelas empresas Cemig e Light, venceu o leilão promovido pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), realizado no dia 30 de abril de 2015, e retomou a concessão para construção da Usina Hidrelétrica Itaocara I, no rio Paraíba do Sul. Por solicitação do Consórcio, a VLB Engenharia realizou estudos com o objetivo de otimizar e consolidar o Projeto Básico da SPEC Engenharia.

As informações geológica-geotécnicas dos projetos anteriores foram usadas para os estudos deste projeto, adicionalmente foi realizada uma nova campanha de sondagens. Para topografia, foi realizada uma checagem da base topográfica do projeto anterior.

Com base no estudo realizado pela VLB, abaixo seguem as características e otimizações realizadas:

Características Técnicas Principais da UHE ITAOCARA I (Referência Projeto Básico VLB)

N.A. máximo maximorum montante: 90,90m
N.A. máximo normal de operação:..... 89,60 m
N.A. mínimo normal de operação: 89,30 m
N.A. máximo maximorum de jusante: 68,11 m
N.A. normal de jusante: 61,14 m
N.A. mínimo de jusante:..... 59,55 m
Área do reservatório no N.A. máximo normal: 40,4 km²
Volume acumulado total no N.A. máximo normal:..... 412,76 hm³
Queda de referência: 26,9 m
Vazão Média de Longo Termo (Série de Vazões Naturais Médias Mensais): ... 664 m³/s
Vazão Média de Longo Termo (Série de Vazões Artificiais Médias Mensais): .. 506 m³/s
Vazão de projeto do Vertedouro (TR=10.000 anos):.....9.530 m³/s
Energia Firme:91,23 MW médios
Potência Instalada Total: 150,00 MW
Vazão Máxima Turbinada:628,80 m³/s
Turbinas Kaplan Vertical (Potência no Eixo): 2 x 76,700MW
Geradores Síncronos..... 2 x 84,145 MVA

Quantidades Principais das Obras Civis

Escavação comum obrigatória inclusive Ensecadeiras Desvio: 224.319 m³
Escavação em rocha à céu aberto:..... 204.966 m³

UHE ITAOCARA I

| | |
|--|--------------------------|
| Cimento: | 42.376 ton |
| Concreto Convencional Vibrado: | 139.627 m ³ |
| Armadura:..... | 6.517 ton |
| Aterros Compactados inclusive Ensecadeiras Desvio: | 1.660.898 m ³ |

2.2 CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DO EIXO SELECIONADO

A UHE Itaocara I, distante cerca de 200,00 km da cidade do Rio de Janeiro, localiza-se no trecho médio inferior do rio Paraíba do Sul, aproximadamente a 13,00 km a montante da cidade de Itaocara/RJ. O eixo de seu Barramento está situado em torno das coordenadas geográficas 21°41'44" SOUTH e 42°08'57" WEST, correspondentes a 794.990m ESTE e 7.598.140m NORTE em coordenadas UTM's.

A partir da cidade do Rio de Janeiro, o acesso é feito inicialmente pela rodovia federal BR-040 até o entroncamento com a BR-393, próximo à cidade de Três Rios/RJ. Prossegue-se por esta rodovia BR-393 até à cidade de Santo Antonio de Pádua/RJ e daí segue-se pela rodovia estadual RJ-116 até às cidades de Aperibé e Itaocara, como mostrado no desenho B-DE-G00-0001 no VOLUME II – DESENHOS.

O acesso ao local do sítio da UHE ITAOCARA I é feito por estradas vicinais não pavimentadas existentes: a partir da cidade de Aperibé pela margem esquerda e da cidade de Itaocara, passando pela localidade de Coronel Teixeira, pela margem direita.

O arranjo geral da usina consiste em estruturas dispostas ao longo de um eixo com uma extensão aproximada de 1.225 metros.

No leito do rio, estará localizado um Vertedouro do tipo Descarregador de Fundo com 63 metros de extensão com a soleira na elevação 60,00 m.

O Circuito Hidráulico de Geração será composto da Tomada de Água e Casa de Força. A Casa de Força será equipada com 2 (três) turbinas tipo Kaplan de eixo Vertical, com potência instalada de 75,00 MW cada unidade.

A construção do empreendimento foi prevista para ser executada em duas fases, considerando as características morfológicas do local. Na primeira fase, o rio Paraíba do Sul escoará pelo canal a direita hidráulica da Ilha da Serena, parcial estrangulado, para a construção das estruturas da margem esquerda (Barragem de Terra da Margem Esquerda, Barragem de Terra no leito do rio, Tomada da Água, Casa de Força e Descarregador de Fundo).

Na segunda fase, o rio será desviado através do Descarregador de Fundo, para que sejam construídos a segunda etapa da Barragem de Terra do leito do rio.

O arranjo prevê Barragem de Terra nas ombreiras direita e esquerda e Barragem de Enrocamento com Núcleo de Argila no contato com as Estruturas de Concreto. No canal a esquerda hidráulica do leito do rio será construído o Descarregador de Fundo. A Barragem da margem direita possuirá altura máxima de aproximadamente 37,00 m e comprimento de cerca de 860,00 m, a da margem esquerda, aproximadamente 30,00 m de altura e cerca de 200,00 m de comprimento.

O arranjo também prevê um Dique com seção em terra na margem esquerda para fechamento do ponto de fuga do reservatório.

UHE ITAOCARA I

A crista da Barragem possuirá 7,25 m de largura e cota de coroamento na El. 91,10 m, com N.A. Normal na elevação 89,60 m e N.A. Máximo Maximorum na elevação 90,90 m.

O Vertedouro do tipo Descarregador de Fundo, localizado no leito do rio, terá 63 m de comprimento, com a cota da soleira na El. 60,00 m. Foi dimensionado para escoar uma vazão de 9.530 m³/s, correspondente à cheia com período de recorrência de 10.000 anos e N.A. Máximo Maximorum do reservatório na El. 90,90 m.

A Casa de Força está prevista com 2 (duas) unidades geradoras dispostas em 1 (um) bloco monolítico de concreto armado adjacente à estrutura da Tomada de Água. A nave da Casa de Força abrigará duas unidades geradoras, que serão equipadas com 2 (duas) turbinas do tipo Kaplan, de eixo vertical, com potência unitária de 75 MW, perfazendo um total de 150 MW de potência instalada.

O Barramento propiciará a formação do reservatório que, no N.A. Normal (El. 89,60 m), terá volume de 412,76 x 10³ e área inundada de aproximadamente 40,4 km², incluindo-se a calha do rio.

O desenho B-DE-G11-0002 do VOLUME II apresenta o Arranjo Geral do Projeto da UHE Itaocara I.

3. SUMÁRIO DAS PRINCIPAIS CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os estudos realizados para o Projeto Básico da UHE Itaocara I foram elaborados obedecendo aos Critérios e Especificações Técnicas, especialmente aqueles preconizados pela ANEEL e Eletrobrás. A configuração final do empreendimento visou à obtenção do aproveitamento ótimo desse trecho do rio, levando em conta os aspectos técnicos, econômicos e ambientais.

O arranjo selecionado considera o nível de água máximo normal do reservatório na elevação 89,60 m, nível mínimo normal na elevação 89,30 m, nível normal de jusante na elevação 61,14. A queda bruta final em 28,46 metros.

O Arranjo Geral das estruturas resultou em barramento com Descarregador de Fundo, Barragem de Terra nas ombreiras direita e esquerda, Tomada de Água, Casa de Força e Canal de Fuga e um Dique na margem esquerda.

O Circuito Hidráulico de Geração, que aproveita a queda bruta de 28,46 metros, resultou em uma capacidade instalada do empreendimento de 150,00 MW, obtida através de 2 (três) turbinas tipo Kaplan de Eixo Vertical com 75 MW por equipamento.

O Cronograma de Construção prevê um prazo de implantação das obras de 30 meses.

4. LEVANTAMENTOS COMPLEMENTARES E ESTUDOS BÁSICOS

4.1 AEROFOTOGRAMÉTRICOS E TOPOBATIMÉTRICOS

4.1.1 Estudos Anteriores

Os Estudos de Viabilidade da UHE Itaocara tiveram como base cartográfica mapeamentos aerofotogramétricos para a área do reservatório na escala 1:5.000, com curvas de nível equidistantes de 5 metros, a partir de fotografias aéreas nas escalas 1:15.000 e 1:25.000 obtidas respectivamente em 1987 e 1998. O apoio para o

UHE ITAOCARA I

aerolevanteamento foi determinado por rastreamento de satélites GPS, a partir de pontos da rede básica oficial do IBGE. Para o local do aproveitamento da UHE Itaocara elaborou-se uma base cartográfica na escala 1:2.000 com curvas equidistantes de 1 metro, a partir de aerolevanteamento na escala 1:5.000.

Também para os Estudos de Viabilidade, foram levantadas 36 (trinta e seis) seções transversais ao longo do rio Paraíba do Sul, sendo 06 (seis) seções no local do eixo do barramento, 10 (dez) seções no trecho entre Itaocara e São Sebastião do Paraíba e 20 (vinte) seções no trecho entre São Sebastião do Paraíba e o canal de fuga da UHE Ilha dos Pombos, Usina já em fase de operação.

Em março de 2002 foram realizados levantamentos topobatimétricos de 16 (dezesseis) seções transversais entre o eixo da UHE Itaocara e a cidade de Itaocara pela GEO Cartografia Ltda.

4.1.2 Escopo dos Levantamentos Complementares

Para a elaboração do Projeto Básico foram realizados levantamentos complementares aos citados no item 4.1.1, respeitando as Diretrizes de Cartografia e Topografia da Aneel. O escopo dos serviços complementares compreendeu as seguintes macro atividades:

- Realização de novo aerolevanteamento a laser para a área do reservatório a partir de levantamentos realizados pelo LACTEC em junho de 2009 na escala 1:5.000;
- Nivelamento geométrico desde a UHE Ilha dos Pombos até o sítio do UHE Itaocara I, realizado pela LSF Andrade entre abril e maio de 2009;
- Levantamentos topográficos complementares no sítio da UHE Itaocara I, realizados entre março e maio de 2009 pela LSF Andrade na escala 1:1.000;
- Levantamento complementar de seções topobatimétricas, visando sobretudo atender aos estudos de remanso, bem como instalação e operação de postos limnimétricos e fluviométricos para subsidiar a definição de curvas-chave de interesse no sítio do barramento e na localidade de São Sebastião do Paraíba, serviços esses realizados pela COHIDRO.

4.1.3 Referenciais Adotados para o Projeto

A UHE Itaocara está localizada no Rio Paraíba do Sul, nos municípios de Itaocara e Aperibé, no Estado do Rio de Janeiro. Para o projeto foram adotadas as seguintes referências geodésicas:

Datum Horizontal: SAD-69

Semieixo maior (a): 6378160m

Achatamento: (f): 1/298,25

Datum Vertical: Marégrafo de Imbituba – SC

Sistema de Projeção: Universal Transversa de Mercator (UTM)

Fuso UTM: 23 Sul

Meridiano Central: 45° W

Os referenciais acima mencionados foram adotados em todas as etapas do projeto, incluindo os levantamentos de campo, topobatimétricos e aerolevanteamento a laser.

UHE ITAOCARA I

Adicionalmente foi solicitado à ANEEL se o Datum de Projeto poderia ser o SAD-69, uma vez que todos os estudos e levantamentos realizados anteriormente teve como referência este Datum. A ANEEL entendeu que o Datum SAD-69 poderia ser mantido neste projeto, conforme Ofício abaixo:



4.1.4 Levantamento Planialtimétrico e Cadastral

Na área de implantação das estruturas da UHE Itaipava foram realizados levantamentos planialtimétricos por topografia, na escala 1:1.000. Os serviços foram realizados pela LSF Andrade nos meses de março e maio de 2009.

Para apoio dos levantamentos e também para atender às exigências da Aneel, foram implantados três marcos de apoio para referência de todo o projeto, denominados M1, M2 e M3. Os marcos foram confeccionados em concreto com formato troco piramidal com chapa metálica legendada (COMPLEXO LIGHT ITAOCARA), inserida na face superior do marco.


Os marcos geodésicos georreferenciados foram também medidos através de poligonal topográfica utilizando estação total. A partir desta poligonal principal foram criadas novas poligonais secundárias na margem direita e esquerda totalizando dezenove poligonais, todas fechadas ou apoiadas e com fechamento compatível com o padrão de precisão cartográfico exigido. A partir destas poligonais foram levantados todos os pontos altimétricos e de detalhes da área de estudo, através do método de irradiação.

Foi realizada uma rede de nivelamento geométrico referenciada a RRNN 3002t (IBGE), localizado na UHE Ilha dos Pombos. Desta rede foi ramificado o nivelamento geométrico para amarração dos marcos de apoio básico (M1, M2 e M3), que deu origem ao levantamento ficando todo trabalho referenciado a origem citada. Na amarração altimétrica dos trabalhos foram utilizados os dois processos: O nivelamento trigonométrico gerado pelo cálculo dos rastreamentos do Sistema Global de Posicionamento (GPS) e o nivelamento geométrico gerado pela rede de nivelamento executada para amarração dos levantamentos. Nos dois processos utilizou-se a mesma RRNN de referência: RRNN 3002T, cujos dados encontram-se no Apêndice B. O nivelamento geométrico estendeu-se até os Marcos 01, 02 e 03 e as altitudes encontradas foram as referências do projeto.

A determinação de coordenadas geográficas e altitudes dos marcos de apoio (M1, M2 e M3), foram aferidas a partir de estações georreferenciadas da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), sendo utilizadas as seguintes estações:

- Estação Rio de Janeiro, FIBGE (91720)
Coordenadas oficiais (SIRGAS2000)
Latitude: 22° 49' 04,2399" S
Longitude: 43° 18' 22,5958" W
Altitude elipsoidal: 8,63 m.
- Estação Campos dos Goytacazes FIBGE (96963)
Coordenadas oficiais (SIRGAS2000)
Latitude: 21° 45' 53,5169" S
Longitude: 41° 19' 34,1607" W
Altitude elipsoidal: 9,96 m.
- Estação Viçosa de FIBGE (91696)
Coordenadas oficiais (SIRGAS2000)
Latitude: 20° 45' 41,4020" S
Longitude: 42° 52' 11,9622" W
Altitude elipsoidal: 665,96 m.

As monografias dos marcos M1, M2 e M3 estão apresentadas nas Figuras 4.1 a 4.3.



MONOGRAFIA DO MARCO

| | | | |
|--|--|--|--|
| Nome do Marco: M1 | | Data da criação: 6 fevereiro, 2009 | |
| Data da ocupação: 12 fevereiro, 2009 | | Estado do marco: Novo | |
| Município: Aperibé | | UF: RJ | |
| Obra: PCH Itaocara | | Cliente: PCE Engenharia | |

| Coordenadas do Marco: | | | | | | | |
|-----------------------|-------------|------------|--------------------|-------------------|----------|---------|---------------|
| Sistema | UTM | | Geodésica | | Altitude | | Datum V. |
| | Norte | Este | Latitude | Longitude | Elips. | Ortom. | |
| SAD-69 | 7598708,627 | 795624,855 | -21°41'25,3834" | -42°08'34,9276" | 157,413 | 152,402 | Imbituba - SC |
| SIRGAS | 7598663,152 | 795580,445 | -21° 41' 27,15610" | -42° 08' 36,3996" | 145,637 | | |
| Fuso: 23 | | MC: -45° | | | | | |



Obs: As coordenadas foram definidas por GPS e a cota ortométrica foi definida por Nivelamento Geométrico.

Descrição da Materialização:

Marco de concreto em formato troco piramidal com aproximadamente 15cm x 15cm em seu topo, base de aproximadamente 25cm x 25cm, com a altura média de 40cm e aflorado 10cm. Possui uma chapa metálica com diâmetro de 6cm com gravação em baixo relevo dos textos "LIGHT COMPLEXO ITAOCARA", "M1" e "PROTEGIDO POR LEI". Marco pintado de branco com identificação alfanumérica em tinta vermelha.

Descrição de Itinerário:


Partindo da Rotatória de Itaocara-RJ, no entrocamento das rodovias RJ-158 e RJ-116(0Km), pegar a rodovia RJ-116, sentido cidade de Padua-RJ. Atravessar a ponte sobre o Rio Paraíba do Sul e virar a 1ª Entrada à direita, antes do radar, passando por baixo da ponte de Itaocara-RJ. Seguir pela estrada beira rio no sentido montante do Rio Paraíba do Sul na margem esquerda. Ao chegar no Areal (8,09km) vira a direita e logo após a esquerda (8,23km), continuar seguindo a estrada a beira rio chegando em uma bifurcação (9,81km), vira a esquerda, segue até a próxima bifurcação (10,40km). Deixa-se a estrada vira a direita atravésse uma porteira e percorre 128m no sentido da sede de uma fazenda, entra-se a direita subindo o morro por uma área de pasto e percorrendo-se 220m ate chegar ao M1. O marco encontra-se no meio do pasto, afastado aproximadamente 100m de uma área de mata.

| Croquis de localização: | Fotografia: |
|---|--|
|  |  |

| | |
|---|---|
| Executado por: <u>Luis Andrade do Nascimento</u> | Resp. Técnico: <u>Sidney Andrade de Lima</u> |
|---|---|

Av. Ministro Edgard Romero, 244 s-802 - Madureira - Rio de Janeiro – CEP.21360-200
 Tele-fax.: (21) 3350-8040 – E-mail: lsfandrade@uol.com.br – Site: www.lsfandrade.com.br

Figura 4.1 – Monografia do Marco M1.



MONOGRAFIA DO MARCO

| | | | |
|--------------------------------------|--|---|--|
| Nome do Marco: M2 | | Data da criação: 5 fevereiro, 2009 | |
| Data da ocupação: 12 fevereiro, 2009 | | Estado do marco: Novo | |
| Município: Aperibé | | UF: RJ | |
| Obra: PCH Itaocara I | | Cliente: PCE Engenharia | |

Coordenadas do Marco:

| Sistema | UTM | | Geodésica | | Altitude | | Datum V. |
|----------|-------------|------------|-------------------|-------------------|----------|---------|---------------|
| | Norte | Este | Latitude | Longitude | Elips. | Ortom. | |
| SAD-69 | 7598975,393 | 795086,482 | -21° 41' 17,0397" | -42° 08' 53,8112" | 107,549 | 102,530 | Imbituba - SC |
| SIRGAS | 7598929,918 | 795042,070 | -21° 41' 18,8124" | -42° 08' 55,2833" | 95,774 | | |
| Fuso: 23 | | MC: -45° | | | | | |



Obs: As coordenadas foram definidas por GPS e a cota ortométrica foi definida por Nivelamento Geométrico.

Descrição da Materialização:

Marco de concreto em formato troco piramidal com aproximadamente 15cm x 15cm em seu topo, base de aproximadamente 25cm x 25cm, com a altura média de 40cm e afluído 10cm. Possui uma chapa metálica com diâmetro de 6cm com gravação em baixo relevo dos textos "LIGHT COMPLEXO ITAOCARA", "M2" e "PROTEGIDO POR LEI". Marco pintado de branco com indentificação alfanumérica em tinta vermelha.

Descrição de Itinerário:

Partindo da Rotatória de Itaocara-RJ, no entrocamento das rodovias RJ-158 e RJ-116(0Km), pegar a rodovia RJ-116, sentido cidade de Padua-RJ. Atravessar a ponte sobre o Rio Paraíba do Sul e virar a 1ª Entrada à direita, antes do radar, passando por baixo da ponte de Itaocara-RJ. Seguir pela estrada beira rio no sentido montante do Rio Paraíba do Sul na margem esquerda. Ao chegar no Areal (8,09km) vira a direita e logo após a esquerda (8,23km), continuar seguindo a estrada a beira rio. A (9,81km) chega-se a uma bifurcação, continua a esquerda pela mesma estrada. A (10,40km) chega-se ao eixo da barragem AHE Itaocara I. A (11,08km) deixa-se o carro e entra a direita subindo o morro por uma estrada de fazenda, com aproximadamente 250m cheg-se ao local do marco M2. O marco está afastado aproximadamente 50m da estrada.

| | |
|---|--|
| Croquis de localização: | Fotografia: |
|  |  |

Executado por: Luis Andrade do Nascimento Resp. Técnico: Sidney Andrade de Lima

Av. Ministro Edgard Romero, 244 s-802 - Madureira - Rio de Janeiro – CEP.21360-200
 Tele-fax.: (21) 3350-8040 – E-mail: lsfandrade@uol.com.br – Site: www.lsfandrade.com.br

Figura 4.2 – Monografia do Marco M2.




|  MONOGRAFIA DO MARCO | | | | | | | |
|--|-------------|--|--------------------|--|----------|---------|---------------|
| Nome do Marco: M3 | | Data da criação: 6 fevereiro, 2009 | | | | | |
| Data da ocupação: 12 fevereiro, 2009 | | Estado do marco: Novo | | | | | |
| Município: Itaocara | | UF: RJ | | | | | |
| Obra: PCH Itaocara I | | Cliente: PCE Engenharia | | | | | |
| Coordenadas do Marco: | | | | | | | |
| Sistema | UTM | | Geodésica | | Altitude | | Datum V. |
| | Norte | Este | Latitude | Longitude | Elips. | Ortom. | |
| SAD-69 | 7597804,130 | 794459,931 | -21° 41' 55,46283" | -42° 09' 14,84058" | 133,541 | 128,537 | Imbituba - SC |
| SIRGAS | 7597758,653 | 794415,519 | -21° 41' 57,2356" | -42° 09' 16,3130" | 121,780 | | |
| Fuso: 23 | | MC: -45° | | | | | |
| Obs: As coordenadas foram definidas por GPS e a cota ortométrica foi definida por Nivelamento Geométrico. | | | | | | | |
| Descrição da Materialização: | | | | | | | |
| <p>Marco de concreto em formato troco piramidal com aproximadamente 15cm x 15cm em seu topo, base de aproximadamente 25cm x 25cm, com a altura média de 40cm e aflorado 10cm. Possui uma chapa metálica com diâmetro de 6cm com gravação em baixo relevo dos textos "LIGHT COMPLEXO ITAOCARA", "M3" e "PROTEGIDO POR LEI". Marco pintado de branco com identificação alfanumérica em tinta vermelha.</p> | | | | | | | |
| Descrição de Itinerário: | | | | | | | |
| <p>Partindo da Rotatória de Itaocara-RJ no entrocamento das rodovias RJ-158 e RJ-116(0 km), seguir em direção à cidade de Laranjal, pela rodovia RJ-158. Chegando em Batatal (7,73km) vira a primeira direita passa por dentro de Batatal até o final da rua (8,4Km). No final da rua entra-se a direita na bifurcação, segue sentido a São Sebastião do Paraiba. A (11,31km) chega-se no eixo da AHE Itaocara I (MD). Deixa-se o veículo e sobe a ombreira direita. O marco M3 está a 120m da estrada no alto do morro.</p> | | | | | | | |
| Croquis de localização: | | | | Fotografia: | | | |
|  | | | |  | | | |
| Executado por: Luis Andrade do Nascimento | | Resp. Técnico: Sidney Andrade de Lima | | | | | |
| Av. Ministro Edgard Romero, 244 s-802 - Madureira - Rio de Janeiro – CEP.21360-200 Tele-fax.: (21) 3350-8040 – E-mail: lsfandrade@uol.com.br – Site: www.lsfandrade.com.br | | | | | | | |

Figura 4.3 – Monografia do Marco M3.

Na determinação das coordenadas e altitudes dos marcos citados foram utilizados receptores GPS geodésicos de dupla frequência (L1/L2), seguindo metodologia de posicionamento estático, com observações contínuas e ininterruptas, com intervalo de gravação de dados de 15 (quinze) segundos.

No marco M2 o GPS ficou ligado por um período de aproximadamente de três horas ininterrupto, vinculada diretamente às estações de referência do IBGE (estações ativas da RBMC), nos demais marcos (M1, M3), foram rastreadas simultaneamente. Após ajustes dos cálculos foram geradas as planilhas com as transformações de coordenadas e altitudes no sistema UTM SAD 69, que consta nos anexos.

4.1.5 Nivelamento Geométrico

Foi realizado nivelamento geométrico pela empresa LSF Andrade Ltda. a partir da RRNN 3002 T, localizada na UHE Ilha dos Pombos, caminhando paralelamente ao rio Paraíba do Sul por diversos pontos de interesse ao projeto da UHE Itaocara até os marcos situados na área do barramento. Ao longo do caminhamento foram colocados pontos de segurança com uma equidistância de cerca de 1 km. Os pontos foram materializados com piquetes de madeira de lei, pintado com tinta branca, cadastrados através de GPS portátil e fotografados. Cada trecho foi nivelado e contra nivelado até atingir o erro inferior à precisão exigida, 10mm/km. Os serviços de campo foram executados dentro das normas ABNT, tendo sido utilizados níveis compatíveis com a precisão requerida.

O cálculo do nivelamento em escritório foi executado através de programa desenvolvido pela própria LSF em planilhas do Excel. O transporte por nivelamento geométrico passou por algumas RRNN's implantadas anteriormente pelas empresas Furnas, Lactec e Inbra.

O detalhamento dos serviços executados é apresentado no Apêndice B – Estudos Cartográficos – Tomo 1 de 2 – Nivelamento Geométrico.

4.1.6 Seções Topobatimétricas e Perfil da Linha D' Água

Foram levantadas treze (13) seções topobatimétricas no rio Paraíba do Sul, entre janeiro e julho de 2009 e, cinco (5) seções topobatimétricas no rio Pirapetinga nos meses de janeiro e julho de 2009 pela empresa Cohidro. Também foram levantados três (3) perfis de linha d'água no rio Pirapetinga, afluente do rio Paraíba do Sul nos dias 14/02/2009, 06/03/2009 e 19/08/2009.

No período entre 08/06/2010 e 10/06/2010 foram realizados levantamentos topobatimétricos em seções no rio Paraíba do Sul pela Cemig. Foram levantadas seis seções transversais utilizando equipamento ADCP.

4.1.7 Levantamentos Aerofotogramétricos para a Área do Reservatório

Para compor a base cartográfica do reservatório foi realizado um Mapeamento Aéreo a Laser, abrangendo a área do reservatório entre a UHE Ilha dos Pombos e a cidade de Itaocara, abrangendo uma área de aproximadamente 378 km².

A execução dos serviços realizados pelo LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, seguiu as seguintes etapas:

- Atividades de apoio de campo, definição das bases GPS, mapa geoidal e apoio aerofotogramétrico;

UHE ITAOCARA I

- Aerolevantamento com aquisição dos dados LiDAR e das imagens provenientes da câmera digital de pequeno formato;
- Controle de qualidade e verificação da cobertura dos dados;
- Processamento da trajetória da aeronave;
- Processamento dos dados LiDAR;
- Transformação de referencial e projeção cartográfica;
- Classificação da nuvem de pontos;
- Classificação de pontos de terreno;
- Geração de Curvas de Nível equidistantes de 1 metro;
- Tratamento das imagens digitais;
- Mosaicagem, georreferenciamento e ortorretificação das imagens digitais; e
- Geração dos produtos finais.

Todos os produtos, em escala 1:5.000, foram representados no Referencial Geodésico SAD69 resolução de 2005 com projeção cartográfica UTM (Universal Transverse Mercator) para o fuso 23 Sul. O detalhamento dos serviços executados bem como toda a documentação relacionada, consta do relatório “P129 - Mapeamento Aerofotogramétrico da Área do Reservatório do AHE Itaocara – RJ”, elaborado pelo LACTEC.

4.1.8 Avaliação da Precisão dos Levantamentos

Realizou-se uma conferência das coordenadas planialtimétricas dos marcos base do projeto (M1, M2 e M3). Os levantamentos foram realizados no período de 1 a 3 de setembro de 2015 pela Pillar Topografia utilizando tecnologia de mapeamento por GNSS de acordo com as normas técnicas e requisitos mínimos com relação ao tempo de rastreamento e distâncias da base, conforme consta no Relatório Técnico “20151006_RELATÓRIO TÉCNICO M1 M2 M3” apresentado no Apêndice B – Cartografia e Topografia.

Para a conferência dos marcos mencionados foram utilizadas as estações RBMC Viçosa (VICO) e Campo dos Goytacazes (RJCG), respeitando um tempo mínimo de rastreamento de quatro (4) horas. Os dados foram processados tendo como referência o Datum planimétrico SAD-69 e altimétrico, o Marégrafo de Imituba-SC. As altitudes ortométricas foram obtidas utilizando o MAPGEO 2010 (IBGE).

Utilizou-se rastreamento estático, com GNSS geodésico de dupla frequência modelo GPS 900CS, pós-processado, marca LEICA de precisão horizontal 5mm +0,5ppm e vertical 10mm + 0,5ppm.

Para dar continuidade ao trabalho, foram coletados do site do IBGE, os dados oficiais das bases mais próximas da área de estudo, pertencentes à RBMC, efetuando os processamentos e ajustamentos em SAD69, através do software Leica Geo Combined (LGO), os resultados obtidos ficaram dentro das tolerâncias estabelecidas, conforme relatórios de processamento dos dados apresentados no Apêndice B – Cartografia e Topografia.

Os valores obtidos foram compatíveis com os levantamentos anteriores validando a topografia realizada pela LSF Andrade.

4.2 HIDROMETEOROLÓGICOS

4.2.1 Caracterização Fisiográfica da Bacia

Diversos fatores podem influenciar o comportamento do ciclo hidrológico em uma bacia hidrográfica. Neste item serão apresentados os fatores relevantes para definição das características morfométricas da bacia, formada pelo exutório definido pela UHE Itaocara I, como área de drenagem, forma da bacia, densidade de drenagem, declividade e tempo de concentração.

4.2.1.1 Localização

A bacia do rio Paraíba do Sul localiza-se na região Sudeste do Brasil e está inserida na região hidrográfica do Atlântico Sudeste. Está compreendida entre os paralelos 20°20' e 23°40' e os meridianos 41°20' e 46°30'. Totaliza uma área de drenagem de aproximadamente 55.500 km², situada nos estados de Rio de Janeiro (20.900 km²), Minas Gerais (20.700 km²) e São Paulo (13.900 km²), sendo que no eixo em estudo nesta etapa do Projeto Básico a área da bacia é de 33.680 km².

O aproveitamento situa-se no Rio Paraíba do Sul, no estado do Rio de Janeiro, nas coordenadas 21° 41' 44" de latitude Sul e 42° 09' 01" de longitude Oeste, distando cerca de 10 km da sede do município de Itaocara (jusante-margem direita).

A bacia é limitada ao Norte pelas bacias dos rios Grande e Doce e pelas serras da Mantiqueira, Caparaó e Santo Eduardo. A Nordeste, o rio Itabapoana e seus afluentes compõem a rede potamográfica. Ao Sul, o divisor de águas é composto pela Serra dos Órgãos e pelos trechos paulista e fluminense da Serra do Mar. A Oeste, separada por meio de diversos ramos dos maciços da Serra do Mar e da Serra da Mantiqueira, predomina a bacia do rio Tietê.

O rio Paraíba do Sul nasce numa altitude de 1.800 m na Serra da Bocaina, com o nome de rio Paraitinga. Desenvolve-se na direção sudoeste, até a Serra do Mar, onde recebe o rio Paraíbuna, no município de Paraíbuna (SP), numa altitude aproximada de 640 m. Daí segue até a cidade de Guararema, onde forma uma curva de 180° e passa a desenvolver-se na direção nordeste, em sentido contrário ao inicial. Após percorrer um pequeno trecho do sudeste de Minas Gerais, constitui-se em divisa natural com o estado do Rio de Janeiro até a confluência com o rio Pomba, onde seu curso desvia-se para leste, desaguando no Oceano Atlântico próximo à cidade de São João da Barra. Seu percurso total é de aproximadamente 787 km, no sentido geral de oeste para leste.

A rede potamográfica apresenta drenagem dendrítica, também denominada arborescente. Essa característica se deve à semelhança da hidrografia da bacia com a configuração de uma árvore, em que o rio Paraíba do Sul corresponde ao tronco e os tributários aos seus ramos e as correntes de menor categoria aos raminhos e folhas.

Seus principais afluentes, de montante para jusante, são os rios: Grande, Paquequer, Piabanha e Pirai pela margem direita; Muriaé, Pomba, Paraíbuna Mineiro, Buquira, Jaguari e Paraíbuna pela margem esquerda. Os principais afluentes do rio Paraitinga são os rios do Gramado e Turvo pela margem direita e os rios do Chapéu e Jacuí pela margem esquerda.

Entre as principais vias de acesso à região, destacam-se as rodovias federais BRs-040, 066, 116, 267, 393 e as rodovias estaduais RJs-116, 186, 492, MGs-285, 353, 446 e SP-066. Tais rodovias permitem o acesso à cidade de Itaocara e às cidades

próximas à região, tais como: Santo Antônio de Pádua, Itaperuna, Além Paraíba, Cordeiro, Leopoldina, Santa Maria Madalena, Nova Friburgo, Petrópolis, Teresópolis, Juiz de Fora, Três Rios, Paraíba do Sul, Barra do Piraí, Volta Redonda, Barra Mansa, São José dos Campos, Guararema, entre outras.

Em relação ao clima, relevo e solo, a região em estudo apresenta cobertura em meio bastante diversificado com características variadas.

4.2.1.2 *Vegetação*

A bacia do rio Paraíba do Sul está compreendida no bioma Mata Atlântica, cuja área original era de aproximadamente 1,3 milhão de km², correspondente a 15% do território brasileiro, estendendo-se por toda a costa brasileira, do Rio Grande do Norte ao Rio Grande do Sul, numa faixa de cerca de 300 km, chegando à Argentina e ao Paraguai. Hoje o remanescente é de cerca de 7% (91.000 km²) devido às ações antrópicas. Segundo dados disponíveis (GEROE, 1.995), atualmente, apenas 11% da área da bacia é ocupada pelos remanescentes da floresta, a qual se pode encontrar nas regiões mais elevadas e de relevo mais acidentado.

As florestas atlânticas apresentam árvores com folhas largas e perenes. Há grande diversidade de epífitas, plantas que vivem sobre outras plantas, como bromélias e orquídeas. Caracteriza-se também pela vegetação exuberante, com acentuado higrofitismo, plantas que vivem com alguma parte vegetativa permanentemente imersa em água como briófitas e cipós.

O maior percentual de florestas está no trecho paulista porém, o trecho fluminense é o que apresenta a maior área de florestas remanescentes da Mata Atlântica e o trecho mineiro é o que se encontra mais desmatado, apresentando a maior extensão e o maior percentual de áreas de campo e pastagem.

Há subdivisões da mata devido às variações de latitude e altitudes.

Existem diversas classes de cobertura vegetal na região, sendo em sua maior representação Campos/Pastagens (aproximadamente 70%), Vegetação Secundária, Floresta Ombrófila e Floresta Estacional.

Em alguns pontos localizados nas margens do rio e em suas ilhas, há vegetação do tipo ciliar, distribuída de forma irregular.

O processo de ocupação e uso do solo na bacia do rio Paraíba do Sul levou à transformação de uma paisagem predominantemente florestal para uma paisagem não-florestal.

O vale do Paraíba do Sul foi originalmente recoberto por florestas do tipo subcaducifólia tropical, apresentando variada cobertura vegetal. Após a colonização e os ciclos de café e cana-de-açúcar, a agricultura se intensificou e atualmente predominam as pastagens devido ao empobrecimento do solo.

4.2.1.3 *Geomorfologia*

A topografia da região, acidentada e com grandes desníveis, é composta predominantemente pelas Serras do Mar e da Mantiqueira e pelo Vale do Paraíba.

A Serra do Mar apresenta-se paralela à Serra da Mantiqueira, como um paredão abrupto e forma grande parte do limite sul da bacia, recebendo outras denominações como Bocaina, Araras, Órgãos, Rio Preto e Macaé, entre outras. Suas altitudes variam entre 500 e 1000 m sobre o planalto. Possui picos acima de 1.500 m e monumentos

UHE ITAOCARA I

geológicos importantes tais como o Dedo de Deus (1.692 m), a Pedra da Cruz (2.130 m), a Pedra do Sino (2.263 m), entre outros.

A Serra da Mantiqueira compreende um maciço rochoso que possui grande área de terras altas, entre 1.000 e quase 3.000 m de altitude, estabelecendo as divisas dos estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro. Seu ponto culminante é a Pedra da Mina (2.798m) entre Minas e São Paulo. É rebaixada na altura da Zona da Mata (MG), dando passagem às bacias dos rios Pomba e Muriaé e, no limite entre os estados de Minas Gerais e Espírito Santo, ergue-se com o nome de Serra do Caparaó. Existem diversas Unidades de Conservação, como a Área de Proteção Ambiental Serra da Mantiqueira, dividida entre os três estados que se situa aproximadamente a 90 km de São Paulo, 170 km de Belo Horizonte e 198 km do Rio de Janeiro.

O vale do rio Paraíba do Sul localiza-se entre a Serra do Mar e da Mantiqueira com altitudes entre 100 e 500 m.

O Empreendimento UHE Itaocara I, em estudo, situa-se na região do médio vale do rio Paraíba, onde o relevo é caracterizado por serras e morros alongados, de forma geral vertentes de forte declividade, ocorrendo ocasionalmente encostas rochosas.

Essa região apresenta forte tendência à erosão, ostentando nas vertentes mais íngremes paredões rochosos, marcas de deslizamento, formação de ravinas e voçorocas, consequência principalmente da ação antrópica na devastação da cobertura vegetal e da suscetibilidade à erosão dos solos residuais existentes.

4.2.1.4 Solos

Na região em estudo foram identificadas as seguintes classes de solos: Latossolo Vermelho Amarelo álico e distrófico (LV1 a LV5), Podzólico Vermelho Amarelo álico e distrófico Tb (PV1 e PV2), Cambissolo álico e distrófico Tb (C1 a C6) e Afloramentos Rochosos.

Os Latossolos são provenientes de materiais de alteração de rochas ácidas (granitos, gnaisse e rochas com distintos graus de metamorfização) e de depósitos coluvionares, ocupando as encostas e meias encostas dos contrafortes da Serra do Mar. São solos de reduzida fertilidade natural. Apresentam, em geral, textura argilosa e média/argilosa e são relativamente profundos e permeáveis.

Os Cambissolos têm menor profundidade (de 0,5 a 1,5 m), ainda em processo de desenvolvimento, com domínio de texturas média e argilosa, podendo ou não apresentar pedras em sua superfície. Sua fertilidade natural é muito variável, de baixa a alta. O relevo é forte ondulado, ou montanhoso, o que favorece a sua erosão uma vez removida a cobertura vegetal de floresta.

Os solos Podzólicos possuem teor de argila na superfície muito baixo mas, em subsuperfície, esse teor é médio/alto. Sendo assim, a velocidade de infiltração da água é muito rápida na superfície e lenta em subsuperfície, causando erosão severa. Possuem baixa reserva de nutrientes, acidez e problemas de erosão. Bem manejados, são solos relativamente férteis e que são indicados às atividades agropastoris.

O afloramento rochoso é caracterizado pela ausência ou pouca profundidade do solo, criando condições de seca nos períodos entre as chuvas, influenciando a composição florística, a forma de organização e as características adaptativas dos vegetais encontrados.

Na região em estudo, atualmente, grande parte das terras encontra-se degradada e improdutiva. A pecuária e a agricultura vêm sofrendo grande retração na maioria dos

UHE ITAOCARA I

municípios da bacia, muitas áreas de pastagem estão sem uso efetivo e o processo de degradação ambiental por erosão é provavelmente a principal causa dessa situação.

A argila e areia natural, ainda hoje, são extraídos para a indústria da construção civil e olarias da região.

4.2.1.5 Área de Drenagem e Perímetro

A área de drenagem corresponde à projeção em um plano horizontal da superfície contida entre os divisores topográficos de uma bacia, sendo um dado fundamental para caracterização do potencial de um empreendimento hidrelétrico, pois traduz a capacidade de captação de água.

O perímetro representa o comprimento total do contorno da bacia. Para aumentar a confiabilidade do dado referente à área de drenagem, a mesma foi verificada utilizando-se os Modelos Digitais de Terreno disponibilizados pela Embrapa, juntamente com as curvas de nível formadas para este terreno pelo software Global Mapper e a base hidrográfica disponibilizada pela ANEEL.

A Tabela 4.1 apresenta os valores obtidos para o barramento da UHE Itaipava I.

Tabela 4.1 - Área de Drenagem.

| Parâmetro | Valor |
|-------------------------------------|-----------|
| Área de Drenagem (km ²) | 33.680,00 |
| Perímetro (km) | 1.548,60 |

4.2.1.6 Índice de Conformação

O índice de conformação superficial ou fator de forma é um parâmetro determinado pela relação entre a área de uma bacia hidrográfica e o quadrado de seu comprimento axial, medido ao longo do curso d'água desde a seção de referência até a cabeceira mais distante, no divisor de águas, sendo que sua expressão é indicada abaixo:

$$K_f = \frac{A_D}{L^2}$$

Onde:

K_f – Índice de conformação ou fator de forma (adimensional);

A_D – Área de drenagem da bacia (km²);

L – Comprimento do curso d'água principal (km).

O índice de conformação relaciona a forma da bacia com um retângulo e, quanto maior o seu valor, maior a potencialidade de ocorrência de picos de enchentes elevados (GARCEZ & ALVAREZ, 1998), sob a perspectiva de que se a bacia for

estreita e longa, menor será a chance de um evento de chuva intensa cobrir toda a área em questão.

A Tabela 4.2 apresenta, respectivamente, os valores obtidos para o índice de conformação da bacia correspondente ao eixo do local do aproveitamento, bem como o valor dos parâmetros utilizados para a sua obtenção.

Tabela 4.2 - Índice de Conformação.

| Parâmetro | Valor |
|--|-----------|
| Área de Drenagem (km ²) | 33.680,00 |
| Comprimento do curso d'água principal (km) | 787,00 |
| Kf | 0,05 |

O valor do índice de conformação obtido para a UHE Itaocara I é considerado baixo. Isso significa que, não contando com a interferência de outros fatores, há menor possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda sua extensão, se comparada com uma área de mesmo tamanho, mas com maior fator de forma, e, conseqüentemente, um menor tempo de resposta a essa chuva, resultando em menor tendência de cheias elevadas.

4.2.1.7 Índice de Compacidade

A relação do perímetro de uma bacia hidrográfica e a circunferência do círculo de área igual à da respectiva bacia constitui o índice de compacidade. Desde que outros fatores não interfiram, valores menores do índice de compacidade indicam maior potencialidade de produção de picos de enchentes elevados (GARCEZ & ALVAREZ, 1998), sendo que a proximidade do valor 1 (um) indica bacia circular e, conseqüentemente, maior potencialidade de ocorrência de picos elevados de cheias, uma vez que em uma bacia hipotética circular, os escoamentos de um grande número de afluentes alcançariam ao mesmo tempo o exutório.

Para uma bacia qualquer, chamando de P o seu perímetro e C a circunferência do círculo de área igual à da bacia, tem-se que:

$$K_c = \frac{0,28 * P}{\sqrt{AD}}$$

Onde:

Kc – Índice de Compacidade (adimensional);

P – Perímetro da bacia (km);

AD – área de drenagem da bacia (km²).

A Tabela 4.3 apresenta os valores obtidos para o índice de compacidade, bem como o valor dos parâmetros utilizados para a sua obtenção.

Tabela 4.3 - Índice de Compacidade.

| Parâmetro | Valor |
|-------------------------------------|-----------|
| Área de Drenagem (km ²) | 33.680,00 |
| Perímetro (km) | 1.548,60 |
| Kc | 2,36 |

O valor obtido traduz um intervalo de tempo comparativamente elevado para que todos os afluentes possam contribuir com a vazão no exutório da bacia da UHE Itaocara I, resultando em um local pouco sujeito a enchentes.

4.2.1.8 Densidade de Drenagem

A densidade de drenagem correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia hidrográfica. O cálculo da densidade de drenagem é importante na análise das bacias hidrográficas, porque apresenta relação inversa com a extensão do escoamento superficial. À medida que aumenta o valor numérico da densidade há diminuição quase proporcional do tamanho dos componentes fluviais das bacias de drenagem (CHRISTOFOLETTI, 1980).

$$D_d = \frac{L_t}{AD}$$

Onde:

Dd – Densidade de drenagem (km/km²);

Lt – Comprimento total dos cursos d'água da bacia (km);

AD – Área de drenagem da bacia (km²).

Embora existam poucas informações sobre a densidade de drenagem de bacias hidrográficas, pode-se afirmar que este índice varia de 0,5 km/km², para bacias com drenagem pobre, a 3,5 km/km² ou mais, para bacias excepcionalmente bem drenadas (VILLELA, 1975).

Tabela 4.4 - Densidade de Drenagem.

| Parâmetro | Valor |
|--|-----------|
| Área de Drenagem (km ²) | 33.680,00 |
| Comprimento total dos cursos d'água (km) | 6.581,00 |
| Dd (km/km ²) | 0,20 |

O valor do índice de densidade de drenagem resultante é baixo, assim indicando certo grau de represamento. Consequentemente pode-se esperar uma resposta não muito rápida aos eventos de cheia.

4.2.1.9 Extensão Média do Escoamento Superficial

Esta característica representa a extensão média que uma gota de água percorreria até encontrar a calha mais próxima. Considerando que a área de drenagem possa ser representada de maneira retangular, o comprimento total dos cursos d'água representariam o lado L deste quadrado. A extensão média é calculada pela seguinte fórmula:

$$l = \frac{AD}{4L_t}$$

Sendo:

AD – Área de drenagem da bacia (km²);

L_t – Comprimento total dos cursos d'água da bacia (km);

l – Extensão média do escoamento superficial (km);

A Tabela 4.5 apresenta o valor calculado.

Tabela 4.5 - Extensão Média do Escoamento.

| Parâmetro | Valor |
|--|-----------|
| Área de Drenagem (km ²) | 33.680,00 |
| Comprimento total dos cursos d'água (km) | 6.581,00 |
| l (km) | 1,28 |

O valor de 1,28 obtido confirma a baixa densidade de drenagem, uma vez que os dois fatores são inversamente proporcionais.

4.2.1.10 Declividade

A declividade, de forma genérica, é determinada a partir do perfil longitudinal, o qual é estabelecido em função das distâncias horizontais percorridas entre cada cota marcada no mapa topográfico, sendo que a média é obtida dividindo-se o desnível entre a nascente e a foz pela extensão total do curso d'água principal, conforme indicado na fórmula abaixo.

$$D = \frac{H}{L}$$

Onde:

D – Declividade (m/m);

H – Desnível (m);

L – Comprimento do curso d'água principal no trecho (km).

A diferença de nível traduz a energia potencial disponível para o escoamento, fazendo com que a velocidade do escoamento de um rio dependa da declividade dos canais fluviais. Quanto maior a declividade, maior será a velocidade de escoamento e mais pronunciados e estreitos serão os hidrogramas de enchentes. A declividade para o trecho de interesse do rio Paraíba do Sul é mostrada na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Declividade.

| Parâmetro | Valor |
|---|----------|
| Desnível entre nascente e ponto da barragem (m) | 1.513,85 |
| Comprimento do curso d'água principal (km) | 787,00 |
| D (m/m) | 0,002 |

4.2.1.11 Tempo de Concentração

Segundo o "U.S. Bureau of Reclamation", tempo de concentração (t_c) é o tempo necessário para que toda a área da bacia contribua para o escoamento superficial na secção de saída.

Para o cálculo do tempo de concentração da bacia envoltória do empreendimento utilizou-se a fórmula do Soil Conservation Service:

$$t_c = 0,95 * \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

Onde:

t_c – Tempo de concentração (h);

H – Desnível (m);

L – Comprimento do curso d'água principal no trecho (km).

A Tabela 4.7 apresenta o valor obtido para o tempo de concentração, bem como o valor dos parâmetros utilizados para a sua obtenção.

Tabela 4.7 - Tempo de Concentração.

| Parâmetro | Valor |
|---|----------|
| Desnível entre nascente e ponto da barragem (m) | 1.513,85 |
| Comprimento do curso d'água principal (km) | 787,00 |
| t_c (h) | 125,38 |

O valor obtido encontra-se em conformidade com os demais parâmetros fisiográficos já apresentados anteriormente, e indica que a bacia apresenta, em média, cerca de 125 horas para chegar à contribuição máxima.

4.2.1.12 Características Fisiográficas

Os valores apresentados são resumidos na Tabela 4.8. Conclui-se que a bacia da UHE Itaipava I está menos propensa a uma rápida resposta para cheias de pico, com uma densidade de drenagem pobre e consequente elevada extensão de escoamento superficial.

Tabela 4.8 - Características Fisiográficas.

| Parâmetro | Valor |
|--|-----------|
| Área de Drenagem (km ²) | 33.680,00 |
| Perímetro (km) | 1.548,60 |
| Comprimento do curso d'água principal (km) | 787,00 |
| Comprimento total dos cursos d'água (km) | 6.581,00 |
| Desnível entre nascente e ponto da barragem (m) | 1.513,85 |
| Fator de Forma – Kf | 0,05 |
| Índice de Compacidade – Kc | 2,36 |
| Densidade de Drenagem - Dd (km/km ²) | 0,20 |
| Extensão Média de Escoamento – l (km) | 1,28 |
| Declividade – D (m/m) | 0,002 |
| Tempo de Concentração – tc (h) | 125,38 |

4.2.2 Caracterização Climatológica e Pluviométrica

Além da caracterização fisiográfica, deve-se levar em conta o comportamento pluviométrico e o clima para entender o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica. A seguir serão apresentados os dados relevantes a esta compreensão.

Na bacia do rio Paraíba do Sul existe uma grande variação climática devido às diferenças significativas de altitude e em função de sua posição paralela e próxima à costa, provocando alterações na distribuição temporal e espacial da chuva e da temperatura.

A bacia é influenciada por perturbações extratropicais e sistemas tropicais. As perturbações extratropicais da região são representadas pelas incursões de massas de ar frio, provenientes do sul do continente, a partir de um deslocamento SW/NE. As perturbações tropicais são representadas pelos sistemas convectivos provenientes dos contrastes térmicos sobre o continente. No momento em que as frentes frias associam-se à convecção pré-existente na área, sob a influência de um escoamento NW, ocorrem chuvas intensas no local e aumento do índice pluviométrico. Quando nesses sistemas existe alguma condição de bloqueio, permanecem alguns dias estacionários.

O fluxo de vapor que penetra nesta região através da circulação atmosférica, em situações de chuvas intensas, é oriundo predominantemente de sudoeste, associado às penetrações de massa de ar frio do sul e do noroeste do continente, este, com origem na região Amazônica.

Em determinadas condições atmosféricas configura-se a formação de uma estreita zona de convergência que, em determinados momentos, assemelha-se a uma frente

fria de menores proporções. Esta estrutura chama-se linha de instabilidade e é responsável pela formação de nebulosidade cumuliforme, acompanhada de chuvas e trovoadas, em geral de curta duração, no máximo duas horas.

A convecção local apresenta-se também como um mecanismo de formação de nuvens do tipo cumulus que pode provocar chuvas fortes localizadas, geralmente em áreas de 10 a 20 km² e de curta duração, entre 30 minutos e 01 (uma) hora.

A posição geográfica e a topografia possibilitam um reforço na ascensão adiabática, em associação com a circulação geral e convecção local.

Devido a um aquecimento diferencial de superfície, a convecção provoca uma flutuabilidade do ar quente que tem menor densidade que o ar à sua volta, subindo e se resfriando, gerando condições para a condensação e formação de nuvens. Essa condição de instabilidade, em geral, ocorre em condições tropicais e pode estar associada às condições pré-frontais ou ocorrer devido ao aquecimento diferencial diurno, em regiões com características fisiográficas diversas, como é o caso do vale do Paraíba do Sul.

Os sistemas frontais que, em geral, atingem a região, são citados a seguir:

Sistemas formados no Pacífico Sul que se deslocam no sentido SW-NE, passando pela Cordilheira dos Andes e pela Argentina até atingir o sudoeste do Brasil;

Sistemas que se desenvolvem no sul e sudoeste do Brasil, associados a vértices ciclônicos ou cavados em altos níveis, chegando pela costa oeste da América do Sul, vindos do Pacífico;

Sistemas que se organizam no sul e sudoeste do Brasil com intensa convecção, associada à instabilidade causada pelo jato subtropical;

Sistemas resultantes de ciclogênese e frontagênese, que se organizam no sul do Brasil e norte da Argentina e Paraguai.

A topografia exerce uma grande influência nos padrões climáticos da região, principalmente no que se refere à precipitação e temperatura. As serras do Mar e da Mantiqueira orientam-se quase transversalmente ao escoamento médio da baixa troposfera. Esta situação, junto às discontinuidades das perturbações extratropicais, provoca um aumento considerável do regime pluviométrico em função da altitude. Nos dois rebaixamentos da serra do Mar, observam-se penetrações maiores de zonas de elevada pluviosidade.

A cada 100 metros de elevação, a temperatura decai aproximadamente de 0,6°C a 1,0°C, situação que depende das posições relativas entre o acidente geográfico e a direção predominante do escoamento do ar na baixa troposfera. Nesse caso, o ar em geral, é mais úmido e frio a barlavento e mais seco e quente a sotavento, considerando sempre o mesmo nível topográfico.

4.2.2.1 *Dados Pluviométricos*

Com a finalidade de subsidiar os estudos hidrometeorológicos e realizar a caracterização pluviométrica da área de abrangência dos estudos, foi selecionada a estação pluviométrica Santo Antônio de Pádua de forma representativa, cujos dados foram disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA). As principais características são apresentadas na Tabela 4.9 a seguir. O critério inicial de escolha desta estação baseou-se na proximidade da mesma com o local do aproveitamento e da boa continuidade dos dados existentes, uma vez que não há nenhuma falha no período disponível. A localização do posto é apresentada na Figura 4..

Tabela 4.9 - Estação Pluviométrica Utilizada.

| Código | Estação | Latitude (S) | Longitude (O) | Período de Dados | Elementos Utilizados |
|---------|----------------------|--------------|---------------|------------------|----------------------|
| 2142058 | Sto Antônio de Pádua | 21°32'31" | 42°10'57" | 1966 - 2015 | P |

Abreviatura: P = Chuva.

4.2.2.2 Dados Climatológicos

Para a determinação climatológica da região da bacia do Rio Paraíba do Sul foi utilizada a estação Cordeiro, disponibilizada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e pela Agência Nacional de Águas (ANA). As principais características são apresentadas na Tabela 4.10 abaixo. A estação localiza-se cerca de 40 km do local do aproveitamento, no município de Cordeiro-RJ. Sua localização é apresentada na Figura 4..

Tabela 4.10 - Estações Climatológicas Utilizadas.

| Código (ANA) | Adicional (INMET) | Estação | Latitude (S) | Longitude (O) | Período de Dados | Elementos Utilizados |
|--------------|-------------------|----------|--------------|---------------|------------------|----------------------|
| 2242074 | 83718 | Cordeiro | 22°02'00" | 42°23'00" | 1971 - 2015 | T; UR ; EV |

Abreviatura: T = Temperatura; UR = Umidade Relativa; EV = Evaporação.

4.2.2.3 Localização das Estações

A localização das estações, com referência ao empreendimento e sua respectiva área de drenagem, é apresentada na Figura 4..

UHE ITAOCARA I

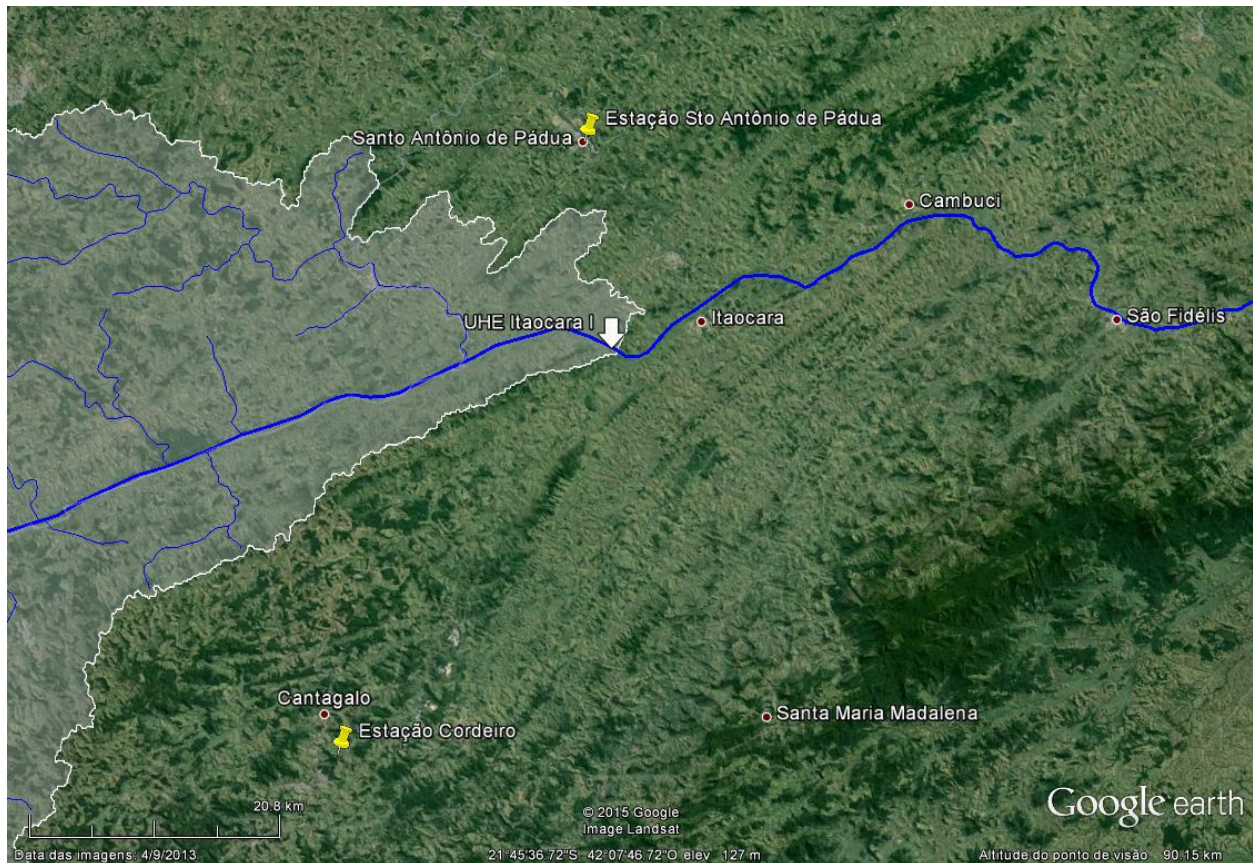


Figura 4.4 - Localização das Estações Pluviométrica e Climatológica.

4.2.2.4 Estudos Pluviométricos

A partir dos dados da ANA, conseguidos pelo Portal HidroWeb, constituiu-se uma série de totais mensais à estação tomada como referência de estudo (Santo Antônio de Pádua – 2142058). Nesta série, têm-se os seguintes valores representativos:

- 48 anos e 5 meses de extensão, iniciando em novembro de 1966 e findando em março de 2015, sem falhas existentes.

A Tabela 4.11 apresenta os totais mensais.

Tabela 4.11 - Precipitação Total Mensal (mm) – Estação Santo Antônio de Pádua.

| Ano | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Total |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|---------|
| 1966 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 185,6 | 245,9 | - |
| 1967 | 295,4 | 152,9 | 169,1 | 49,4 | 6,2 | 2,0 | 12,8 | 0,0 | 5,5 | 59,7 | 438,8 | 32,0 | 1.223,8 |
| 1968 | 84,8 | 229,0 | 37,7 | 32,0 | 1,0 | 7,5 | 9,5 | 45,9 | 93,0 | 66,6 | 96,2 | 193,0 | 896,2 |
| 1969 | 271,5 | 43,8 | 54,3 | 33,2 | 2,0 | 5,2 | 14,5 | 27,2 | 14,2 | 132,5 | 220,0 | 199,8 | 1.018,2 |
| 1970 | 139,2 | 74,7 | 38,7 | 88,6 | 11,5 | 23,0 | 22,6 | 51,8 | 44,2 | 134,5 | 180,1 | 71,9 | 880,8 |
| 1971 | 39,9 | 14,3 | 141,5 | 54,7 | 25,4 | 44,8 | 14,6 | 30,4 | 108,4 | 171,8 | 301,2 | 223,8 | 1.170,8 |
| 1972 | 145,0 | 177,3 | 193,8 | 117,7 | 31,3 | 2,0 | 97,0 | 44,7 | 54,0 | 132,0 | 236,8 | 311,0 | 1.542,6 |
| 1973 | 266,6 | 81,3 | 155,4 | 11,0 | 73,6 | 32,3 | 4,3 | 15,9 | 37,5 | 164,7 | 155,9 | 105,6 | 1.104,1 |
| 1974 | 129,3 | 33,0 | 94,8 | 97,8 | 32,2 | 17,6 | 0,1 | 5,0 | 6,2 | 173,9 | 159,6 | 177,6 | 927,1 |



UHE ITAOCARA I

| Ano | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Total |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| 1975 | 272,4 | 163,4 | 15,6 | 98,0 | 65,2 | 8,0 | 36,8 | 5,0 | 67,4 | 145,0 | 327,2 | 84,6 | 1.288,6 |
| 1976 | 123,0 | 100,0 | 64,2 | 4,2 | 42,0 | 6,8 | 49,6 | 103,4 | 125,2 | 256,8 | 181,8 | 258,8 | 1.315,8 |
| 1977 | 165,4 | 1,0 | 60,6 | 68,6 | 17,0 | 4,8 | 8,6 | 22,0 | 76,8 | 31,2 | 265,4 | 227,4 | 948,8 |
| 1978 | 139,2 | 196,8 | 62,0 | 96,6 | 92,0 | 12,0 | 33,2 | 13,2 | 41,2 | 107,8 | 163,8 | 294,0 | 1.251,8 |
| 1979 | 271,8 | 237,8 | 93,8 | 48,6 | 39,8 | 25,6 | 15,2 | 93,4 | 29,4 | 47,0 | 182,8 | 266,4 | 1.351,6 |
| 1980 | 324,8 | 68,8 | 6,4 | 59,8 | 53,4 | 18,8 | 0,0 | 83,8 | 20,0 | 66,2 | 163,8 | 218,8 | 1.084,6 |
| 1981 | 102,8 | 26,2 | 77,9 | 50,2 | 20,6 | 25,0 | 0,0 | 37,4 | 25,8 | 102,4 | 287,4 | 275,6 | 1.031,3 |
| 1982 | 117,4 | 51,4 | 277,6 | 38,2 | 15,1 | 88,4 | 34,6 | 49,2 | 14,8 | 65,3 | 82,8 | 369,9 | 1.204,7 |
| 1983 | 291,8 | 103,2 | 150,4 | 154,4 | 50,0 | 73,8 | 32,8 | 0,4 | 166,0 | 196,6 | 224,4 | 284,4 | 1.728,2 |
| 1984 | 80,2 | 8,0 | 128,0 | 33,6 | 31,6 | 0,4 | 7,0 | 37,6 | 110,8 | 29,0 | 248,6 | 381,4 | 1.096,2 |
| 1985 | 431,7 | 102,6 | 238,4 | 17,4 | 64,4 | 35,8 | 3,0 | 22,4 | 45,2 | 66,0 | 133,6 | 194,2 | 1.354,7 |
| 1986 | 143,8 | 85,2 | 128,6 | 53,2 | 24,8 | 15,0 | 25,2 | 76,6 | 14,4 | 18,0 | 79,4 | 335,8 | 1.000,0 |
| 1987 | 246,2 | 133,6 | 70,8 | 129,8 | 87,4 | 12,2 | 17,2 | 1,2 | 56,6 | 102,4 | 186,2 | 130,2 | 1.173,8 |
| 1988 | 92,8 | 97,2 | 92,4 | 106,0 | 139,0 | 35,8 | 3,6 | 0,0 | 12,0 | 79,8 | 175,6 | 265,3 | 1.099,5 |
| 1989 | 128,0 | 170,9 | 94,8 | 101,6 | 11,5 | 33,7 | 31,5 | 11,9 | 81,5 | 144,3 | 58,2 | 167,1 | 1.035,0 |
| 1990 | 26,8 | 66,5 | 93,1 | 8,1 | 46,2 | 3,7 | 22,2 | 8,8 | 57,2 | 46,3 | 87,6 | 131,6 | 598,1 |
| 1991 | 272,4 | 137,4 | 114,1 | 188,5 | 9,5 | 15,9 | 11,3 | 2,1 | 77,4 | 58,3 | 267,0 | 157,9 | 1.311,8 |
| 1992 | 240,0 | 97,1 | 48,6 | 191,3 | 56,8 | 2,5 | 12,6 | 5,8 | 212,2 | 133,3 | 249,6 | 131,6 | 1.381,4 |
| 1993 | 67,6 | 143,3 | 127,3 | 84,9 | 2,1 | 6,3 | 1,8 | 14,8 | 54,9 | 97,1 | 61,3 | 152,8 | 814,2 |
| 1994 | 264,2 | 28,9 | 134,7 | 151,9 | 46,4 | 57,3 | 20,1 | 13,4 | 0,0 | 75,2 | 57,9 | 123,2 | 973,2 |
| 1995 | 149,5 | 234,4 | 35,8 | 52,5 | 21,6 | 1,0 | 19,3 | 10,9 | 28,4 | 144,5 | 170,3 | 290,9 | 1.159,1 |
| 1996 | 228,0 | 76,0 | 113,7 | 50,2 | 14,6 | 20,5 | 0,0 | 31,2 | 143,4 | 94,7 | 259,8 | 353,9 | 1.386,0 |
| 1997 | 221,4 | 84,3 | 118,3 | 119,4 | 3,3 | 8,7 | 1,8 | 30,0 | 117,6 | 89,4 | 157,1 | 201,1 | 1.152,4 |
| 1998 | 137,0 | 171,1 | 18,2 | 19,1 | 118,1 | 9,5 | 4,8 | 74,4 | 13,6 | 108,9 | 160,0 | 147,8 | 982,5 |
| 1999 | 182,4 | 51,4 | 94,5 | 0,9 | 0,0 | 13,2 | 9,4 | 2,0 | 11,6 | 148,0 | 212,2 | 180,2 | 905,8 |
| 2000 | 217,9 | 170,4 | 92,7 | 29,9 | 0,7 | 1,1 | 8,1 | 27,7 | 101,5 | 83,5 | 155,1 | 368,0 | 1.256,6 |
| 2001 | 142,2 | 41,9 | 94,4 | 5,0 | 49,9 | 2,9 | 0,6 | 0,2 | 69,2 | 92,3 | 231,0 | 365,7 | 1.095,3 |
| 2002 | 138,8 | 118,9 | 10,3 | 1,8 | 20,2 | 0,3 | 38,9 | 16,4 | 120,0 | 98,7 | 214,2 | 250,3 | 1.028,8 |
| 2003 | 287,0 | 38,0 | 60,3 | 46,4 | 13,7 | 0,0 | 10,4 | 82,8 | 72,9 | 106,7 | 205,1 | 323,5 | 1.246,8 |
| 2004 | 285,0 | 136,1 | 119,6 | 71,1 | 27,0 | 62,2 | 44,8 | 1,6 | 4,0 | 130,7 | 136,2 | 346,6 | 1.364,9 |
| 2005 | 232,7 | 216,4 | 134,5 | 73,0 | 61,9 | 68,4 | 54,2 | 2,3 | 38,1 | 74,0 | 197,8 | 198,0 | 1.351,3 |
| 2006 | 89,5 | 201,6 | 149,7 | 116,5 | 50,7 | 8,1 | 20,8 | 11,4 | 119,1 | 94,6 | 245,1 | 201,8 | 1.308,9 |
| 2007 | 497,3 | 55,2 | 50,5 | 49,3 | 20,2 | 9,0 | 9,4 | 1,1 | 13,0 | 104,2 | 157,0 | 155,0 | 1.121,2 |
| 2008 | 313,8 | 145,9 | 248,1 | 124,7 | 7,4 | 22,0 | 24,1 | 7,4 | 56,6 | 70,5 | 227,1 | 484,7 | 1.732,3 |
| 2009 | 295,4 | 134,8 | 121,2 | 69,5 | 15,9 | 67,5 | 8,5 | 23,2 | 101,3 | 225,1 | 133,3 | 277,2 | 1.472,9 |
| 2010 | 109,9 | 19,5 | 211,8 | 190,2 | 24,3 | 5,0 | 29,2 | 15,5 | 22,6 | 166,9 | 284,3 | 378,5 | 1.457,7 |
| 2011 | 120,0 | 61,4 | 190,1 | 124,9 | 69,0 | 11,7 | 7,8 | 21,0 | 9,1 | 199,8 | 188,5 | 232,1 | 1.235,4 |
| 2012 | 451,1 | 18,6 | 207,3 | 41,7 | 104,6 | 3,9 | 8,8 | 65,6 | 16,7 | 34,7 | 205,4 | 61,4 | 1.219,8 |
| 2013 | 177,3 | 40,1 | 282,3 | 44,5 | 38,3 | 43,9 | 13,6 | 25,4 | 44,2 | 57,2 | 219,8 | 288,7 | 1.275,3 |
| 2014 | 22,7 | 0,0 | 38,4 | 50,0 | 11,5 | 21,0 | 12,3 | 28,2 | 0,0 | 13,3 | 292,5 | 125,1 | 615,0 |
| 2015 | 27,3 | 162,9 | 152,3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Mín. | 22,7 | 0,0 | 6,4 | 0,9 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 13,3 | 57,9 | 32,0 | - |
| Máx. | 497,3 | 237,8 | 282,3 | 191,3 | 139,0 | 88,4 | 97,0 | 103,4 | 212,2 | 256,8 | 438,8 | 484,7 | - |
| Média | 193,9 | 104,3 | 112,4 | 71,9 | 37,7 | 21,2 | 19,3 | 28,3 | 59,9 | 105,0 | 194,1 | 229,4 | 1.170,3 |

A 4.5 apresenta o histograma médio mensal obtido para o local da UHE Itaocara I, representado por meio do posto Santo Antônio de Pádua, onde verifica-se a existência de um período seco característico entre os meses de abril e setembro.

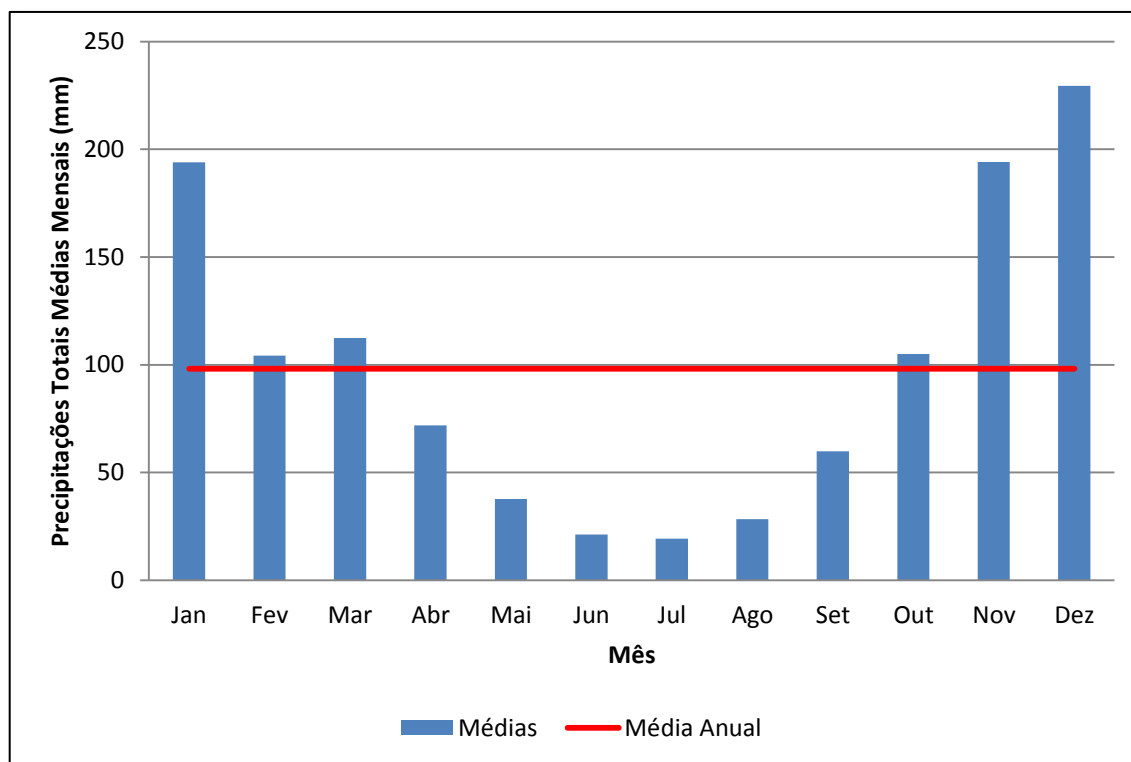


Figura 4.5 - Precipitação Mensal Média - Bacia da UHE Itaocara I.

4.2.2.5 Estudos Climatológicos

Temperatura

Na bacia, a temperatura média anual de longo período está em torno de 20,5°C, apresentando uma distribuição espacial bem regular, com variações de 24,1°C em fevereiro a 17,2°C em julho (médias mensais). A sua distribuição no tempo é típica das zonas temperadas, com máximas no trimestre de janeiro a março e mínimas no trimestre de maio a julho. As temperaturas máximas podem alcançar 30,7°C no verão, enquanto que as mínimas podem atingir 12,3°C durante os meses de inverno.

A Figura 4.6 mostra as temperaturas máximas, médias e mínimas para a estação climatológica Cordeiro. As temperaturas máximas variam entre 30,7°C e 24,3°C, enquanto as mínimas ficam em torno de 12,3°C e 19,0°C, com as estações do ano bem definidas.

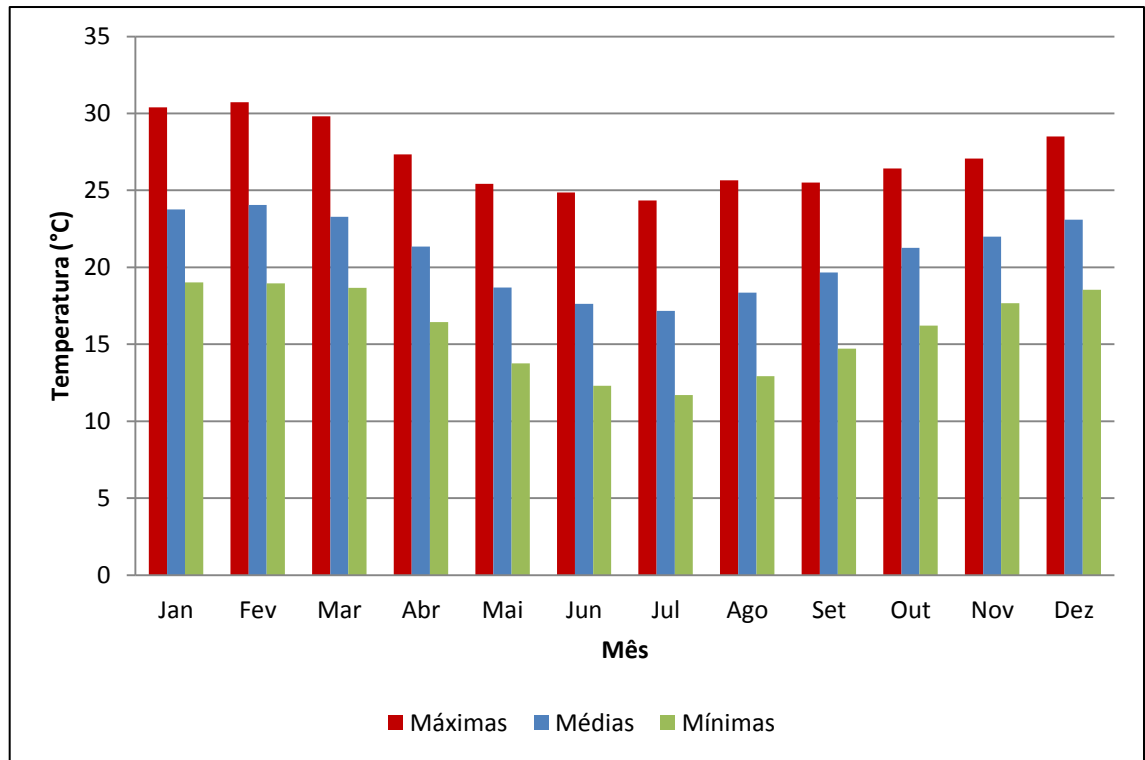


Figura 4.6 - Temperaturas Máximas, Médias e Mínimas - Estação Climatológica Cordeiro.

Evaporação

Na região não foram encontrados dados de medições de evaporação resultantes de um Tanque Classe A. Portanto, para a caracterização da evaporação do reservatório, foram utilizados os dados de evaporação obtidos de um tanque, localizado na estação Cordeiro. A Figura 4.7 apresenta a média dos valores observados.

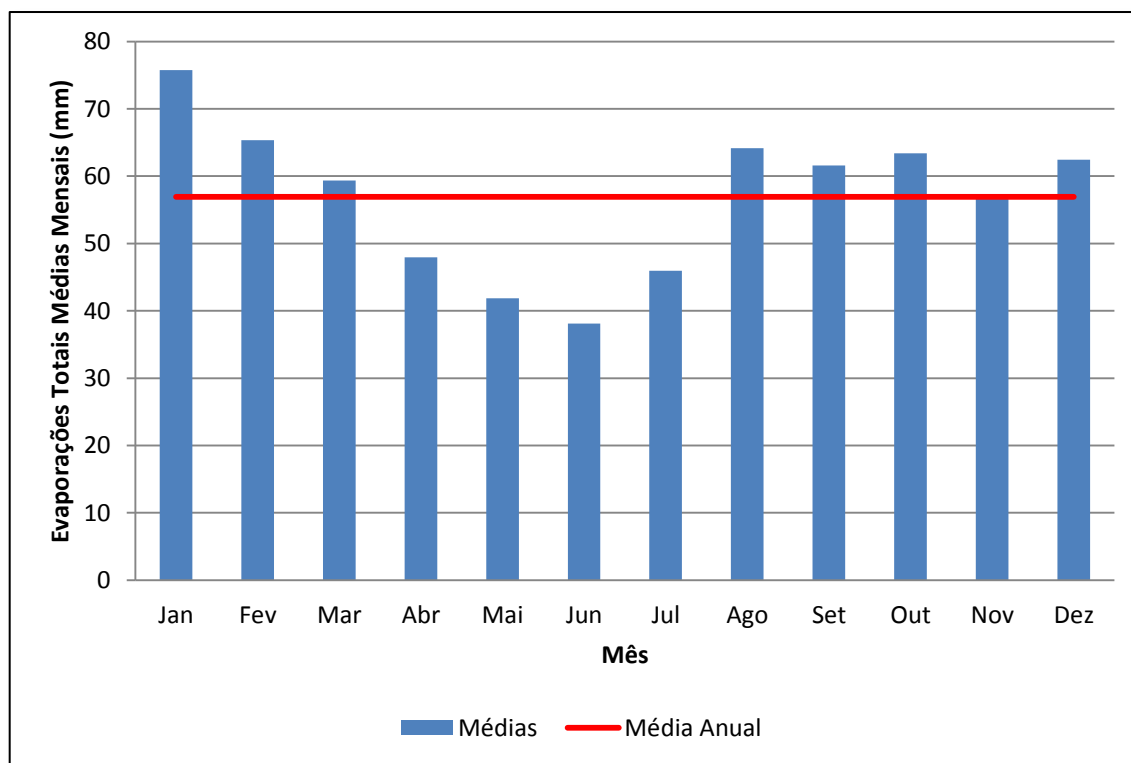


Figura 4.7 - Evaporações Totais Mensais (mm) - Estação Climatológica Cordeiro.

A evaporação média é de cerca de 57,0 mm, com máximo de 75,7 mm em janeiro e mínimo de 38,1 mm em junho, com um comportamento análogo ao das temperaturas.

Umidade Relativa do Ar

Segundo os dados observados na estação climatológica Cordeiro, elaborou-se o gráfico apresentado na Figura 4.8, o qual apresenta a variação da umidade relativa ao longo do ano no local da UHE Itaocara I.

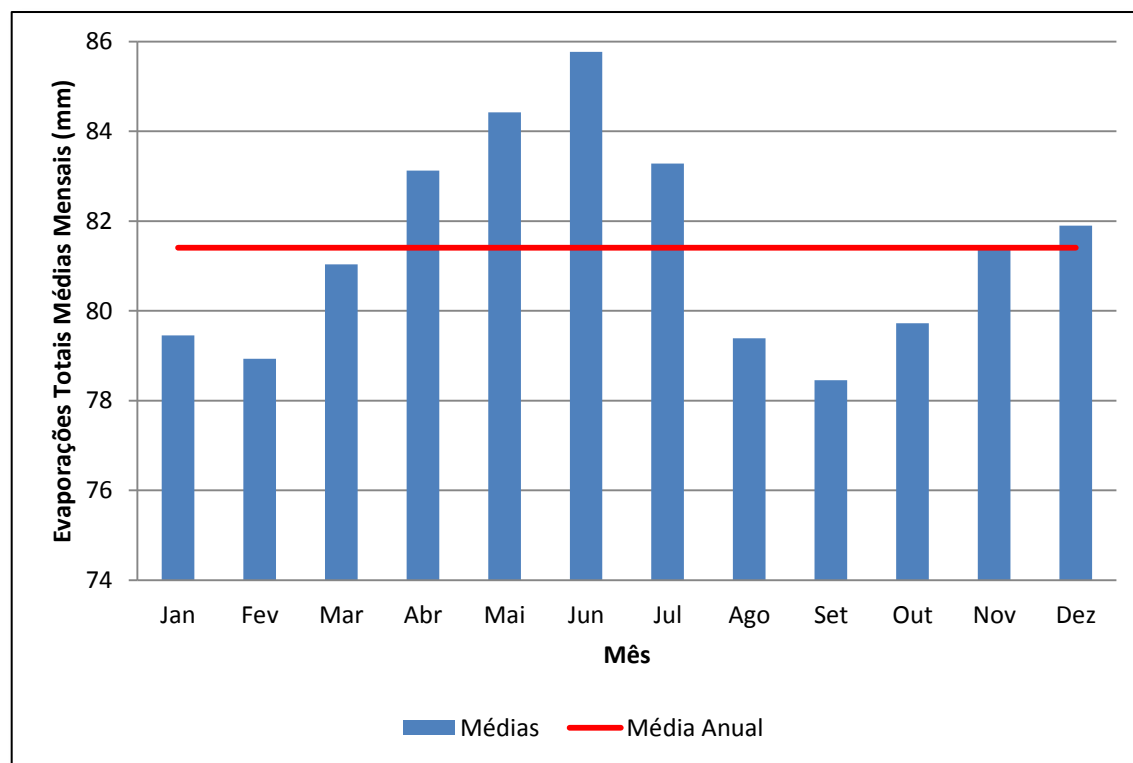


Figura 4.8 - Umidade Relativa - Estação Climatológica Cordeiro.

A bacia se caracteriza como uma região de ambiente sempre úmido, com valores médios anuais em torno de 81,4%, sendo que de agosto a outubro encontram-se os meses com menor umidade relativa, com média de 79,2% nos três meses, enquanto que de abril a julho os meses de maior umidade relativa, com média de 84,1% nos quatro meses.

Classificação

A partir dos valores apresentados, pôde-se classificar a climatologia da bacia hidrográfica da UHE Itaocara I segundo as metodologias de Köppen e Thornthwaite.

O método de Köppen correlaciona as temperaturas, as precipitações e as características sazonais de ambos. Para a região da UHE Itaocara I, o clima é classificado por Awa, isto é, clima tropical chuvoso, com estações secas nos meses de outono e inverno, cuja temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C.

Na classificação de Thornthwaite os limites são estabelecidos quantitativamente, considerando a evapotranspiração potencial, a precipitação e a localização da região em estudo. Para esta metodologia, a classificação resultante é AE'a'r, ou seja, tipo perúmido de umidade climática, com eficiência térmica de geada com baixa concentração no verão e pouco déficit hídrico.

4.2.3 Caracterização do Regime Fluvial

A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul apresenta cerca de 800 MW de potência já instalados, distribuídos em 30 usinas hidrelétricas de grande porte e pequenas centrais hidrelétricas.

UHE ITAOCARA I

Além disso, as águas transpostas para a vertente atlântica da serra do Mar, através da Usina Elevatória – UEL Santa Cecília, contribuem para geração de energia elétrica no Complexo Hidrelétrico de Lajes, com mais 850 MW de potência instalada.

Os aproveitamentos hidrelétricos instalados na bacia hidrográfica a montante de Itaocara I alteraram o comportamento fluvial natural no local do empreendimento.

A Usina Hidrelétrica de Ilha dos Pombos, que iniciou operação em 1924, é o mais antigo aproveitamento hidrelétrico localizado no rio Paraíba do Sul, sendo também o mais próximo da UHE Itaocara I. Com uma área de drenagem de aproximadamente 32.265 km², controla 95% da área contribuinte à barragem de Itaocara.

A usina de Ilha dos Pombos opera a fio d'água, isto é, sem realizar regularização de vazões, de modo que as vazões médias diárias e mensais no rio Paraíba do Sul não sofrem alteração significativa, permanecendo bem semelhantes às vazões afluentes.

Posteriormente, em 1952, foi implantada a UEL Santa Cecília, com capacidade de captar e transpor vazões do rio Paraíba do Sul até a vazão máxima bombeada de 160 m³/s.

No eixo da barragem de Santa Cecília, a área de drenagem é 16.609 km², o que equivale a 50% da área total afluente à barragem da UHE Itaocara I. A transposição de vazões para a bacia do rio Guandu resultou em alteração significativa do comportamento das vazões do rio Paraíba do Sul a jusante.

Em 1969, entrou em operação a UHE Funil, situada pouco a montante da UEL Santa Cecília, em local com 13.400 km² de área de drenagem, equivalente a 40% da área afluente a Itaocara.

O reservatório dessa usina tem capacidade para regularizar vazões, de modo que também provocou uma alteração no comportamento fluvial a jusante. Além disso, a capacidade de regularização do reservatório de Funil é ainda potencializada pelos reservatórios de Paraibuna-Paraitinga e Jaguari, situados a montante, nas sub-bacias do Alto Vale e Médio Vale Superior do Paraíba.

As outras usinas hidrelétricas implantadas na bacia do rio Paraíba do Sul não interferem significativamente no comportamento das vazões no trecho fluvial da UHE Itaocara I pelas seguintes razões: por operarem a fio d'água; por controlarem áreas de drenagem relativamente pequenas; ou por estarem localizadas em afluentes com desemboque a jusante de Itaocara, como é o caso das usinas dos rios Pomba e Muriaé.

Os reservatórios dos aproveitamentos hidrelétricos Paraibuna-Paraitinga, Santa Branca, Jaguari e Funil são operados com a finalidade principal de regularização das vazões afluentes à UEL Santa Cecília, cujas vazões bombeadas suprem as usinas hidrelétricas do Complexo de Lajes (Nilo Peçanha, Fontes Nova, Pereira Passos) e o abastecimento público de água da Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Nesta operação, de acordo com a legislação vigente, precisam ser garantidas vazões mínimas no rio Paraíba do Sul a jusante da UEL Santa Cecília e no Ribeirão das Lajes a jusante da UHE Pereira Passos.

Atualmente, a operação do sistema hidráulico do rio Paraíba do Sul e do Complexo de Lajes é praticada conforme as regras operativas estabelecidas na Resolução ANA nº 211/2003, com ajustes temporários decorrentes de condições hidrológicas críticas desfavoráveis.

A Resolução ANA nº 211/03 estabeleceu uma defluência mínima de 71 m³/s e também um bombeamento mínimo de 119 m³/s, para a UEL Santa Cecília. Na vertente



UHE ITAOCARA I

atlântica, para a UHE Pereira Passos, que faz parte do Complexo de Lajes, a vazão mínima liberada foi definida como 120 m³/s, para atendimento dos requisitos do rio Guandu que abastece a Região Metropolitana.

A Resolução ANA nº 211/03 define também que, quando a vazão incremental entre a UHE Funil e a UEL Santa Cecília for maior que 110 m³/s, a vazão emergencial de 71 m³/s a jusante de Santa Cecília deverá ser gradativamente aumentada, até atingir o limite da vazão mínima normal de 90 m³/s.

A Figura 4.9 apresenta um esquema da bacia de drenagem do Rio Paraíba do Sul contendo os principais aproveitamentos existentes.

Nos itens a seguir serão apresentadas as vazões definidas no Edital de Leilão A-5 de 2015, os estudos hidrológicos apresentados na etapa de Projeto Básico e os estudos elaborados pela VLB Engenharia, com base na atualização das séries hidrológicas disponíveis na bacia hidrográfica.

UHE ITAOCARA I

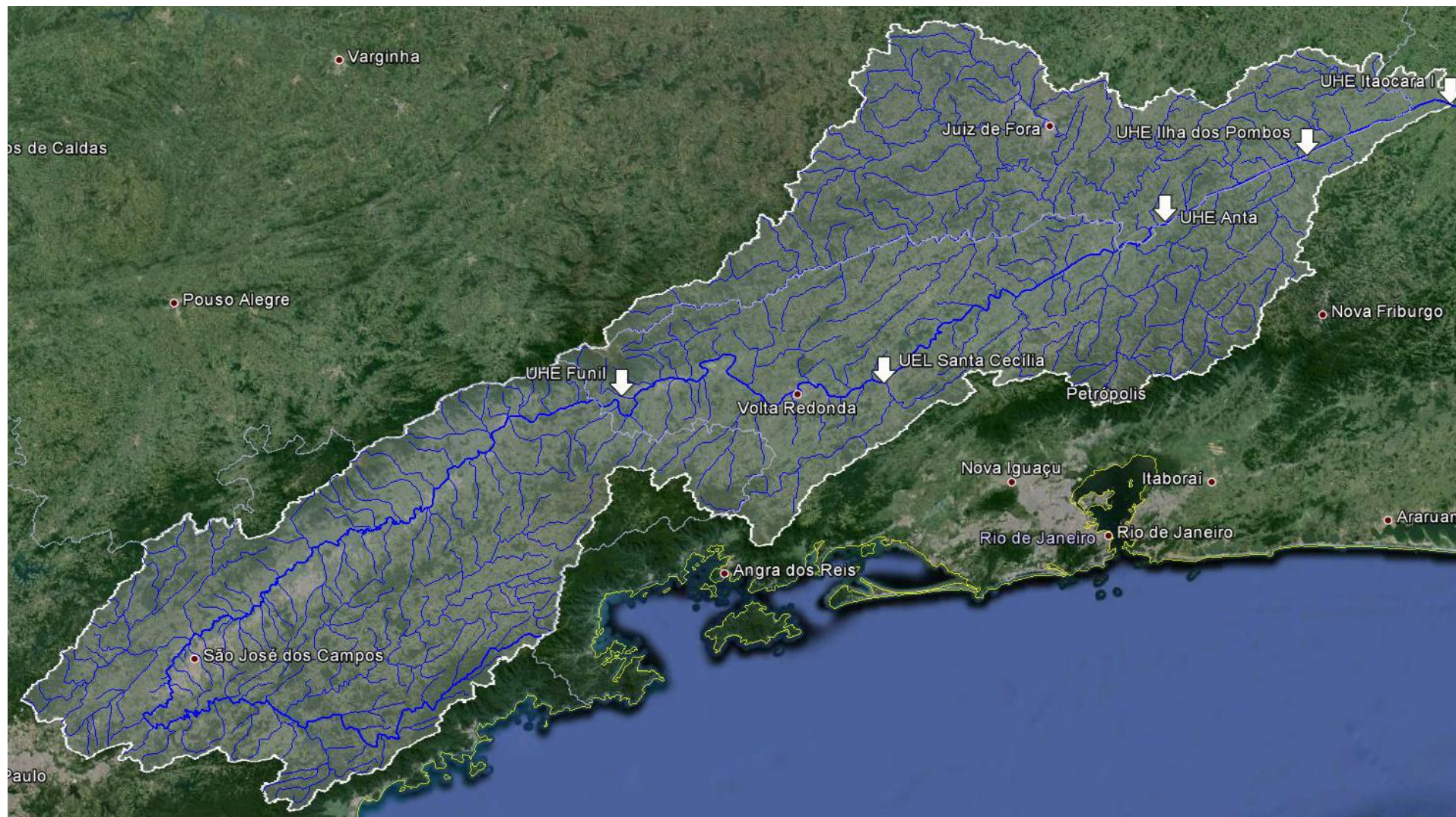


Figura 4.9 - Representação Completa da Bacia do Rio Paraíba do Sul até a UHE Itaocara.

4.2.3.1 Leilão de Energia Nova A-5/2015

Vazões Médias Mensais

As vazões apresentadas a seguir são aquelas definidas de acordo com a Nota Técnica EPE-DEE-RE-062-2015-R0, de 25 de março de 2015, disponibilizada no sítio eletrônico da Empresa de Pesquisas Energéticas – EPE, que descreve o processo de cálculo de garantia física dos aproveitamentos hidrelétricos cadastrados para participar do Leilão de Energia Nova A-5/2015, com início de entrega em 2020.

Segundo a referida Nota Técnica, o histórico de vazões da usina foi estendido até o ano de 2013 de acordo com o Relatório ONS RE ONS/0193/2014 – Novembro / 2014 - “Atualização de séries históricas de vazões - Período 1931 a 2013”. Adicionalmente, foi atualizada a série de vazões naturais obtida no âmbito do Projeto de Reconstituição de Vazões Naturais das bacias dos rios Araguari, Curuá-Una, Madeira, Uatumã, Itabapoana, Mucuri, Paraguaçu, Paraguai, Ribeira do Iguape, Paraíba do Sul e do Ribeirão das Lajes, conforme Resolução Autorizativa nº 5.011, de 20 de janeiro de 2015.

Dois séries de vazões médias mensais foram definidas:

- Natural, que naturalmente ocorreria no local do aproveitamento, caso nenhuma parcela da vazão fosse retirada ou adicionada, reproduzida na Tabela 4.12;
- Artificial, que considera todas as intervenções a montante, reproduzida na Tabela 4.13, que deverá ser considerada nos estudos energéticos.



UHE ITAOCARA I

Tabela 4.12 - UHE Itaocara I - Vazões Médias Mensais Naturais (Nota Técnica).

| | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
|------|------|------|------|------|-----|------|-----|-----|------|------|------|------|
| 1931 | 1090 | 2240 | 1737 | 1120 | 708 | 552 | 464 | 387 | 400 | 534 | 554 | 936 |
| 1932 | 1466 | 1277 | 1158 | 685 | 640 | 593 | 411 | 384 | 368 | 485 | 557 | 1198 |
| 1933 | 1391 | 816 | 748 | 520 | 469 | 386 | 324 | 273 | 306 | 454 | 514 | 951 |
| 1934 | 1414 | 710 | 767 | 553 | 397 | 316 | 270 | 230 | 251 | 277 | 266 | 896 |
| 1935 | 944 | 1921 | 1123 | 762 | 542 | 437 | 347 | 309 | 319 | 528 | 413 | 411 |
| 1936 | 412 | 589 | 1542 | 952 | 522 | 378 | 318 | 291 | 359 | 315 | 361 | 758 |
| 1937 | 1348 | 1397 | 774 | 675 | 648 | 446 | 330 | 264 | 233 | 448 | 623 | 1491 |
| 1938 | 1364 | 1208 | 1099 | 823 | 608 | 498 | 396 | 439 | 385 | 530 | 658 | 915 |
| 1939 | 1136 | 1094 | 730 | 809 | 519 | 394 | 326 | 277 | 257 | 291 | 388 | 662 |
| 1940 | 1179 | 1525 | 1278 | 690 | 498 | 410 | 303 | 255 | 259 | 382 | 706 | 822 |
| 1941 | 938 | 666 | 815 | 671 | 428 | 360 | 356 | 238 | 488 | 573 | 605 | 1026 |
| 1942 | 1000 | 896 | 1174 | 740 | 589 | 445 | 438 | 298 | 315 | 402 | 585 | 1009 |
| 1943 | 1886 | 1495 | 1195 | 777 | 551 | 457 | 362 | 342 | 328 | 547 | 557 | 937 |
| 1944 | 935 | 1507 | 1784 | 908 | 622 | 478 | 403 | 315 | 267 | 286 | 376 | 586 |
| 1945 | 947 | 1501 | 930 | 870 | 566 | 483 | 528 | 314 | 286 | 263 | 465 | 858 |
| 1946 | 1783 | 921 | 989 | 807 | 532 | 430 | 354 | 283 | 229 | 383 | 508 | 543 |
| 1947 | 1517 | 1685 | 2708 | 1245 | 821 | 585 | 670 | 537 | 590 | 632 | 752 | 1255 |
| 1948 | 1218 | 1534 | 1707 | 1075 | 704 | 575 | 452 | 432 | 354 | 429 | 568 | 985 |
| 1949 | 1262 | 1619 | 1063 | 761 | 560 | 492 | 394 | 312 | 286 | 375 | 483 | 760 |
| 1950 | 1479 | 1862 | 1374 | 1092 | 792 | 592 | 454 | 351 | 303 | 439 | 719 | 1124 |
| 1951 | 1197 | 1390 | 1626 | 1153 | 642 | 533 | 487 | 381 | 335 | 353 | 373 | 674 |
| 1952 | 1201 | 1517 | 1831 | 1020 | 569 | 679 | 488 | 432 | 472 | 450 | 659 | 845 |
| 1953 | 569 | 736 | 632 | 683 | 500 | 353 | 356 | 313 | 281 | 370 | 606 | 718 |
| 1954 | 506 | 660 | 562 | 556 | 509 | 405 | 288 | 232 | 205 | 267 | 317 | 385 |
| 1955 | 887 | 507 | 527 | 475 | 334 | 293 | 220 | 183 | 188 | 204 | 350 | 651 |
| 1956 | 659 | 490 | 837 | 534 | 437 | 436 | 312 | 374 | 278 | 303 | 385 | 721 |
| 1957 | 834 | 886 | 1245 | 1187 | 609 | 448 | 380 | 314 | 420 | 315 | 555 | 730 |
| 1958 | 541 | 928 | 828 | 684 | 672 | 582 | 432 | 321 | 376 | 426 | 642 | 816 |
| 1959 | 1280 | 764 | 1019 | 896 | 498 | 377 | 306 | 313 | 249 | 267 | 561 | 560 |
| 1960 | 796 | 1093 | 1658 | 788 | 577 | 460 | 390 | 354 | 298 | 318 | 463 | 819 |
| 1961 | 1782 | 1892 | 1932 | 1078 | 792 | 567 | 441 | 373 | 305 | 282 | 375 | 578 |
| 1962 | 907 | 1829 | 1168 | 718 | 533 | 417 | 342 | 318 | 365 | 478 | 714 | 959 |
| 1963 | 1032 | 1089 | 797 | 515 | 363 | 309 | 271 | 241 | 195 | 226 | 389 | 288 |
| 1964 | 604 | 1284 | 730 | 506 | 415 | 311 | 328 | 252 | 225 | 367 | 412 | 672 |
| 1965 | 1296 | 1671 | 1307 | 744 | 770 | 537 | 467 | 377 | 302 | 539 | 684 | 879 |
| 1966 | 2118 | 899 | 1323 | 911 | 653 | 473 | 398 | 365 | 343 | 444 | 1067 | 1127 |
| 1967 | 2161 | 2396 | 2123 | 1235 | 772 | 638 | 529 | 414 | 382 | 401 | 695 | 940 |
| 1968 | 1089 | 745 | 861 | 623 | 437 | 360 | 324 | 321 | 314 | 308 | 275 | 611 |
| 1969 | 852 | 767 | 799 | 622 | 375 | 355 | 290 | 287 | 249 | 346 | 677 | 918 |
| 1970 | 879 | 861 | 919 | 566 | 412 | 334 | 347 | 296 | 465 | 439 | 512 | 534 |
| 1971 | 553 | 314 | 665 | 466 | 355 | 377 | 302 | 249 | 333 | 470 | 607 | 991 |
| 1972 | 888 | 1141 | 1271 | 743 | 483 | 383 | 371 | 365 | 370 | 536 | 702 | 777 |
| 1973 | 1157 | 1305 | 805 | 851 | 613 | 439 | 401 | 351 | 319 | 429 | 705 | 919 |
| 1974 | 1214 | 851 | 1001 | 874 | 521 | 467 | 409 | 311 | 272 | 321 | 332 | 745 |
| 1975 | 1217 | 1142 | 879 | 609 | 429 | 350 | 321 | 248 | 220 | 365 | 645 | 951 |
| 1976 | 862 | 908 | 909 | 773 | 587 | 612 | 621 | 498 | 567 | 638 | 727 | 974 |
| 1977 | 1132 | 903 | 587 | 705 | 459 | 381 | 300 | 254 | 343 | 321 | 527 | 952 |
| 1978 | 1276 | 830 | 854 | 526 | 428 | 425 | 340 | 269 | 240 | 240 | 459 | 583 |
| 1979 | 727 | 1344 | 920 | 587 | 489 | 381 | 354 | 349 | 430 | 344 | 692 | 787 |
| 1980 | 1185 | 977 | 692 | 827 | 457 | 390 | 381 | 327 | 324 | 378 | 523 | 878 |
| 1981 | 1293 | 838 | 780 | 639 | 459 | 401 | 347 | 308 | 252 | 390 | 699 | 1062 |
| 1982 | 1189 | 837 | 1460 | 1106 | 620 | 528 | 462 | 424 | 335 | 452 | 533 | 1101 |
| 1983 | 1728 | 1335 | 1233 | 1109 | 811 | 1431 | 785 | 560 | 1049 | 1003 | 1090 | 1374 |
| 1984 | 1166 | 721 | 650 | 689 | 676 | 430 | 355 | 358 | 345 | 318 | 337 | 522 |
| 1985 | 1449 | 1749 | 1705 | 972 | 681 | 512 | 421 | 354 | 384 | 334 | 437 | 629 |
| 1986 | 899 | 1000 | 1150 | 633 | 496 | 405 | 363 | 403 | 324 | 288 | 337 | 976 |
| 1987 | 1043 | 1109 | 750 | 973 | 707 | 624 | 437 | 336 | 403 | 366 | 372 | 741 |
| 1988 | 908 | 1819 | 1283 | 820 | 734 | 658 | 452 | 408 | 372 | 427 | 576 | 584 |
| 1989 | 1146 | 1250 | 1256 | 850 | 580 | 547 | 442 | 468 | 411 | 378 | 436 | 648 |
| 1990 | 695 | 390 | 673 | 597 | 441 | 359 | 372 | 348 | 400 | 422 | 409 | 393 |
| 1991 | 1040 | 1165 | 1048 | 1267 | 718 | 467 | 455 | 373 | 344 | 559 | 395 | 477 |
| 1992 | 1275 | 776 | 681 | 520 | 489 | 371 | 376 | 322 | 465 | 535 | 782 | 842 |
| 1993 | 657 | 924 | 1012 | 883 | 545 | 533 | 398 | 345 | 388 | 454 | 368 | 468 |
| 1994 | 853 | 615 | 930 | 813 | 683 | 442 | 340 | 286 | 235 | 235 | 384 | 722 |
| 1995 | 612 | 1598 | 765 | 563 | 436 | 329 | 331 | 255 | 227 | 504 | 643 | 737 |
| 1996 | 1378 | 1298 | 1606 | 931 | 622 | 481 | 402 | 362 | 623 | 451 | 988 | 959 |
| 1997 | 1642 | 1063 | 970 | 631 | 487 | 504 | 378 | 329 | 293 | 395 | 540 | 689 |
| 1998 | 737 | 1015 | 763 | 560 | 458 | 356 | 299 | 276 | 293 | 526 | 528 | 600 |
| 1999 | 1250 | 1140 | 1033 | 629 | 427 | 420 | 375 | 300 | 284 | 280 | 347 | 665 |
| 2000 | 1326 | 970 | 808 | 722 | 406 | 334 | 331 | 309 | 419 | 287 | 430 | 747 |
| 2001 | 796 | 867 | 620 | 565 | 368 | 291 | 254 | 234 | 256 | 333 | 386 | 592 |
| 2002 | 989 | 1247 | 744 | 494 | 407 | 303 | 287 | 258 | 274 | 205 | 464 | 847 |
| 2003 | 1172 | 902 | 749 | 514 | 381 | 312 | 280 | 257 | 262 | 367 | 506 | 664 |
| 2004 | 939 | 1096 | 1093 | 975 | 660 | 615 | 531 | 393 | 303 | 400 | 493 | 934 |
| 2005 | 1261 | 1348 | 986 | 836 | 626 | 533 | 452 | 359 | 364 | 359 | 546 | 899 |
| 2006 | 715 | 1178 | 792 | 577 | 426 | 348 | 314 | 281 | 291 | 446 | 666 | 1021 |
| 2007 | 1724 | 999 | 591 | 492 | 419 | 352 | 332 | 287 | 208 | 285 | 562 | 579 |
| 2008 | 708 | 1418 | 1246 | 1070 | 641 | 514 | 381 | 371 | 319 | 440 | 758 | 1182 |
| 2009 | 1413 | 1805 | 1115 | 863 | 590 | 510 | 477 | 453 | 455 | 729 | 866 | 1513 |
| 2010 | 1770 | 987 | 1318 | 1068 | 642 | 494 | 493 | 358 | 322 | 407 | 702 | 1453 |
| 2011 | 1804 | 814 | 1476 | 1003 | 624 | 511 | 419 | 360 | 298 | 403 | 501 | 997 |
| 2012 | 1490 | 867 | 646 | 590 | 580 | 545 | 424 | 323 | 272 | 279 | 442 | 570 |
| 2013 | 1351 | 1183 | 1087 | 759 | 485 | 450 | 438 | 323 | 300 | 369 | 477 | 907 |

José Henrique Rodrigues Lopes
 JOSÉ HENRIQUE RODRIGUES LOPES
 Resp. Técnico MG-12545/D



UHE ITAOCARA I

Tabela 4.13 - UHE Itaocara I - Vazões Médias Mensais Artificiais (Nota Técnica).

| | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
|------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|----------|-------|--------|
| 1931 | 887,6 | 2016,3 | 1523,4 | 897,3 | 502,3 | 355,4 | 327 | 288 | 286 | 372 | 361 | 698 |
| 1932 | 1244,5 | 1081,3 | 951,4 | 482,3 | 434,3 | 396,4 | 266 | 262 | 276 | 353 | 396 | 970 |
| 1933 | 1152,2 | 608,9 | 554,4 | 379 | 352 | 305 | 257 | 218 | 234 | 355 | 394 | 681,5 |
| 1934 | 1101,8 | 478,5 | 551,6 | 361 | 280 | 234 | 206 | 188 | 185 | 204 | 213 | 569,6 |
| 1935 | 674,9 | 1581,3 | 889,1 | 538,3 | 350 | 307 | 264 | 238 | 225 | 329 | 294 | 287 |
| 1936 | 262 | 350,7 | 1165,7 | 679,5 | 323 | 230 | 200 | 192 | 227 | 226 | 261 | 509,2 |
| 1937 | 1106,5 | 1148,6 | 562 | 457,4 | 424,5 | 293 | 240 | 205 | 196 | 314 | 419 | 1205,7 |
| 1938 | 1128,9 | 935,2 | 859,7 | 593,1 | 405 | 338 | 289 | 306 | 263 | 314,5 | 448,7 | 685 |
| 1939 | 895,9 | 854,8 | 510,2 | 568,2 | 330 | 270 | 234 | 211 | 199 | 237 | 280 | 428 |
| 1940 | 899,7 | 1198,5 | 1038,4 | 478 | 335 | 309 | 238 | 214 | 221 | 309 | 526 | 647 |
| 1941 | 691,3 | 473 | 584 | 499 | 353 | 306 | 295 | 216 | 339 | 369 | 401 | 761,6 |
| 1942 | 742,7 | 653,8 | 930,1 | 507,1 | 411 | 342 | 339 | 237 | 270 | 321 | 427 | 711,1 |
| 1943 | 1609,9 | 1217,5 | 943,3 | 570,5 | 435 | 371 | 304 | 281 | 274 | 413 | 435 | 664 |
| 1944 | 696,3 | 1149,1 | 1436,5 | 677,1 | 438 | 345 | 301 | 260 | 233 | 260 | 292 | 426 |
| 1945 | 669 | 1169,1 | 695,8 | 626,2 | 400 | 323 | 344 | 249 | 227 | 214 | 346 | 627,9 |
| 1946 | 1486,8 | 688,8 | 764,5 | 589,7 | 376 | 310 | 273 | 236 | 205 | 287 | 373 | 383 |
| 1947 | 1134,2 | 1383,9 | 2373,3 | 984,4 | 601,5 | 370 | 455,7 | 394 | 416 | 440 | 540,7 | 1007,4 |
| 1948 | 987,6 | 1248,8 | 1413,1 | 846,7 | 506,3 | 382,4 | 309 | 303 | 263 | 341 | 405 | 768,9 |
| 1949 | 998,9 | 1392,8 | 865,4 | 563,3 | 411 | 368 | 297 | 260 | 240 | 304 | 364 | 527 |
| 1950 | 1147,8 | 1499,8 | 1097,7 | 877,3 | 575,3 | 403 | 324 | 271 | 250 | 316 | 532 | 871 |
| 1951 | 928,8 | 1169,5 | 1416,4 | 943,3 | 445,3 | 357 | 356 | 282 | 268 | 277 | 283 | 490 |
| 1952 | 916,2 | 1185,7 | 1576,8 | 817,3 | 399 | 487,4 | 375 | 346 | 368 | 381 | 492 | 645 |
| 1953 | 461 | 537 | 453 | 465,5 | 363 | 275 | 309 | 283 | 244 | 318 | 420 | 467 |
| 1954 | 346 | 439,1 | 347,4 | 372 | 294 | 274 | 223 | 203 | 186 | 204 | 247 | 287 |
| 1955 | 552 | 362 | 326 | 331 | 257 | 240 | 202 | 181 | 172 | 196 | 272 | 467 |
| 1956 | 476 | 303 | 480,8 | 343 | 291 | 283 | 249 | 257 | 224 | 219 | 261 | 490,1 |
| 1957 | 470,2 | 597,2 | 961,5 | 898,6 | 418 | 329 | 288 | 253 | 274 | 251 | 337 | 522 |
| 1958 | 338 | 666 | 545,7 | 436,1 | 427,3 | 369 | 294 | 242 | 268 | 290 | 359 | 547,2 |
| 1959 | 1010 | 514 | 759,8 | 629,7 | 333 | 276 | 241 | 245 | 212 | 227 | 415 | 389 |
| 1960 | 491,2 | 771,9 | 1360,7 | 573,5 | 404 | 347 | 307 | 279 | 257 | 249 | 297 | 489,5 |
| 1961 | 1468,7 | 1541,8 | 1589,4 | 832,8 | 569 | 413 | 345 | 304 | 262 | 242 | 288 | 383 |
| 1962 | 576,8 | 1511,8 | 898,1 | 499,4 | 371 | 322 | 274 | 263 | 271 | 289 | 488,9 | 676,9 |
| 1963 | 794,6 | 839 | 573,2 | 348 | 281 | 258 | 238 | 221 | 197 | 194 | 278 | 227 |
| 1964 | 444 | 901,1 | 532,2 | 366 | 319 | 264 | 272 | 229 | 213 | 286 | 326 | 453 |
| 1965 | 812,3 | 1386,8 | 1035,2 | 537 | 554,6 | 406 | 365 | 321 | 275 | 382 | 473 | 560,4 |
| 1966 | 1727,7 | 631,1 | 1007,3 | 637,7 | 447 | 354 | 312 | 279 | 274 | 310 | 754,3 | 835,4 |
| 1967 | 1671,5 | 1830,5 | 1696,5 | 965,8 | 552,9 | 445,4 | 378 | 320 | 294 | 291 | 473,2 | 711,2 |
| 1968 | 851,5 | 543,7 | 666,4 | 422,3 | 314 | 278 | 261 | 264 | 267 | 264 | 237 | 427 |
| 1969 | 604 | 486 | 569,6 | 422 | 296 | 286 | 260 | 252 | 234 | 273 | 411 | 640,5 |
| 1970 | 592,3 | 583 | 669,6 | 366 | 298 | 253 | 266 | 234 | 309 | 308 | 351 | 363 |
| 1971 | 384 | 225 | 391,7 | 286 | 250 | 241 | 227 | 196 | 247 | 276 | 388 | 728,8 |
| 1972 | 634,2 | 828,7 | 1005,2 | 507,7 | 360 | 306 | 298 | 280 | 321 | 368 | 468 | 558,5 |
| 1973 | 862,2 | 1017,7 | 571,1 | 610,9 | 426 | 344 | 313 | 289 | 262 | 324 | 519 | 569,2 |
| 1974 | 821,2 | 610,6 | 763,7 | 651 | 387 | 334 | 316 | 269 | 243 | 275 | 285 | 422 |
| 1975 | 878,6 | 778,2 | 579,9 | 400 | 319 | 277 | 268 | 227 | 215 | 291 | 388 | 610,2 |
| 1976 | 602,7 | 637,4 | 643,6 | 510,2 | 352,5 | 383,9 | 381,3 | 270,4 | 334,1 | 417,6 | 516,9 | 741,1 |
| 1977 | 794,5 | 663,9 | 387,6 | 494,3 | 308 | 261 | 233 | 206 | 241 | 235 | 341 | 697,3 |
| 1978 | 988,6 | 600,2 | 639 | 367 | 310 | 293 | 260 | 234 | 218 | 222 | 323 | 403 |
| 1979 | 479,7 | 1116 | 668,9 | 430 | 364 | 308 | 279 | 267 | 293 | 232 | 426,8 | 539,1 |
| 1980 | 915,6 | 706,6 | 464,2 | 580,7 | 337 | 296 | 293 | 259 | 257 | 281 | 350 | 581,4 |
| 1981 | 994,9 | 615 | 556,8 | 404,8 | 333 | 295 | 269 | 251 | 222 | 281 | 441,3 | 793,4 |
| 1982 | 927,1 | 599 | 1174 | 866,7 | 442 | 353 | 320 | 294 | 259 | 301 | 333 | 858,4 |
| 1983 | 1467,1 | 1090,5 | 995,1 | 850,5 | 572,1 | 1152,3 | 566,8 | 369,3 | 849,4 | 811,5 | 895,8 | 1185,2 |
| 1984 | 979,6 | 543,3 | 466,4 | 497,3 | 483,3 | 318 | 277 | 264 | 258 | 245 | 261 | 371 |
| 1985 | 1082,1 | 1415,4 | 1426,9 | 769,3 | 483,3 | 372 | 329 | 290 | 278 | 271 | 312 | 431 |
| 1986 | 680,4 | 722,3 | 863,7 | 411,8 | 322 | 305 | 256 | 283 | 257 | 225 | 237 | 636,9 |
| 1987 | 751,4 | 839,6 | 536,5 | 724,7 | 505,3 | 424,4 | 261 | 220 | 254 | 226 | 257 | 546,8 |
| 1988 | 683,6 | 1557,8 | 1060,4 | 611,3 | 529,3 | 458,4 | 307 | 312 | 296 | 286 | 381 | 398 |
| 1989 | 898,3 | 1026 | 1053,4 | 645,3 | 379,3 | 355 | 306 | 296 | 278 | 284 | 307 | 443 |
| 1990 | 492,8 | 288 | 468,2 | 382 | 315 | 296 | 294 | 278 | 300 | 286 | 306 | 316 |
| 1991 | 740,8 | 916,7 | 744 | 1020,2 | 497,5 | 314 | 341 | 304 | 285 | 344 | 317 | 350 |
| 1992 | 1004,6 | 569,1 | 467 | 363 | 333 | 314 | 303 | 280 | 345 | 376 | 511,1 | 603,5 |
| 1993 | 432,5 | 665,4 | 755,7 | 651,6 | 389 | 366 | 310 | 285 | 270 | 300 | 306 | 346 |
| 1994 | 618 | 388,5 | 678,6 | 575,5 | 494 | 327 | 264 | 246 | 210 | 201 | 282 | 432,8 |
| 1995 | 370,8 | 1151,1 | 515,9 | 349,3 | 269 | 232 | 225 | 200 | 188 | 285 | 421,3 | 516,9 |
| 1996 | 1079,2 | 862,8 | 1314,1 | 723,3 | 423,3 | 316 | 275 | 256 | 408,3 | 293 | 772,9 | 764,6 |
| 1997 | 1418,6 | 868,3 | 776,4 | 449 | 361 | 345 | 298 | 271 | 233 | 283 | 296 | 478,6 |
| 1998 | 500 | 747,2 | 538,9 | 356 | 279 | 271 | 233 | 227 | 201 | 295 | 371 | 396 |
| 1999 | 954,2 | 876,3 | 797,9 | 409,1 | 289 | 302 | 278 | 241 | 222 | 228 | 271 | 469 |
| 2000 | 1009,8 | 710 | 564,9 | 492,3 | 295 | 259 | 255 | 243 | 292 | 245 | 259 | 462,5 |
| 2001 | 562 | 626,2 | 406,9 | 370 | 264 | 231 | 205 | 190 | 198 | 215 | 267 | 316 |
| 2002 | 720,2 | 994,9 | 524,3 | 332 | 280 | 236 | 220 | 204 | 214 | 182 | 306 | 530 |
| 2003 | 883,6 | 673,1 | 524,8 | 392 | 307 | 274 | 250 | 238 | 241 | 277 | 364 | 490 |
| 2004 | 666,1 | 721 | 882,5 | 763,5 | 457 | 405 | 361 | 311 | 260 | 300 | 349 | 674 |
| 2005 | 945,2 | 1078,2 | 748,7 | 564 | 413 | 394 | 347 | 308 | 283 | 260 | 368 | 601,9 |
| 2006 | 500,3 | 886,6 | 571,5 | 386 | 325 | 286 | 256 | 254 | 249 | 329 | 430 | 655,7 |
| 2007 | 1423,3 | 773,4 | 445 | 383 | 341 | 300 | 253 | 259 | 215 | 197,9705 | 356 | 410 |
| 2008 | 459 | 946,5 | 954,4 | 767,8 | 439 | 367 | 315 | 286 | 278 | 326 | 471 | 917,5 |
| 2009 | 1126,8 | 1484,8 | 854,2 | 634,7 | 423 | 385 | 345 | 335 | 329 | 466 | 643,9 | 1126,7 |
| 2010 | 1310,7 | 733,9 | 1003,8 | 778,6 | 458 | 366 | 354 | 301 | 284 | 342 | 556 | 1144,9 |
| 2011 | 1490,7 | 596,6 | 1181 | 748,8 | 447 | 380 | 340 | 305 | 270 | 327 | 389 | 772 |
| 2012 | 1226,7 | 651 | 485 | 450 | 434 | 373 | 322 | 291 | 265 | 251 | 364 | 378 |
| 2013 | 921,5 | 920,1 | 811,6 | 531,2 | 362 | 353 | 325 | 282 | 273 | 286 | 328 | 647 |

José Henrique Rodrigues Lopes
 JOSÉ HENRIQUE RODRIGUES LOPES
 Resp. Técnico MG-12545/D

Vazão Máxima de Projeto

O Anexo VIII ao Edital de Leilão nº 03/2015-ANEEL, de processo nº 48500.006535/2014-93, define as “Características Técnicas e Informações Básicas para a Exploração da UHE Itaocara I”.

Como elemento característico é apresentada a “vazão para o projeto do vertedouro” de 9.530 m³/s.

4.2.3.2 Estudos Hidrológicos Projeto Básico (SPEC, 2014)

Vazões Médias Mensais

Os estudos hidrológicos levados a efeito pela SPEC quando da realização do Projeto Básico em 2014, consideraram que a série histórica de Vazões Médias Mensais Naturais no eixo do aproveitamento da UHE Itaocara I é aquela apresentada pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) em 2013 no relatório “Atualização de Séries Históricas de Vazões – Período 1931 a 2012”, obtida conforme a metodologia e os modelos desenvolvidos no âmbito do Estudo do ONS até 2012.

Quando os valores são confrontados com aqueles apresentados na série definida pelo ONS em 2015 (Tabela 4.12), percebe-se sensíveis divergências nos valores de vazões médias mensais apresentados no ano de 2012.

Isso se deve, possivelmente, a atualização dos estudos hidrológicos realizados pelo ONS para esta Usina.

A série resultante é reproduzida na Tabela 4.14.

Tabela 4.14 - UHE Itaocara I - Vazões Médias Mensais Naturais PB (SPEC, 2014).

| ANO | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ | MED |
|------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|
| 1931 | 1.090 | 2.240 | 1.737 | 1.120 | 708 | 552 | 464 | 387 | 400 | 534 | 554 | 936 | 894 |
| 1932 | 1.466 | 1.277 | 1.158 | 685 | 640 | 593 | 411 | 384 | 368 | 485 | 557 | 1.198 | 769 |
| 1933 | 1.391 | 816 | 748 | 520 | 469 | 386 | 324 | 273 | 306 | 454 | 514 | 951 | 596 |
| 1934 | 1.414 | 710 | 767 | 553 | 397 | 316 | 270 | 230 | 251 | 277 | 266 | 896 | 529 |
| 1935 | 944 | 1.921 | 1.123 | 762 | 542 | 437 | 347 | 309 | 319 | 528 | 413 | 411 | 671 |
| 1936 | 412 | 589 | 1.542 | 952 | 522 | 377 | 318 | 291 | 359 | 315 | 361 | 758 | 566 |
| 1937 | 1.348 | 1.397 | 774 | 675 | 648 | 446 | 330 | 264 | 233 | 447 | 622 | 1.491 | 723 |
| 1938 | 1.363 | 1.208 | 1.099 | 823 | 608 | 498 | 396 | 439 | 385 | 530 | 658 | 915 | 744 |
| 1939 | 1.136 | 1.094 | 730 | 809 | 519 | 394 | 326 | 277 | 257 | 291 | 388 | 662 | 574 |
| 1940 | 1.179 | 1.525 | 1.278 | 690 | 498 | 410 | 303 | 255 | 259 | 382 | 706 | 822 | 692 |
| 1941 | 938 | 666 | 815 | 671 | 428 | 360 | 356 | 238 | 488 | 573 | 605 | 1.026 | 597 |
| 1942 | 1.000 | 896 | 1.174 | 740 | 589 | 445 | 438 | 298 | 315 | 402 | 585 | 1.009 | 658 |
| 1943 | 1.886 | 1.495 | 1.195 | 777 | 551 | 457 | 362 | 342 | 328 | 547 | 556 | 937 | 786 |
| 1944 | 935 | 1.507 | 1.784 | 908 | 622 | 478 | 403 | 315 | 267 | 286 | 376 | 586 | 706 |
| 1945 | 947 | 1.501 | 930 | 870 | 566 | 483 | 528 | 314 | 286 | 263 | 465 | 858 | 668 |



UHE ITAOCARA I

| ANO | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ | MED |
|------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1946 | 1.783 | 921 | 989 | 807 | 532 | 430 | 354 | 283 | 229 | 383 | 508 | 543 | 647 |
| 1947 | 1.517 | 1.685 | 2.708 | 1.245 | 821 | 585 | 670 | 537 | 590 | 632 | 752 | 1.255 | 1.083 |
| 1948 | 1.218 | 1.534 | 1.707 | 1.075 | 704 | 575 | 452 | 432 | 354 | 429 | 568 | 985 | 836 |
| 1949 | 1.262 | 1.619 | 1.062 | 761 | 560 | 492 | 394 | 312 | 286 | 375 | 483 | 760 | 697 |
| 1950 | 1.479 | 1.862 | 1.374 | 1.092 | 792 | 592 | 454 | 351 | 303 | 439 | 719 | 1.124 | 882 |
| 1951 | 1.197 | 1.390 | 1.626 | 1.153 | 642 | 533 | 487 | 381 | 335 | 353 | 373 | 674 | 762 |
| 1952 | 1.201 | 1.517 | 1.831 | 1.019 | 569 | 679 | 488 | 432 | 472 | 450 | 659 | 845 | 847 |
| 1953 | 569 | 735 | 632 | 683 | 500 | 353 | 356 | 313 | 281 | 370 | 606 | 718 | 510 |
| 1954 | 506 | 660 | 562 | 556 | 509 | 405 | 288 | 232 | 205 | 267 | 317 | 385 | 408 |
| 1955 | 887 | 507 | 527 | 475 | 334 | 293 | 220 | 183 | 188 | 204 | 350 | 651 | 402 |
| 1956 | 659 | 490 | 837 | 534 | 437 | 436 | 312 | 374 | 278 | 303 | 384 | 721 | 480 |
| 1957 | 834 | 886 | 1.245 | 1.187 | 609 | 448 | 380 | 314 | 420 | 315 | 555 | 730 | 660 |
| 1958 | 541 | 928 | 828 | 684 | 672 | 582 | 432 | 321 | 376 | 426 | 642 | 816 | 604 |
| 1959 | 1.280 | 764 | 1.019 | 896 | 498 | 377 | 306 | 313 | 249 | 267 | 561 | 560 | 591 |
| 1960 | 796 | 1.093 | 1.658 | 788 | 577 | 460 | 390 | 354 | 298 | 318 | 463 | 819 | 668 |
| 1961 | 1.782 | 1.892 | 1.932 | 1.078 | 792 | 566 | 441 | 373 | 305 | 282 | 375 | 578 | 866 |
| 1962 | 907 | 1.829 | 1.168 | 718 | 533 | 417 | 342 | 318 | 365 | 477 | 714 | 959 | 729 |
| 1963 | 1.032 | 1.089 | 797 | 515 | 363 | 309 | 271 | 241 | 195 | 226 | 389 | 287 | 476 |
| 1964 | 604 | 1.284 | 729 | 506 | 415 | 311 | 328 | 252 | 225 | 366 | 412 | 672 | 509 |
| 1965 | 1.296 | 1.671 | 1.307 | 744 | 769 | 537 | 467 | 377 | 302 | 539 | 684 | 879 | 798 |
| 1966 | 2.118 | 898 | 1.323 | 910 | 653 | 473 | 398 | 365 | 343 | 444 | 1.067 | 1.127 | 843 |
| 1967 | 2.161 | 2.396 | 2.122 | 1.235 | 772 | 638 | 529 | 414 | 382 | 401 | 695 | 940 | 1.057 |
| 1968 | 1.089 | 745 | 861 | 623 | 437 | 360 | 324 | 321 | 314 | 308 | 275 | 611 | 522 |
| 1969 | 852 | 767 | 799 | 622 | 375 | 355 | 289 | 287 | 249 | 346 | 677 | 918 | 545 |
| 1970 | 879 | 861 | 919 | 566 | 412 | 334 | 347 | 296 | 465 | 439 | 512 | 533 | 547 |
| 1971 | 553 | 314 | 665 | 466 | 355 | 377 | 302 | 249 | 333 | 470 | 607 | 991 | 474 |
| 1972 | 888 | 1.141 | 1.271 | 743 | 483 | 383 | 371 | 365 | 370 | 536 | 701 | 777 | 669 |
| 1973 | 1.157 | 1.305 | 805 | 851 | 612 | 439 | 401 | 351 | 319 | 429 | 705 | 919 | 691 |
| 1974 | 1.213 | 851 | 1.001 | 874 | 521 | 467 | 409 | 311 | 272 | 321 | 332 | 745 | 610 |
| 1975 | 1.217 | 1.142 | 879 | 609 | 429 | 350 | 321 | 248 | 220 | 365 | 645 | 951 | 615 |
| 1976 | 862 | 908 | 909 | 773 | 587 | 612 | 621 | 498 | 567 | 638 | 727 | 974 | 723 |
| 1977 | 1.132 | 903 | 587 | 705 | 459 | 381 | 300 | 254 | 343 | 321 | 527 | 952 | 572 |
| 1978 | 1.276 | 830 | 854 | 526 | 428 | 425 | 339 | 269 | 239 | 240 | 459 | 583 | 539 |
| 1979 | 727 | 1.344 | 920 | 587 | 489 | 381 | 354 | 349 | 430 | 344 | 692 | 787 | 617 |
| 1980 | 1.185 | 977 | 692 | 827 | 457 | 390 | 381 | 327 | 324 | 378 | 523 | 878 | 612 |
| 1981 | 1.293 | 838 | 780 | 639 | 459 | 401 | 347 | 308 | 252 | 390 | 699 | 1.062 | 622 |
| 1982 | 1.189 | 837 | 1.460 | 1.106 | 620 | 528 | 462 | 424 | 335 | 452 | 533 | 1.101 | 754 |
| 1983 | 1.728 | 1.335 | 1.233 | 1.109 | 811 | 1.431 | 785 | 560 | 1.049 | 1.003 | 1.089 | 1.374 | 1.126 |
| 1984 | 1.166 | 721 | 650 | 689 | 676 | 430 | 355 | 358 | 345 | 317 | 337 | 522 | 547 |
| 1985 | 1.449 | 1.749 | 1.705 | 972 | 681 | 512 | 421 | 354 | 383 | 334 | 437 | 629 | 802 |
| 1986 | 899 | 1.000 | 1.150 | 633 | 496 | 405 | 362 | 403 | 324 | 288 | 337 | 976 | 606 |
| 1987 | 1.043 | 1.109 | 750 | 973 | 707 | 624 | 437 | 336 | 403 | 366 | 372 | 741 | 655 |



UHE ITAOCARA I



| ANO | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ | MED |
|------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1988 | 908 | 1.819 | 1.283 | 820 | 734 | 658 | 452 | 408 | 372 | 427 | 576 | 583 | 753 |
| 1989 | 1.145 | 1.250 | 1.256 | 849 | 580 | 547 | 442 | 468 | 411 | 378 | 436 | 648 | 701 |
| 1990 | 695 | 390 | 673 | 597 | 441 | 359 | 372 | 348 | 400 | 422 | 409 | 393 | 458 |
| 1991 | 1.040 | 1.165 | 1.048 | 1.267 | 718 | 467 | 455 | 373 | 344 | 559 | 395 | 477 | 692 |
| 1992 | 1.275 | 776 | 681 | 520 | 489 | 371 | 376 | 322 | 465 | 535 | 782 | 842 | 620 |
| 1993 | 657 | 924 | 1.012 | 883 | 545 | 533 | 398 | 345 | 388 | 454 | 368 | 468 | 581 |
| 1994 | 853 | 615 | 930 | 813 | 683 | 442 | 340 | 286 | 235 | 235 | 384 | 722 | 545 |
| 1995 | 612 | 1.598 | 765 | 563 | 436 | 329 | 331 | 255 | 226 | 504 | 643 | 737 | 583 |
| 1996 | 1.378 | 1.298 | 1.606 | 931 | 622 | 481 | 402 | 362 | 623 | 451 | 988 | 959 | 842 |
| 1997 | 1.642 | 1.063 | 970 | 631 | 487 | 504 | 378 | 329 | 293 | 395 | 540 | 689 | 660 |
| 1998 | 737 | 1.015 | 763 | 560 | 458 | 356 | 299 | 276 | 293 | 526 | 528 | 600 | 534 |
| 1999 | 1.250 | 1.140 | 1.032 | 629 | 427 | 420 | 375 | 300 | 284 | 280 | 347 | 665 | 596 |
| 2000 | 1.326 | 970 | 808 | 722 | 406 | 334 | 331 | 309 | 419 | 287 | 430 | 747 | 591 |
| 2001 | 796 | 867 | 620 | 565 | 368 | 291 | 254 | 234 | 256 | 333 | 386 | 592 | 464 |
| 2002 | 989 | 1.247 | 744 | 494 | 407 | 303 | 287 | 258 | 274 | 205 | 464 | 847 | 543 |
| 2003 | 1.172 | 902 | 749 | 514 | 381 | 311 | 280 | 257 | 262 | 367 | 506 | 664 | 530 |
| 2004 | 939 | 1.096 | 1.093 | 975 | 660 | 615 | 531 | 393 | 303 | 400 | 493 | 934 | 703 |
| 2005 | 1.261 | 1.348 | 986 | 836 | 626 | 533 | 452 | 359 | 364 | 359 | 546 | 899 | 714 |
| 2006 | 715 | 1.178 | 792 | 577 | 426 | 348 | 314 | 281 | 291 | 446 | 666 | 1.021 | 588 |
| 2007 | 1.724 | 999 | 591 | 492 | 419 | 352 | 332 | 287 | 208 | 285 | 562 | 579 | 569 |
| 2008 | 708 | 1.418 | 1.246 | 1.070 | 641 | 514 | 381 | 371 | 319 | 440 | 758 | 1.182 | 754 |
| 2009 | 1.413 | 1.805 | 1.115 | 863 | 590 | 510 | 477 | 453 | 455 | 729 | 866 | 1.513 | 899 |
| 2010 | 1.770 | 987 | 1.318 | 1.068 | 642 | 494 | 493 | 358 | 322 | 407 | 702 | 1.453 | 835 |
| 2011 | 1.804 | 814 | 1.476 | 1.003 | 624 | 511 | 419 | 360 | 298 | 403 | 501 | 997 | 768 |
| 2012 | 1.480 | 857 | 636 | 576 | 566 | 531 | 409 | 306 | 257 | 268 | 432 | 560 | 573 |
| MIN | 412 | 314 | 527 | 466 | 334 | 291 | 220 | 183 | 188 | 204 | 266 | 287 | 402 |
| MED | 1.136 | 1.143 | 1.072 | 780 | 552 | 461 | 388 | 332 | 338 | 402 | 546 | 820 | 664 |
| MAX | 2.161 | 2.396 | 2.708 | 1.267 | 821 | 1.431 | 785 | 560 | 1.049 | 1.003 | 1.089 | 1.513 | 1.126 |

Vazões Máximas

Para realização da análise estatística das Vazões Máximas foram observados os dados existentes no posto fluviométrico ANTA (cód. ANA 58630002), que é aquele mais próximo do sítio da UHE Itaocara I e com maior histórico de dados.

Para desconsiderar o efeito do amortecimento de cheias na UHE Funil nos dados do posto ANTA, num critério de segurança, as vazões máximas mensais a partir de dezembro de 1969, início da operação da referida usina, foram obtidas através da correlação com posto QUELUZ (cód. ANA 58235100), localizado a montante da UHE Funil.

Em seguida, para cada ano hidrológico (de setembro a agosto), foi identificada a vazão média diária máxima do posto Anta e estabelecidas as máximas vazões anuais, conforme relacionado na Tabela 4.15.

Tabela 4.15 - Vazões Máximas Anuais no Posto Fluviométrico ANTA.

| Ano | Máxima (m³/s) | Ano | Máxima (m³/s) | Ano | Máxima (m³/s) |
|------|---------------|------|---------------|------|---------------|
| 1931 | 3.046 | 1959 | 1.718 | 1987 | 2.124 |
| 1932 | 3.022 | 1960 | 2.194 | 1988 | 1.865 |
| 1933 | 1.983 | 1961 | 2.184 | 1989 | 1.748 |
| 1934 | 2.223 | 1962 | 2.350 | 1990 | 1.239 |
| 1935 | 2.670 | 1963 | 1.215 | 1991 | 2.508 |
| 1936 | 2.156 | 1964 | 2.460 | 1992 | 2.643 |
| 1937 | 2.165 | 1965 | 2.002 | 1993 | 2.034 |
| 1938 | 4.214 | 1966 | 4.182 | 1994 | 887 |
| 1939 | 2.108 | 1967 | 3.226 | 1995 | 2.059 |
| 1940 | 2.060 | 1968 | 1.104 | 1996 | 2.379 |
| 1941 | 2.079 | 1969 | 2.204 | 1997 | 1.945 |
| 1942 | 1.594 | 1970 | 1.598 | 1998 | 1.314 |
| 1943 | 4.183 | 1971 | 987 | 1999 | 1.663 |
| 1944 | 2.460 | 1972 | 1.513 | 2000 | 4.881 |
| 1945 | 2.530 | 1973 | 1.458 | 2001 | 1.260 |
| 1946 | 3.382 | 1974 | 2.221 | 2002 | 1.714 |
| 1947 | 4.672 | 1975 | 878 | 2003 | 1.295 |
| 1948 | 2.540 | 1976 | 1.534 | 2004 | 1.895 |
| 1949 | 2.069 | 1977 | 1.437 | 2005 | 2.298 |
| 1950 | 2.136 | 1978 | 1.270 | 2006 | 1.783 |
| 1951 | 1.882 | 1979 | 932 | 2007 | 1.249 |
| 1952 | 2.031 | 1980 | 1.384 | 2008 | 2.071 |
| 1953 | 1.324 | 1981 | 1.644 | 2009 | 2.106 |
| 1954 | 889 | 1982 | 1.021 | 2010 | 2.439 |
| 1955 | 1.311 | 1983 | 1.982 | 2011 | 2.693 |
| 1956 | 1.566 | 1984 | 1.920 | 2012 | 1.643 |
| 1957 | 1.882 | 1985 | 1.038 | - | - |
| 1958 | 1.298 | 1986 | 1.234 | - | - |

Com base nos dados supracitados foram realizados os estudos estatísticos, cujos parâmetros resultantes são apresentados na Tabela 4.16. A distribuição utilizada para o cálculo foi a de Gumbel, uma vez que o coeficiente de assimetria resultou menor que 1,5.

Tabela 4.16 - Parâmetros Estatísticos da Série de Vazões Máximas Anuais - Posto ANTA.

| Parâmetro | Valor |
|-------------------|-------|
| Número de Eventos | 82 |
| Máxima (m³/s) | 4.881 |
| Média (m³/s) | 2.026 |
| Mínima (m³/s) | 878 |

| Parâmetro | Valor |
|-------------------------|-------|
| Desvio padrão | 831 |
| Coeficiente de variação | 0,41 |
| Assimetria | 1,42 |

Para a avaliação do grau de aderência obtido entre a distribuição e a amostra, foi calculada a estatística para o teste de Kolmogorov-Smirnov, que reflete o maior desvio observado entre a probabilidade de ocorrência de cada valor amostral, calculada a partir da distribuição ajustada, e a probabilidade empírica do elemento dentro da própria amostra. A aplicação do teste, resumido na Tabela 4.17, indicou que, para a série de vazões analisada, a hipótese de adequação de ajuste ($D_{N\text{CALC}} < D_{N0,05}$) é aceita para um nível de significância de 5%.

Tabela 4.17 - Teste de Kolmogorov-Smirnov para a Série de Vazões Máximas Anuais.

| Parâmetro | Valor |
|--------------------|--------|
| Número de Eventos | 82 |
| $D_{N0,05}$ | 0,15 |
| $D_{N\text{CALC}}$ | 0,0829 |

A Figura 4.10 permite avaliar visualmente a aderência dos pontos representativos dos dados observados à distribuição de Gumbel.

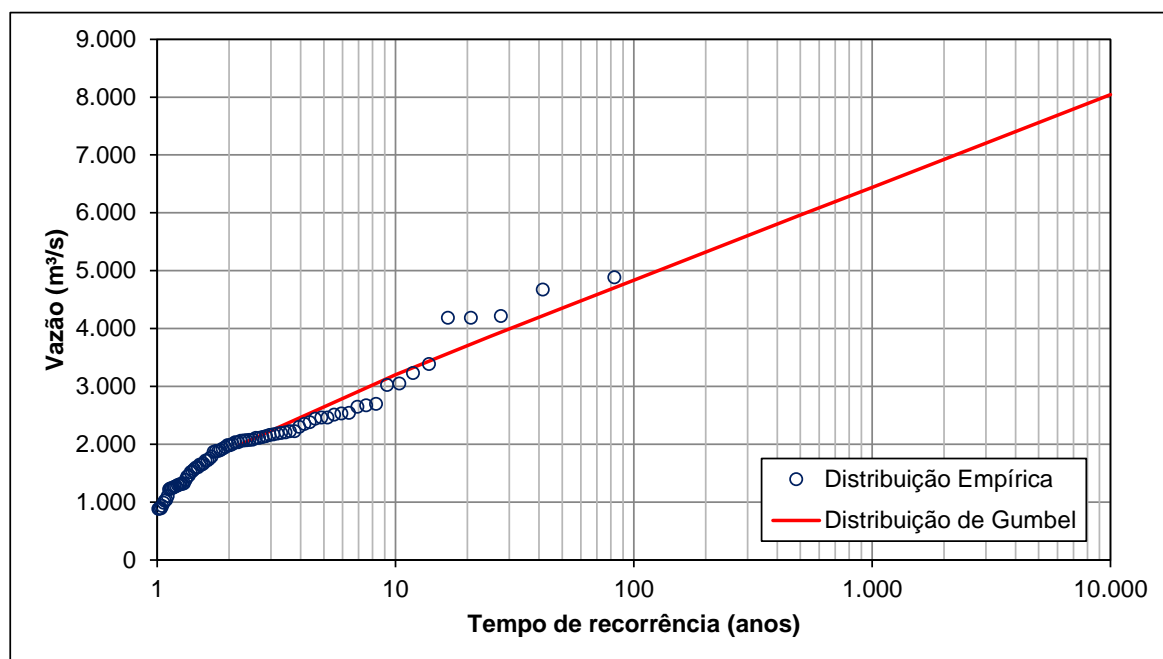


Figura 4.10 - Resultado do Ajuste das Amostras à Distribuição de Gumbel.

A partir da relação entre as áreas de drenagem do posto fluviométrico Anta e do aproveitamento, foram estimadas as vazões de cheias máximas anuais associadas a vários tempos de recorrência para a UHE Itacara I.

Como o dimensionamento das estruturas da UHE Itacara I é realizado com vazões máximas instantâneas, faz-se necessário obtê-las a partir das vazões médias diárias máximas, o que pode ser efetuado a partir da equação de Fuller, conforme apresentada a seguir. Os resultados são apresentados na Tabela 4.18.

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

Onde:

Q_{INST} – Vazão máxima instantânea (m³/s);

Q_{MED} – Vazão máxima média diária (m³/s);

A – Área de drenagem da bacia hidrográfica no local do aproveitamento (km²).

Tabela 4.18 - Vazões Máximas no Eixo da UHE Itacara I.

| Tempo de Recorrência (anos) | Posto Anta | UHE Itacara I | |
|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| | Máxima Diária (m ³ /s) | Máxima Diária (m ³ /s) | Instantânea (m ³ /s) |
| 2,2 | 1.986 | 2.188 | 2.443 |
| 10 | 3.203 | 3.528 | 3.939 |
| 25 | 3.862 | 4.254 | 4.750 |
| 50 | 4.351 | 4.793 | 5.352 |
| 100 | 4.837 | 5.327 | 5.949 |
| 500 | 5.959 | 6.563 | 7.328 |
| 1.000 | 6.441 | 7.094 | 7.922 |
| 10.000 | 8.043 | 8.858 | 9.891 |

Embora o estudo da SPEC (2014) tenha realizado a atualização das vazões máximas no local da UHE Itacara I, o mesmo destaca que a Resolução ANA nº. 1.404 de 26 de novembro de 2013 aprovou os estudos apresentados no EDH para o citado aproveitamento, no qual foi definida a vazão decamilenar de 9.530 m³/s.

Vazões Máximas de Estiagem

Os estudos de Vazões Máximas de Estiagem consideraram as vazões observadas entre os meses de abril a setembro, calculando as vazões máximas instantâneas pelo critério de Fuller.

As vazões máximas diárias ocorridas no período citado estão relacionadas na Tabela 4.19. Como pode ser observado na Tabela 4.20, a série tem assimetria superior a 1,5, tendo sido ajustada a distribuição Exponencial de Dois Parâmetros.

E a Figura 4.11 permite avaliar visualmente a aderência dos pontos representativos dos dados observados à distribuição Exponencial de Dois Parâmetros.

Tabela 4.19 - Vazões Máximas Diárias - Posto Anta – Período de Estiagem.

| Ano | Máxima (m³/s) | Ano | Máxima (m³/s) | Ano | Máxima (m³/s) |
|------|---------------|------|---------------|------|---------------|
| 1931 | 1.580 | 1959 | 1.209 | 1987 | 1.708 |
| 1932 | 824 | 1960 | 722 | 1988 | 1.179 |
| 1933 | 452 | 1961 | 1.120 | 1989 | 1.053 |
| 1934 | 624 | 1962 | 636 | 1990 | 724 |
| 1935 | 965 | 1963 | 420 | 1991 | 2.363 |
| 1936 | 1.494 | 1964 | 418 | 1992 | 987 |
| 1937 | 917 | 1965 | 1.016 | 1993 | 932 |
| 1938 | 790 | 1966 | 820 | 1994 | 960 |
| 1939 | 1.098 | 1967 | 1.473 | 1995 | 834 |
| 1940 | 732 | 1968 | 511 | 1996 | 1.646 |
| 1941 | 786 | 1969 | 492 | 1997 | 1.189 |
| 1942 | 786 | 1970 | 817 | 1998 | 1.086 |
| 1943 | 926 | 1971 | 783 | 1999 | 888 |
| 1944 | 975 | 1972 | 611 | 2000 | 1.120 |
| 1945 | 1.197 | 1973 | 659 | 2001 | 791 |
| 1946 | 912 | 1974 | 741 | 2002 | 760 |
| 1947 | 1.377 | 1975 | 448 | 2003 | 462 |
| 1948 | 1.065 | 1976 | 1.448 | 2004 | 762 |
| 1949 | 689 | 1977 | 724 | 2005 | 937 |
| 1950 | 1.071 | 1978 | 596 | 2006 | - |
| 1951 | 1.197 | 1979 | 513 | 2007 | 834 |
| 1952 | 903 | 1980 | 1.070 | 2008 | 828 |
| 1953 | 824 | 1981 | 936 | 2009 | 933 |
| 1954 | 759 | 1982 | 846 | 2010 | 1.859 |
| 1955 | 388 | 1983 | 2.578 | 2011 | 1.260 |
| 1956 | 465 | 1984 | 1.134 | 2012 | 1.145 |
| 1957 | 1.874 | 1985 | 871 | - | - |
| 1958 | 745 | 1986 | 826 | - | - |

Tabela 4.20 - Parâmetros Estatísticos da Série de Vazões Diárias Máximas do Posto Anta – Período de Estiagem.

| Parâmetro | Valor |
|-------------------|-------|
| Número de eventos | 81 |
| Máxima (m³/s) | 2.578 |
| Média (m³/s) | 964 |
| Mínima (m³/s) | 388 |
| Desvio padrão | 405 |

| Parâmetro | Valor |
|-------------------------|-------|
| Coeficiente de variação | 0,42 |
| Assimetria | 1,59 |

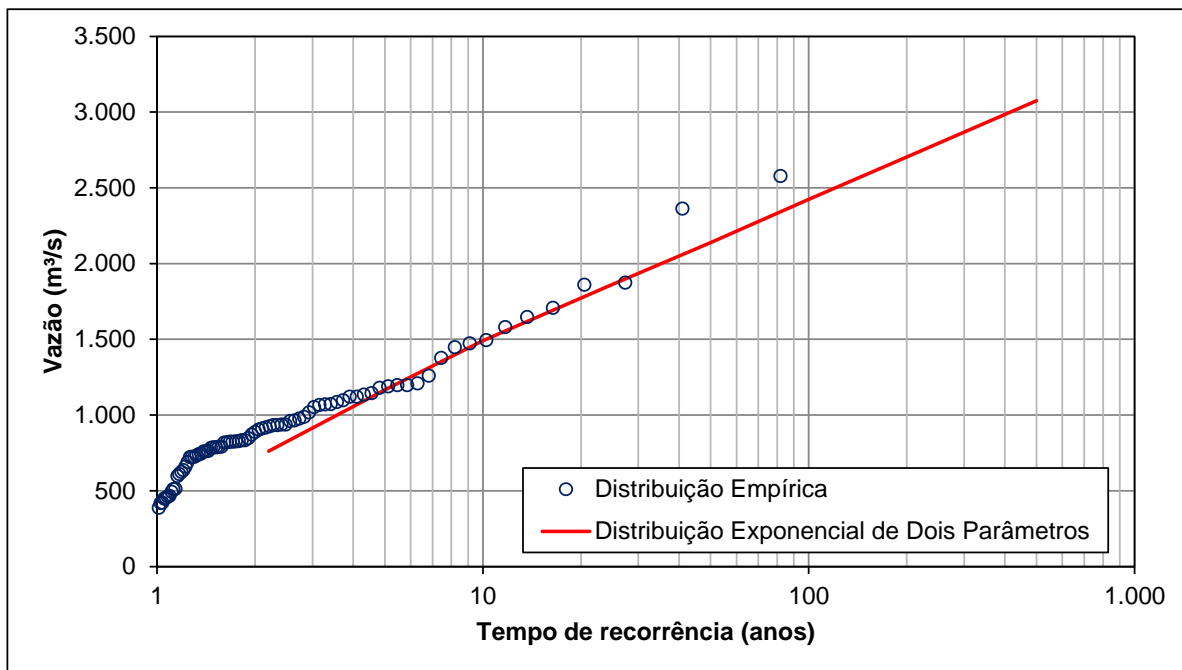


Figura 4.11 - Resultado do Ajuste das Amostras à Distribuição Exponencial de Dois Parâmetros.

A Tabela 4.21 relaciona as vazões máximas de estiagem estimadas para os tempos de recorrência de interesse para o posto e para o aproveitamento.

Tabela 4.21 - Vazões Máximas de Estiagem (Abril a Setembro).

| Tempo de Recorrência (anos) | Posto Anta | UHE Itaocara I | |
|-----------------------------|----------------------|----------------------|--------------------|
| | Máxima Diária (m³/s) | Máxima Diária (m³/s) | Instantânea (m³/s) |
| 2,2 | 762 | 839 | 937 |
| 5 | 1.167 | 1.285 | 1.435 |
| 10 | 1.491 | 1.642 | 1.834 |
| 25 | 1.862 | 2.051 | 2.290 |
| 50 | 2.139 | 2.356 | 2.631 |
| 100 | 2.424 | 2.670 | 2.981 |
| 200 | 2.703 | 2.977 | 3.324 |
| 500 | 3.075 | 3.387 | 3.782 |

Vazões Mínimas

No estudo realizado pela SPEC (2014), a determinação das Vazões Mínimas (Q7,10) do aproveitamento consistiu na coleta e análise dos seguintes estudos sobre o tema:

Estudo de Regionalização de Vazões da Sub-Bacia 58 (Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Junho de 2002);

Balanço entre Disponibilidade e Demandas Futuras dos Recursos Hídricos, em Quantidade e Qualidade, com Indicação de Conflitos Potenciais, do Plano de Recursos Hídricos para a Fase Inicial da Cobrança na Bacia do Rio Paraíba do Sul (Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia COPPE, 2002).

Os estudos desenvolvidos pela CPRM incluíram o ajustamento das distribuições teóricas de Weibull e Gumbel às vazões médias de sete dias consecutivos, mínimas anuais (Q7), de todas as estações pré-selecionadas com mais de cinco anos de dados, sendo que para a grande maioria dessas estações a distribuição que melhor se ajustou foi a de Weibull.

Foram analisadas as regressões das vazões Q7, primeiramente com as áreas de drenagem e em seguida acrescentando-se as precipitações médias. No caso da sub-bacia 58, situada entre Barra do Pirai e a foz do rio Paraíba do Sul, foram determinadas as equações regionais válidas para áreas de drenagem entre 17.645 e 55.450 km².

O valor da área de drenagem da UHE Itaocara ($A = 33.680 \text{ km}^2$) foi aplicado nas equações desenvolvidas, com o objetivo de estimar as vazões mínimas com sete dias de duração (Q7). A Figura 4.12 apresenta o gráfico de distribuição de frequência de Weibull para o local do aproveitamento, transferido pela relação entre áreas de drenagem, o qual apresenta o valor da Q7,10 de 150 m³/s.

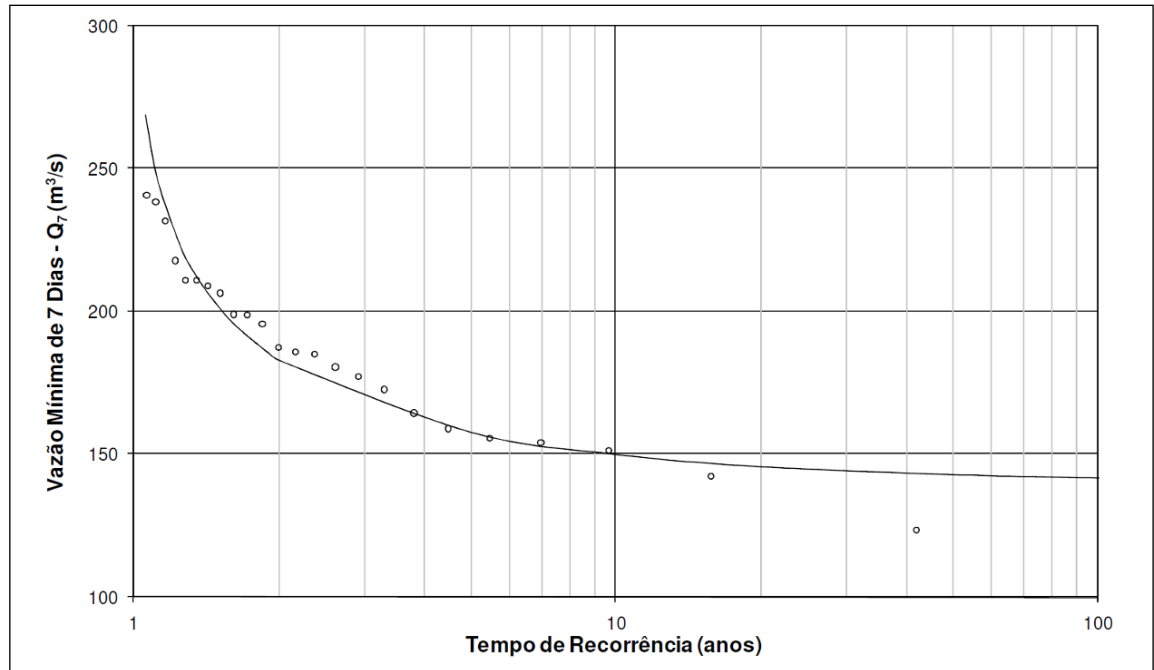


Figura 4.12 - Frequência de Vazões Médias de Sete Dias no Rio Paraíba do Sul no Local da UHE Itaocara I.

4.2.3.3 Estudos Hidrológicos Desenvolvidos pela VLB Engenharia

Vazões Médias Mensais naturais

Conforme realizado anualmente, o Operador Nacional do Sistema Elétrico Brasileiro (ONS), disponibiliza em sua página na internet, as séries de vazões médias mensais das usinas que compõe o Sistema Elétrico Brasileiro.

A reconstituição da série de vazões médias mensais naturais e, no caso da UHE Itaocara, também as artificiais, foram disponibilizadas em março de 2016, com extensão das séries até dezembro de 2014.

Estas séries serão utilizadas na continuidade dos estudos, haja visto a consistência dos estudos contratados pelo ONS, sua representatividade das condições hidrológicas e interferências humanas e sua aceitação pela ANEEL no âmbito da aprovação deste projeto.

As séries de vazões médias mensais naturais e artificiais são apresentadas nas a Tabela 4.21 e na Tabela 4.21 respectivamente.

Tabela 4.22 - UHE Itaocara I - Vazões Médias Mensais Naturais.

| ANO | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ | MED |
|------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|
| 1931 | 1.090 | 2.240 | 1.737 | 1.120 | 708 | 552 | 464 | 387 | 400 | 534 | 554 | 936 | 893 |
| 1932 | 1.466 | 1.277 | 1.158 | 685 | 640 | 593 | 411 | 384 | 368 | 485 | 557 | 1.198 | 769 |
| 1933 | 1.391 | 816 | 748 | 520 | 469 | 386 | 324 | 273 | 306 | 454 | 514 | 951 | 596 |



UHE ITAOCARA I

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|
| 1934 | 1.414 | 710 | 767 | 553 | 397 | 316 | 270 | 230 | 251 | 277 | 266 | 896 | 529 |
| 1935 | 944 | 1.921 | 1.123 | 762 | 542 | 437 | 347 | 309 | 319 | 528 | 413 | 411 | 671 |
| 1936 | 412 | 589 | 1.542 | 952 | 522 | 377 | 318 | 291 | 359 | 315 | 361 | 758 | 566 |
| 1937 | 1.348 | 1.397 | 774 | 675 | 648 | 446 | 330 | 264 | 233 | 447 | 622 | 1.491 | 723 |
| 1938 | 1.363 | 1.208 | 1.099 | 823 | 608 | 498 | 396 | 439 | 385 | 530 | 658 | 915 | 743 |
| 1939 | 1.136 | 1.094 | 730 | 809 | 519 | 394 | 326 | 277 | 257 | 291 | 388 | 662 | 574 |
| 1940 | 1.179 | 1.525 | 1.278 | 690 | 498 | 410 | 303 | 255 | 259 | 382 | 706 | 822 | 692 |
| 1941 | 938 | 666 | 815 | 671 | 428 | 360 | 356 | 238 | 488 | 573 | 605 | 1.026 | 597 |
| 1942 | 1.000 | 896 | 1.174 | 740 | 589 | 445 | 438 | 298 | 315 | 402 | 585 | 1.009 | 658 |
| 1943 | 1.886 | 1.495 | 1.195 | 777 | 551 | 457 | 362 | 342 | 328 | 547 | 556 | 937 | 786 |
| 1944 | 935 | 1.507 | 1.784 | 908 | 622 | 478 | 403 | 315 | 267 | 286 | 376 | 586 | 706 |
| 1945 | 947 | 1.501 | 930 | 870 | 566 | 483 | 528 | 314 | 286 | 263 | 465 | 858 | 667 |
| 1946 | 1.783 | 921 | 989 | 807 | 532 | 430 | 354 | 283 | 229 | 383 | 508 | 543 | 647 |
| 1947 | 1.517 | 1.685 | 2.708 | 1.245 | 821 | 585 | 670 | 537 | 590 | 632 | 752 | 1.255 | 1.083 |
| 1948 | 1.218 | 1.534 | 1.707 | 1.075 | 704 | 575 | 452 | 432 | 354 | 429 | 568 | 985 | 836 |
| 1949 | 1.262 | 1.619 | 1.062 | 761 | 560 | 492 | 394 | 312 | 286 | 375 | 483 | 760 | 697 |
| 1950 | 1.479 | 1.862 | 1.374 | 1.092 | 792 | 592 | 454 | 351 | 303 | 439 | 719 | 1.124 | 882 |
| 1951 | 1.197 | 1.390 | 1.626 | 1.153 | 642 | 533 | 487 | 381 | 335 | 353 | 373 | 674 | 762 |
| 1952 | 1.201 | 1.517 | 1.831 | 1.019 | 569 | 679 | 488 | 432 | 472 | 450 | 659 | 845 | 847 |
| 1953 | 569 | 735 | 632 | 683 | 500 | 353 | 356 | 313 | 281 | 370 | 606 | 718 | 510 |
| 1954 | 506 | 660 | 562 | 556 | 509 | 405 | 288 | 232 | 205 | 267 | 317 | 385 | 408 |
| 1955 | 887 | 507 | 527 | 475 | 334 | 293 | 220 | 183 | 188 | 204 | 350 | 651 | 402 |
| 1956 | 659 | 490 | 837 | 534 | 437 | 436 | 312 | 374 | 278 | 303 | 384 | 721 | 480 |
| 1957 | 834 | 886 | 1.245 | 1.187 | 609 | 448 | 380 | 314 | 420 | 315 | 555 | 730 | 660 |
| 1958 | 541 | 928 | 828 | 684 | 672 | 582 | 432 | 321 | 376 | 426 | 642 | 816 | 604 |
| 1959 | 1.280 | 764 | 1.019 | 896 | 498 | 377 | 306 | 313 | 249 | 267 | 561 | 560 | 591 |
| 1960 | 796 | 1.093 | 1.658 | 788 | 577 | 460 | 390 | 354 | 298 | 318 | 463 | 819 | 668 |
| 1961 | 1.782 | 1.892 | 1.932 | 1.078 | 792 | 566 | 441 | 373 | 305 | 282 | 375 | 578 | 866 |
| 1962 | 907 | 1.829 | 1.168 | 718 | 533 | 417 | 342 | 318 | 365 | 477 | 714 | 959 | 729 |
| 1963 | 1.032 | 1.089 | 797 | 515 | 363 | 309 | 271 | 241 | 195 | 226 | 389 | 287 | 476 |
| 1964 | 604 | 1.284 | 729 | 506 | 415 | 311 | 328 | 252 | 225 | 366 | 412 | 672 | 509 |
| 1965 | 1.296 | 1.671 | 1.307 | 744 | 769 | 537 | 467 | 377 | 302 | 539 | 684 | 879 | 798 |
| 1966 | 2.118 | 898 | 1.323 | 910 | 653 | 473 | 398 | 365 | 343 | 444 | 1.067 | 1.127 | 843 |
| 1967 | 2.161 | 2.396 | 2.122 | 1.235 | 772 | 638 | 529 | 414 | 382 | 401 | 695 | 940 | 1.057 |
| 1968 | 1.089 | 745 | 861 | 623 | 437 | 360 | 324 | 321 | 314 | 308 | 275 | 611 | 522 |
| 1969 | 852 | 767 | 799 | 622 | 375 | 355 | 289 | 287 | 249 | 346 | 677 | 918 | 545 |
| 1970 | 879 | 861 | 919 | 566 | 412 | 334 | 347 | 296 | 465 | 439 | 512 | 533 | 547 |
| 1971 | 553 | 314 | 665 | 466 | 355 | 377 | 302 | 249 | 333 | 470 | 607 | 991 | 473 |
| 1972 | 888 | 1.141 | 1.271 | 743 | 483 | 383 | 371 | 365 | 370 | 536 | 701 | 777 | 669 |
| 1973 | 1.157 | 1.305 | 805 | 851 | 612 | 439 | 401 | 351 | 319 | 429 | 705 | 919 | 691 |
| 1974 | 1.213 | 851 | 1.001 | 874 | 521 | 467 | 409 | 311 | 272 | 321 | 332 | 745 | 610 |
| 1975 | 1.217 | 1.142 | 879 | 609 | 429 | 350 | 321 | 248 | 220 | 365 | 645 | 951 | 615 |
| 1976 | 862 | 908 | 909 | 773 | 587 | 612 | 621 | 498 | 567 | 638 | 727 | 974 | 723 |



UHE ITAOCARA I

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1977 | 1.132 | 903 | 587 | 705 | 459 | 381 | 300 | 254 | 343 | 321 | 527 | 952 | 572 |
| 1978 | 1.276 | 830 | 854 | 526 | 428 | 425 | 339 | 269 | 239 | 240 | 459 | 583 | 539 |
| 1979 | 727 | 1.344 | 920 | 587 | 489 | 381 | 354 | 349 | 430 | 344 | 692 | 787 | 617 |
| 1980 | 1.185 | 977 | 692 | 827 | 457 | 390 | 381 | 327 | 324 | 378 | 523 | 878 | 612 |
| 1981 | 1.293 | 838 | 780 | 639 | 459 | 401 | 347 | 308 | 252 | 390 | 699 | 1.062 | 622 |
| 1982 | 1.189 | 837 | 1.460 | 1.106 | 620 | 528 | 462 | 424 | 335 | 452 | 533 | 1.101 | 754 |
| 1983 | 1.728 | 1.335 | 1.233 | 1.109 | 811 | 1.431 | 785 | 560 | 1.049 | 1.003 | 1.089 | 1.374 | 1.126 |
| 1984 | 1.166 | 721 | 650 | 689 | 676 | 430 | 355 | 358 | 345 | 317 | 337 | 522 | 547 |
| 1985 | 1.449 | 1.749 | 1.705 | 972 | 681 | 512 | 421 | 354 | 383 | 334 | 437 | 629 | 802 |
| 1986 | 899 | 1.000 | 1.150 | 633 | 496 | 405 | 362 | 403 | 324 | 288 | 337 | 976 | 606 |
| 1987 | 1.043 | 1.109 | 750 | 973 | 707 | 624 | 437 | 336 | 403 | 366 | 372 | 741 | 655 |
| 1988 | 908 | 1.819 | 1.283 | 820 | 734 | 658 | 452 | 408 | 372 | 427 | 576 | 583 | 753 |
| 1989 | 1.145 | 1.250 | 1.256 | 849 | 580 | 547 | 442 | 468 | 411 | 378 | 436 | 648 | 701 |
| 1990 | 695 | 390 | 673 | 597 | 441 | 359 | 372 | 348 | 400 | 422 | 409 | 393 | 458 |
| 1991 | 1.040 | 1.165 | 1.048 | 1.267 | 718 | 467 | 455 | 373 | 344 | 559 | 395 | 477 | 692 |
| 1992 | 1.275 | 776 | 681 | 520 | 489 | 371 | 376 | 322 | 465 | 535 | 782 | 842 | 620 |
| 1993 | 657 | 924 | 1.012 | 883 | 545 | 533 | 398 | 345 | 388 | 454 | 368 | 468 | 581 |
| 1994 | 853 | 615 | 930 | 813 | 683 | 442 | 340 | 286 | 235 | 235 | 384 | 722 | 545 |
| 1995 | 612 | 1.598 | 765 | 563 | 436 | 329 | 331 | 255 | 226 | 504 | 643 | 737 | 583 |
| 1996 | 1.378 | 1.298 | 1.606 | 931 | 622 | 481 | 402 | 362 | 623 | 451 | 988 | 959 | 842 |
| 1997 | 1.642 | 1.063 | 970 | 631 | 487 | 504 | 378 | 329 | 293 | 395 | 540 | 689 | 660 |
| 1998 | 737 | 1.015 | 763 | 560 | 458 | 356 | 299 | 276 | 293 | 526 | 528 | 600 | 534 |
| 1999 | 1.250 | 1.140 | 1.032 | 629 | 427 | 420 | 375 | 300 | 284 | 280 | 347 | 665 | 596 |
| 2000 | 1.326 | 970 | 808 | 722 | 406 | 334 | 331 | 309 | 419 | 287 | 430 | 747 | 591 |
| 2001 | 796 | 867 | 620 | 565 | 368 | 291 | 254 | 234 | 256 | 333 | 386 | 592 | 464 |
| 2002 | 989 | 1.247 | 744 | 494 | 407 | 303 | 287 | 258 | 274 | 205 | 464 | 847 | 543 |
| 2003 | 1.172 | 902 | 749 | 514 | 381 | 311 | 280 | 257 | 262 | 367 | 506 | 664 | 531 |
| 2004 | 939 | 1.096 | 1.093 | 975 | 660 | 615 | 531 | 393 | 303 | 400 | 493 | 934 | 703 |
| 2005 | 1.261 | 1.348 | 986 | 836 | 626 | 533 | 452 | 359 | 364 | 359 | 546 | 899 | 714 |
| 2006 | 715 | 1.178 | 792 | 577 | 426 | 348 | 314 | 281 | 291 | 446 | 666 | 1.021 | 588 |
| 2007 | 1.724 | 999 | 591 | 492 | 419 | 352 | 332 | 287 | 208 | 285 | 562 | 579 | 569 |
| 2008 | 708 | 1.418 | 1.246 | 1.070 | 641 | 514 | 381 | 371 | 319 | 440 | 758 | 1.182 | 754 |
| 2009 | 1.413 | 1.805 | 1.115 | 863 | 590 | 510 | 477 | 453 | 455 | 729 | 866 | 1.513 | 899 |
| 2010 | 1.770 | 987 | 1.318 | 1.068 | 642 | 494 | 493 | 358 | 322 | 407 | 702 | 1.453 | 835 |
| 2011 | 1.804 | 814 | 1.476 | 1.003 | 624 | 511 | 419 | 360 | 298 | 403 | 501 | 997 | 768 |
| 2012 | 1.490 | 867 | 646 | 590 | 580 | 545 | 424 | 323 | 272 | 279 | 442 | 570 | 586 |
| 2013 | 1.351 | 1.183 | 1.087 | 759 | 485 | 450 | 438 | 323 | 300 | 369 | 477 | 907 | 677 |
| 2014 | 493 | 286 | 383 | 415 | 263 | 244 | 221 | 208 | 186 | 167 | 262 | 311 | 287 |
| MIN | 412 | 286 | 383 | 415 | 263 | 244 | 220 | 183 | 186 | 167 | 262 | 287 | 287 |
| MED | 1.131 | 1.133 | 1.064 | 775 | 548 | 459 | 387 | 331 | 336 | 399 | 542 | 816 | 660 |
| MAX | 2.161 | 2.396 | 2.708 | 1.267 | 821 | 1.431 | 785 | 560 | 1.049 | 1.003 | 1.089 | 1.513 | 1.126 |



UHE ITAOCARA I

Tabela 4.23 - UHE Itaocara I - Vazões Médias Mensais Artificiais.

| ANO | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ | MED |
|------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|
| 1931 | 890 | 2.025 | 1.529 | 910 | 517 | 372 | 327 | 264 | 267 | 372 | 366 | 738 | 715 |
| 1932 | 1.265 | 1.085 | 957 | 495 | 449 | 413 | 266 | 251 | 250 | 351 | 396 | 1.005 | 599 |
| 1933 | 1.183 | 630 | 560 | 379 | 334 | 274 | 222 | 178 | 200 | 329 | 375 | 760 | 452 |
| 1934 | 1.209 | 521 | 582 | 375 | 263 | 203 | 169 | 144 | 148 | 171 | 173 | 712 | 389 |
| 1935 | 755 | 1.711 | 928 | 575 | 363 | 304 | 234 | 204 | 197 | 349 | 277 | 268 | 514 |
| 1936 | 262 | 394 | 1.327 | 738 | 334 | 230 | 184 | 168 | 226 | 198 | 237 | 580 | 407 |
| 1937 | 1.149 | 1.189 | 592 | 494 | 461 | 293 | 212 | 167 | 150 | 314 | 446 | 1.290 | 563 |
| 1938 | 1.168 | 996 | 902 | 634 | 427 | 338 | 267 | 302 | 250 | 346 | 471 | 718 | 568 |
| 1939 | 938 | 899 | 544 | 622 | 336 | 259 | 207 | 175 | 160 | 196 | 258 | 466 | 422 |
| 1940 | 965 | 1.310 | 1.072 | 505 | 335 | 286 | 202 | 170 | 175 | 275 | 528 | 647 | 539 |
| 1941 | 756 | 488 | 629 | 499 | 319 | 265 | 257 | 165 | 339 | 397 | 424 | 819 | 446 |
| 1942 | 793 | 704 | 970 | 541 | 411 | 319 | 314 | 199 | 227 | 289 | 427 | 803 | 500 |
| 1943 | 1.678 | 1.283 | 1.003 | 589 | 416 | 342 | 265 | 242 | 233 | 406 | 418 | 737 | 634 |
| 1944 | 746 | 1.292 | 1.582 | 722 | 442 | 345 | 278 | 221 | 187 | 211 | 263 | 426 | 560 |
| 1945 | 755 | 1.309 | 741 | 678 | 400 | 323 | 354 | 214 | 189 | 173 | 333 | 671 | 512 |
| 1946 | 1.578 | 733 | 795 | 622 | 376 | 298 | 244 | 195 | 155 | 261 | 367 | 383 | 501 |
| 1947 | 1.306 | 1.478 | 2.493 | 1.038 | 633 | 408 | 493 | 394 | 416 | 453 | 569 | 1.053 | 895 |
| 1948 | 1.028 | 1.325 | 1.492 | 883 | 521 | 399 | 309 | 301 | 236 | 314 | 405 | 798 | 668 |
| 1949 | 1.062 | 1.419 | 871 | 576 | 411 | 356 | 272 | 219 | 197 | 269 | 345 | 575 | 548 |
| 1950 | 1.264 | 1.647 | 1.171 | 890 | 590 | 412 | 322 | 241 | 210 | 309 | 539 | 930 | 710 |
| 1951 | 999 | 1.189 | 1.422 | 956 | 460 | 357 | 356 | 259 | 234 | 246 | 256 | 490 | 602 |
| 1952 | 997 | 1.302 | 1.616 | 830 | 399 | 504 | 358 | 317 | 346 | 346 | 492 | 663 | 681 |
| 1953 | 440 | 556 | 453 | 499 | 363 | 243 | 267 | 234 | 198 | 277 | 420 | 531 | 373 |
| 1954 | 346 | 483 | 387 | 372 | 320 | 270 | 186 | 154 | 133 | 167 | 212 | 260 | 274 |
| 1955 | 685 | 362 | 341 | 331 | 224 | 199 | 149 | 123 | 119 | 140 | 239 | 470 | 282 |
| 1956 | 476 | 303 | 642 | 349 | 291 | 283 | 212 | 242 | 184 | 190 | 240 | 538 | 329 |
| 1957 | 640 | 689 | 1.037 | 972 | 425 | 314 | 261 | 216 | 274 | 214 | 377 | 545 | 497 |
| 1958 | 361 | 749 | 620 | 487 | 484 | 400 | 294 | 211 | 247 | 290 | 433 | 615 | 433 |
| 1959 | 1.082 | 575 | 815 | 703 | 333 | 252 | 205 | 210 | 166 | 182 | 415 | 389 | 444 |
| 1960 | 600 | 896 | 1.459 | 604 | 404 | 327 | 276 | 245 | 212 | 214 | 297 | 633 | 514 |
| 1961 | 1.567 | 1.677 | 1.717 | 874 | 605 | 413 | 319 | 269 | 219 | 198 | 260 | 398 | 710 |
| 1962 | 694 | 1.614 | 977 | 537 | 371 | 297 | 239 | 224 | 245 | 304 | 534 | 760 | 566 |
| 1963 | 841 | 895 | 609 | 348 | 250 | 217 | 190 | 169 | 138 | 147 | 262 | 190 | 355 |
| 1964 | 444 | 1.075 | 550 | 366 | 294 | 222 | 233 | 179 | 158 | 256 | 296 | 482 | 380 |
| 1965 | 1.097 | 1.461 | 1.106 | 557 | 587 | 403 | 342 | 282 | 226 | 382 | 503 | 673 | 635 |
| 1966 | 1.903 | 712 | 1.116 | 696 | 467 | 338 | 283 | 250 | 239 | 307 | 873 | 917 | 675 |
| 1967 | 1.946 | 2.181 | 1.908 | 1.030 | 587 | 462 | 378 | 295 | 267 | 272 | 519 | 751 | 883 |
| 1968 | 897 | 558 | 672 | 435 | 301 | 247 | 223 | 225 | 225 | 221 | 191 | 431 | 386 |
| 1969 | 667 | 577 | 614 | 437 | 264 | 251 | 212 | 205 | 181 | 238 | 493 | 720 | 405 |
| 1970 | 689 | 677 | 738 | 390 | 282 | 224 | 237 | 197 | 309 | 307 | 351 | 363 | 397 |
| 1971 | 384 | 190 | 473 | 286 | 224 | 241 | 195 | 154 | 218 | 288 | 405 | 795 | 321 |



UHE ITAOCARA I

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|
| 1972 | 700 | 930 | 1.059 | 552 | 345 | 274 | 265 | 251 | 280 | 368 | 526 | 591 | 512 |
| 1973 | 942 | 1.090 | 613 | 662 | 427 | 318 | 285 | 252 | 222 | 302 | 519 | 704 | 528 |
| 1974 | 999 | 659 | 811 | 687 | 387 | 332 | 291 | 225 | 195 | 231 | 243 | 530 | 466 |
| 1975 | 1.002 | 927 | 664 | 406 | 297 | 243 | 228 | 176 | 158 | 258 | 460 | 757 | 465 |
| 1976 | 669 | 718 | 710 | 579 | 403 | 435 | 443 | 322 | 390 | 458 | 547 | 783 | 538 |
| 1977 | 917 | 700 | 406 | 507 | 308 | 252 | 199 | 165 | 218 | 207 | 352 | 750 | 415 |
| 1978 | 1.067 | 636 | 665 | 367 | 291 | 293 | 231 | 188 | 168 | 170 | 323 | 409 | 401 |
| 1979 | 546 | 1.154 | 734 | 430 | 357 | 274 | 245 | 236 | 293 | 214 | 506 | 599 | 466 |
| 1980 | 980 | 775 | 503 | 633 | 321 | 270 | 265 | 222 | 221 | 255 | 350 | 682 | 456 |
| 1981 | 1.082 | 646 | 591 | 447 | 321 | 273 | 237 | 212 | 174 | 261 | 517 | 856 | 468 |
| 1982 | 981 | 644 | 1.252 | 908 | 442 | 353 | 320 | 289 | 226 | 301 | 360 | 902 | 582 |
| 1983 | 1.518 | 1.146 | 1.035 | 918 | 625 | 1.244 | 607 | 387 | 863 | 818 | 899 | 1.187 | 937 |
| 1984 | 982 | 547 | 472 | 510 | 498 | 301 | 246 | 239 | 232 | 212 | 229 | 371 | 403 |
| 1985 | 1.238 | 1.534 | 1.490 | 782 | 498 | 372 | 303 | 255 | 257 | 235 | 305 | 449 | 643 |
| 1986 | 707 | 789 | 947 | 449 | 322 | 282 | 234 | 274 | 222 | 189 | 213 | 764 | 449 |
| 1987 | 838 | 910 | 567 | 762 | 520 | 441 | 262 | 206 | 254 | 226 | 238 | 559 | 482 |
| 1988 | 717 | 1.604 | 1.068 | 624 | 544 | 475 | 307 | 287 | 264 | 286 | 390 | 406 | 581 |
| 1989 | 951 | 1.049 | 1.059 | 658 | 394 | 365 | 305 | 297 | 278 | 259 | 292 | 463 | 531 |
| 1990 | 515 | 266 | 498 | 407 | 305 | 259 | 263 | 243 | 276 | 286 | 284 | 283 | 324 |
| 1991 | 855 | 981 | 842 | 1.069 | 532 | 314 | 322 | 269 | 246 | 383 | 286 | 339 | 537 |
| 1992 | 1.060 | 592 | 493 | 363 | 333 | 275 | 270 | 236 | 332 | 376 | 587 | 651 | 464 |
| 1993 | 472 | 731 | 813 | 692 | 389 | 366 | 282 | 248 | 258 | 300 | 269 | 329 | 429 |
| 1994 | 666 | 439 | 728 | 618 | 501 | 307 | 232 | 200 | 159 | 153 | 259 | 530 | 399 |
| 1995 | 424 | 1.383 | 578 | 386 | 269 | 208 | 205 | 161 | 142 | 328 | 461 | 557 | 425 |
| 1996 | 1.187 | 1.083 | 1.391 | 736 | 438 | 316 | 270 | 235 | 444 | 293 | 798 | 773 | 664 |
| 1997 | 1.427 | 872 | 782 | 453 | 352 | 345 | 268 | 232 | 195 | 264 | 363 | 511 | 505 |
| 1998 | 546 | 805 | 576 | 378 | 284 | 242 | 198 | 186 | 175 | 349 | 371 | 417 | 377 |
| 1999 | 1.048 | 941 | 834 | 442 | 289 | 285 | 253 | 203 | 184 | 187 | 236 | 482 | 449 |
| 2000 | 1.111 | 765 | 611 | 536 | 274 | 226 | 222 | 207 | 287 | 201 | 259 | 559 | 438 |
| 2001 | 608 | 677 | 437 | 385 | 241 | 193 | 163 | 146 | 159 | 203 | 255 | 400 | 322 |
| 2002 | 797 | 1.047 | 554 | 332 | 267 | 199 | 182 | 164 | 176 | 131 | 306 | 638 | 399 |
| 2003 | 968 | 717 | 559 | 377 | 272 | 228 | 201 | 185 | 189 | 248 | 359 | 490 | 399 |
| 2004 | 745 | 886 | 901 | 778 | 476 | 434 | 361 | 279 | 216 | 277 | 349 | 745 | 537 |
| 2005 | 1.065 | 1.151 | 796 | 651 | 439 | 394 | 324 | 267 | 252 | 237 | 368 | 699 | 554 |
| 2006 | 533 | 984 | 605 | 389 | 298 | 246 | 216 | 203 | 203 | 309 | 468 | 806 | 438 |
| 2007 | 1.509 | 799 | 445 | 358 | 306 | 257 | 221 | 209 | 153 | 194 | 385 | 410 | 437 |
| 2008 | 513 | 1.203 | 1.035 | 855 | 447 | 367 | 278 | 257 | 233 | 306 | 569 | 981 | 587 |
| 2009 | 1.202 | 1.599 | 916 | 668 | 423 | 370 | 340 | 318 | 319 | 525 | 670 | 1.298 | 721 |
| 2010 | 1.559 | 799 | 1.103 | 853 | 459 | 359 | 354 | 261 | 238 | 305 | 556 | 1.238 | 674 |
| 2011 | 1.594 | 636 | 1.278 | 813 | 447 | 379 | 310 | 266 | 222 | 296 | 373 | 820 | 620 |
| 2012 | 1.296 | 690 | 485 | 450 | 434 | 373 | 301 | 245 | 209 | 203 | 334 | 403 | 452 |
| 2013 | 1.136 | 982 | 874 | 573 | 348 | 328 | 306 | 238 | 224 | 258 | 328 | 728 | 527 |
| 2014 | 353 | 202 | 255 | 282 | 178 | 163 | 147 | 141 | 120 | 107 | 178 | 206 | 194 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|
| MIN | 262 | 190 | 255 | 282 | 178 | 163 | 147 | 123 | 119 | 107 | 173 | 190 | 194 |
| MED | 935 | 939 | 870 | 590 | 388 | 323 | 269 | 228 | 232 | 275 | 388 | 632 | 506 |
| MAX | 1.946 | 2.181 | 2.493 | 1.069 | 633 | 1.244 | 607 | 394 | 863 | 818 | 899 | 1.298 | 937 |

Vazões Máximas

Foi realizada a análise estatística das vazões máximas do posto fluviométrico Anta (58630002), que é aquele mais próximo do sítio da UHE Itaocara I e com maior histórico de dados, seguindo a metodologia proposta pela ANA.

Devido à implantação da UHE Funil a montante do posto Anta no final do ano de 1969, procurou-se analisar o comportamento de vazões máximas em diferentes períodos no referido posto, de modo a avaliar o efeito do amortecimento das cheias no reservatório da UHE Funil.

Em uma segunda análise foi também utilizado o posto Queluz (58235100), localizado a montante da UHE Funil, para, através de correlação direta de vazões, transferir os valores posteriores a 1969 ao posto Anta, de maneira a desconsiderar os efeitos de amortecimento de cheias causados pela UHE Funil, permanecendo inalteradas as vazões de 1969 e anteriores.

Seguindo o exposto, os Estudos de Máximas então realizados tomaram como base as seguintes premissas:

Somente posto Anta

Alternativa 1 - Dados de 1931 a 2014;

Alternativa 2 - Dados de 1931 a 1969;

Alternativa 3 - Dados de 1970 a 2014.

Posto Anta e correlação com posto Queluz a partir de 1970

Alternativa 4 - Dados de 1931 a 2014;

A série de vazões máximas anuais obtida foi analisada tomando como base o ano hidrológico da região (setembro a agosto).

As vazões máximas anuais observadas são relacionadas na Tabela 4.24 (para dados somente do posto Anta) e na Tabela 4.25 (para dados do posto Anta e correlação com posto Queluz a partir de 1970).

Tabela 4.24 - Vazões Máximas Ano Hidrológico – Estação Anta (m³/s).

| Ano | Máxima (m³/s) | Ano | Máxima (m³/s) | Ano | Máxima (m³/s) |
|------|---------------|------|---------------|------|---------------|
| 1931 | 3.046 | 1959 | 1.718 | 1987 | 1.616 |
| 1932 | 3.022 | 1960 | 2.194 | 1988 | 2.231 |
| 1933 | 1.983 | 1961 | 2.184 | 1989 | 1.268 |
| 1934 | 2.223 | 1962 | 2.350 | 1990 | 981 |
| 1935 | 2.670 | 1963 | 1.215 | 1991 | 1.688 |

| Ano | Máxima (m³/s) | Ano | Máxima (m³/s) | Ano | Máxima (m³/s) |
|------|---------------|------|---------------|------|---------------|
| 1936 | 2.156 | 1964 | 2.460 | 1992 | 2.488 |
| 1937 | 2.165 | 1965 | 2.002 | 1993 | 915 |
| 1938 | 4.214 | 1966 | 4.182 | 1994 | 1.889 |
| 1939 | 2.108 | 1967 | 3.226 | 1995 | 1.820 |
| 1940 | 2.060 | 1968 | 1.104 | 1996 | 1.709 |
| 1941 | 2.079 | 1969 | 2.204 | 1997 | 2.047 |
| 1942 | 1.594 | 1970 | 1.126 | 1998 | 1.159 |
| 1943 | 4.182 | 1971 | 557 | 1999 | 1.122 |
| 1944 | 2.460 | 1972 | 1.652 | 2000 | 1.984 |
| 1945 | 2.530 | 1973 | 1.799 | 2001 | 1.173 |
| 1946 | 3.382 | 1974 | 1.689 | 2002 | 1.085 |
| 1947 | 4.672 | 1975 | 1.350 | 2003 | 1.868 |
| 1948 | 2.540 | 1976 | 1.587 | 2004 | 1.903 |
| 1949 | 2.069 | 1977 | 1.311 | 2005 | 1.639 |
| 1950 | 2.136 | 1978 | 2.119 | 2006 | 1.162 |
| 1951 | 1.882 | 1979 | 1.741 | 2007 | 1.849 |
| 1952 | 2.031 | 1980 | 1.076 | 2008 | 1.534 |
| 1953 | 1.324 | 1981 | - | 2009 | 1.889 |
| 1954 | 889 | 1982 | - | 2010 | 1.973 |
| 1955 | 1.311 | 1983 | 1.954 | 2011 | 1.873 |
| 1956 | 1.566 | 1984 | 1.509 | 2012 | 1.863 |
| 1957 | 1.882 | 1985 | 2.396 | 2013 | 1.560 |
| 1958 | 1.298 | 1986 | 1.259 | 2014 | - |

Tabela 4.25 - Vazões Máximas Ano Hidrológico – Estação Anta com Correlação Posto Queluz (m³/s).

| Ano | Máxima (m³/s) | Ano | Máxima (m³/s) | Ano | Máxima (m³/s) |
|------|---------------|------|---------------|------|---------------|
| 1931 | 3.046 | 1959 | 1.718 | 1987 | 1.816 |
| 1932 | 3.022 | 1960 | 2.194 | 1988 | 1.987 |
| 1933 | 1.983 | 1961 | 2.184 | 1989 | 1.513 |
| 1934 | 2.223 | 1962 | 2.350 | 1990 | 1.067 |
| 1935 | 2.670 | 1963 | 1.215 | 1991 | 2.191 |
| 1936 | 2.156 | 1964 | 2.460 | 1992 | 2.312 |
| 1937 | 2.165 | 1965 | 2.002 | 1993 | 1.767 |
| 1938 | 4.214 | 1966 | 4.182 | 1994 | 825 |
| 1939 | 2.108 | 1967 | 3.226 | 1995 | 1.789 |
| 1940 | 2.060 | 1968 | 1.104 | 1996 | 2.215 |
| 1941 | 2.079 | 1969 | 2.204 | 1997 | 2.138 |
| 1942 | 1.594 | 1970 | 1.579 | 1998 | 1.178 |
| 1943 | 4.182 | 1971 | 959 | 1999 | 2.183 |
| 1944 | 2.460 | 1972 | 1.521 | 2000 | 4.782 |
| 1945 | 2.530 | 1973 | 1.463 | 2001 | 1.133 |

| Ano | Máxima (m³/s) | Ano | Máxima (m³/s) | Ano | Máxima (m³/s) |
|------|---------------|------|---------------|------|---------------|
| 1946 | 3.382 | 1974 | 2.331 | 2002 | 1.569 |
| 1947 | 4.672 | 1975 | 852 | 2003 | 1.167 |
| 1948 | 2.540 | 1976 | 1.544 | 2004 | 1.745 |
| 1949 | 2.069 | 1977 | 1.440 | 2005 | 2.130 |
| 1950 | 2.136 | 1978 | 1.259 | 2006 | 1.544 |
| 1951 | 1.882 | 1979 | 904 | 2007 | 1.075 |
| 1952 | 2.031 | 1980 | 1.383 | 2008 | 1.964 |
| 1953 | 1.324 | 1981 | 1.500 | 2009 | 2.005 |
| 1954 | 889 | 1982 | 1.509 | 2010 | 2.219 |
| 1955 | 1.311 | 1983 | 2.368 | 2011 | 2.028 |
| 1956 | 1.566 | 1984 | 1.755 | 2012 | 1.230 |
| 1957 | 1.882 | 1985 | 1.427 | 2013 | 2.182 |
| 1958 | 1.298 | 1986 | 1.152 | 2014 | 849 |

Obs.: valores em negrito representam dados resultantes da correlação com o posto Queluz.

As séries de vazões máximas anuais foram submetidas a estudos estatísticos, sendo ajustadas à distribuição de Gumbel para coeficientes de assimetria abaixo de 1,5 e à distribuição Exponencial II Parâmetros nos demais casos, conforme recomendação da ELETROBRÁS.

Adicionalmente as vazões máximas diárias obtidas foram transformadas em vazões máximas instantâneas por meio da equação de Fuller, que segue descrita abaixo:

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

Onde:

Q_{INST} – Vazão máxima instantânea (m³/s);

$Q_{MÁX}$ – Vazão máxima diária (m³/s);

A – Área de drenagem da bacia hidrográfica no local do aproveitamento (km²).

A Tabela 4.26 relaciona as vazões máximas estimadas para os tempos de recorrência de interesse no posto Anta e no eixo do aproveitamento.

Tabela 4.26 - Vazões Máximas Obtidas.

| Tempo de Recorrência (anos) | Máxima Instantânea (m³/s) | | | |
|-----------------------------|---------------------------|---------------|---------------|---------------|
| | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | Alternativa 4 |
| 2 | 2.094 | 2.495 | 1.766 | 2.113 |

| Tempo de Recorrência (anos) | Máxima Instantânea (m³/s) | | | |
|-----------------------------|---------------------------|---------------|---------------|---------------|
| | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | Alternativa 4 |
| 5 | 2.873 | 3.392 | 2.194 | 2.956 |
| 10 | 3.389 | 3.986 | 2.477 | 3.514 |
| 15 | 3.681 | 4.321 | 2.637 | 3.829 |
| 20 | 3.884 | 4.556 | 2.749 | 4.049 |
| 25 | 4.042 | 4.736 | 2.835 | 4.219 |
| 50 | 4.525 | 5.293 | 3.100 | 4.742 |
| 100 | 5.006 | 5.846 | 3.364 | 5.261 |
| 1.000 | 6.592 | 7.671 | 4.235 | 6.976 |
| 10.000 | 8.176 | 9.493 | 5.104 | 8.688 |

Dos resultados apresentados na Tabela 4.25, fica claro que a utilização dos valores de vazão medidos na estação fluviométrica Anta, a partir do ano de 1970 tende a subestimar as cheias naturais, pois estas tiveram o efeito do amortecimento dos reservatórios a montante.

O preenchimento de vazões máximas a partir do posto Queluz (Alternativas 4) resulta em valores próximos aos calculados para o período completo do posto Anta (Alternativa 1).

Após avaliação dos estudos estatísticos desenvolvidos, adotou-se os valores de vazões máximas estimadas para o período de dados exclusivamente do posto Anta entre os anos de 1931 a 1969 (Alternativa 2), por representarem as condições naturais do rio no trecho, sem a operação de reservatórios a montante.

Os resultados são apresentados na Tabela 4.24.

Tabela 4.24 - Vazões Máximas – UHE Itaocara I.

| Tempo de Recorrência (anos) | Instantânea (m³/s) |
|-----------------------------|--------------------|
| 2 | 2.495 |
| 5 | 3.392 |
| 10 | 3.986 |
| 25 | 4.736 |
| 50 | 5.293 |
| 100 | 5.846 |
| 1.000 | 7.671 |
| 10.000 | 9.493 |

O resultado da vazão de projeto do vertedouro foi muito próximo daquele apresentado no Edital do Leilão da UHE Itacara I ($Q=9.530 \text{ m}^3/\text{s}$), o qual foi aprovado pela Resolução ANA nº 1404 de 26 de novembro de 2013.

Desta forma será mantida a vazão de projeto de $9.530 \text{ m}^3/\text{s}$, conforme definição da ANEEL.

Vazões Máximas De Estiagem

Os estudos de Vazões Máximas de Estiagem consideraram as vazões observadas entre os meses de maio a outubro, calculando as vazões máximas instantâneas pelo critério de Fuller.

De acordo com o conceito adotado nos estudos para o período completo, foram utilizados os dados do posto fluviométrico Anta para o período entre 1931 e 1969.

As vazões máximas diárias ocorridas no período citado estão relacionadas na Tabela 4.25.

A amostra tem assimetria de 0,14, inferior a 1,5, tendo sido ajustada a distribuição de Gumbel.

A Figura 4.13 permite avaliar visualmente a aderência dos pontos representativos dos dados observados à distribuição.

Tabela 4.25 - Vazões Máximas Diárias - Posto Anta – Período de Estiagem.

| Ano | Máxima (m^3/s) | Ano | Máxima (m^3/s) |
|------|----------------------------------|------|----------------------------------|
| 1931 | 990 | 1951 | 633 |
| 1932 | 862 | 1952 | 580 |
| 1933 | 611 | 1953 | 438 |
| 1934 | 431 | 1954 | 394 |
| 1935 | 712 | 1955 | 204 |
| 1936 | 563 | 1956 | 342 |
| 1937 | 917 | 1957 | 477 |
| 1938 | 820 | 1958 | 689 |
| 1939 | 524 | 1959 | 346 |
| 1940 | 538 | 1960 | 403 |
| 1941 | 680 | 1961 | 689 |
| 1942 | 592 | 1962 | 636 |
| 1943 | 783 | 1963 | 184 |
| 1944 | 595 | 1964 | 290 |
| 1945 | 560 | 1965 | 1.016 |
| 1946 | 549 | 1966 | 608 |
| 1947 | 912 | 1967 | 671 |
| 1948 | 664 | 1968 | 327 |
| 1949 | 455 | 1969 | 315 |
| 1950 | 871 | - | - |

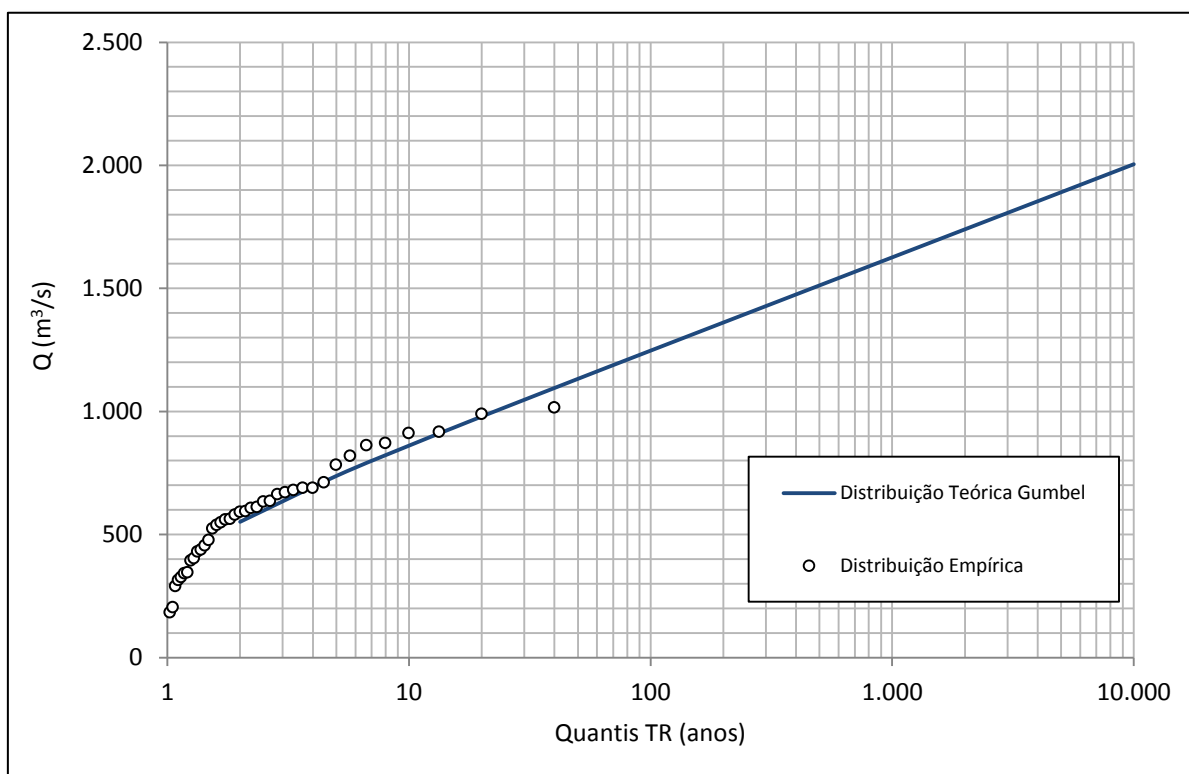


Figura 4.13 - Resultado do Ajuste das Amostras à Distribuição de Gumbel.

A Tabela 4.28 relaciona as vazões máximas de estiagem estimadas para os tempos de recorrência de interesse para o posto e para o aproveitamento.

Tabela 4.268 - Vazões Máximas de Estiagem.

| Tempo de Recorrência (anos) | Posto Anta | UHE Itaocara I | |
|-----------------------------|----------------------|----------------------|--------------------|
| | Máxima Diária (m³/s) | Máxima Diária (m³/s) | Instantânea (m³/s) |
| 2 | 552 | 568 | 634 |
| 5 | 738 | 760 | 849 |
| 10 | 861 | 887 | 990 |
| 15 | 931 | 959 | 1.070 |
| 20 | 979 | 1.009 | 1.126 |
| 25 | 1.017 | 1.047 | 1.169 |
| 50 | 1.132 | 1.166 | 1.302 |
| 100 | 1.247 | 1.284 | 1.434 |

Vazões Mínimas

Este estudo apresenta aquilo que foi exposto no Projeto Básico (SPEC, 2014), o qual sintetizou os estudos realizados no Projeto Básico (PCE, 2009) e reapresentados no Estudo de Disponibilidade Hídrica da UHE Itaocara I (Hicon, 2013) para a definição das vazões mínimas, especialmente aquelas correspondentes a média de sete dias consecutivos e 10 anos de retorno ($Q_{7,10}$) do aproveitamento. Esses procedimentos consistiram na coleta e análise dos seguintes estudos sobre o tema consistiu na coleta e análise dos seguintes estudos sobre o tema:

- Estudo de Regionalização de Vazões da Sub-Bacia 58 (Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Junho de 2002);
- Balanço entre Disponibilidade e Demandas Futuras dos Recursos Hídricos, em Quantidade e Qualidade, com Indicação de Conflitos Potenciais, do Plano de Recursos Hídricos para a Fase Inicial da Cobrança na Bacia do Rio Paraíba do Sul (Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia COPPE, 2002).

Os estudos desenvolvidos pela CPRM incluíram o ajustamento das distribuições teóricas de Weibull e Gumbel às vazões médias de sete dias consecutivos, mínimas anuais (Q_7), de todas as estações pré-selecionadas com mais de cinco anos de dados, sendo que para a grande maioria dessas estações a distribuição que melhor se ajustou foi a de Weibull.

Foram analisadas as regressões das vazões Q_7 , primeiramente com as áreas de drenagem e em seguida acrescentando-se as precipitações médias. No caso da sub-bacia 58, situada entre Barra do Piraí e a foz do rio Paraíba do Sul, foram determinadas as equações regionais válidas para áreas de drenagem entre 17.645 e 55.450 km².

O valor da área de drenagem da UHE Itaocara ($A = 33.680 \text{ km}^2$) foi aplicado nas equações desenvolvidas, com o objetivo de estimar as vazões mínimas com sete dias de duração (Q_7).

A Figura 4. apresenta o gráfico de distribuição de frequência de Weibull para o local do aproveitamento, transferido pela relação entre áreas de drenagem, o qual apresenta o valor da $Q_{7,10}$ de 150 m³/s.

4.2.3.4 Conclusão

Os estudos hidrológicos realizados pela VLB Engenharia têm o objetivo principal de analisar as premissas hidrológicas apresentadas nos estudos disponibilizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

Após atualização das séries hidrológicas e aferição dos estudos estatísticos, conclui-se que:

- A série de vazões médias mensais utilizada para continuidade deste estudo, será aquela disponibilizada pelo ONS em sua página na internet, em março de 2016.

- A vazão de projeto de vertedouro utilizada será de $9.530 \text{ m}^3/\text{s}$, apresentada no Edital do Leilão, Anexo VIII - Características Técnicas e Informações Básicas para a Exploração da UHE Itaipava.
- As vazões máximas utilizadas para o dimensionamento das demais estruturas, serão aquelas calculadas pela VLB, apresentadas no Item 4.2.3.3.

4.2.4 Estudos de Curva-Chave

As curvas-chave apresentadas neste capítulo foram estudadas e apresentadas no Projeto Básico (SPEC, 2014).

No traçado dessas curvas foram utilizados os dados disponíveis de descarga líquida dos postos fluviométricos locais, inclusive aqueles medidos especificamente para esta fase dos estudos.

Além disso, foram empregados, sempre que disponíveis, dados topobatimétricos visando sua extrapolação.

Para a definição da curva-chave no canal de fuga foi utilizado um modelo matemático unidimensional.

A Figura 4.14 apresenta a localização das réguas disponibilizadas pelo Consórcio Itaipava à época do projeto.

Os dados em questão, assim como os dados de nível d'água observados no âmbito deste trabalho, foram objeto de análise de consistência, utilizando-se técnicas de correlação e traçados de fluviogramas.

Nos itens seguintes é explicado o procedimento adotado para cada posto de interesse aos estudos

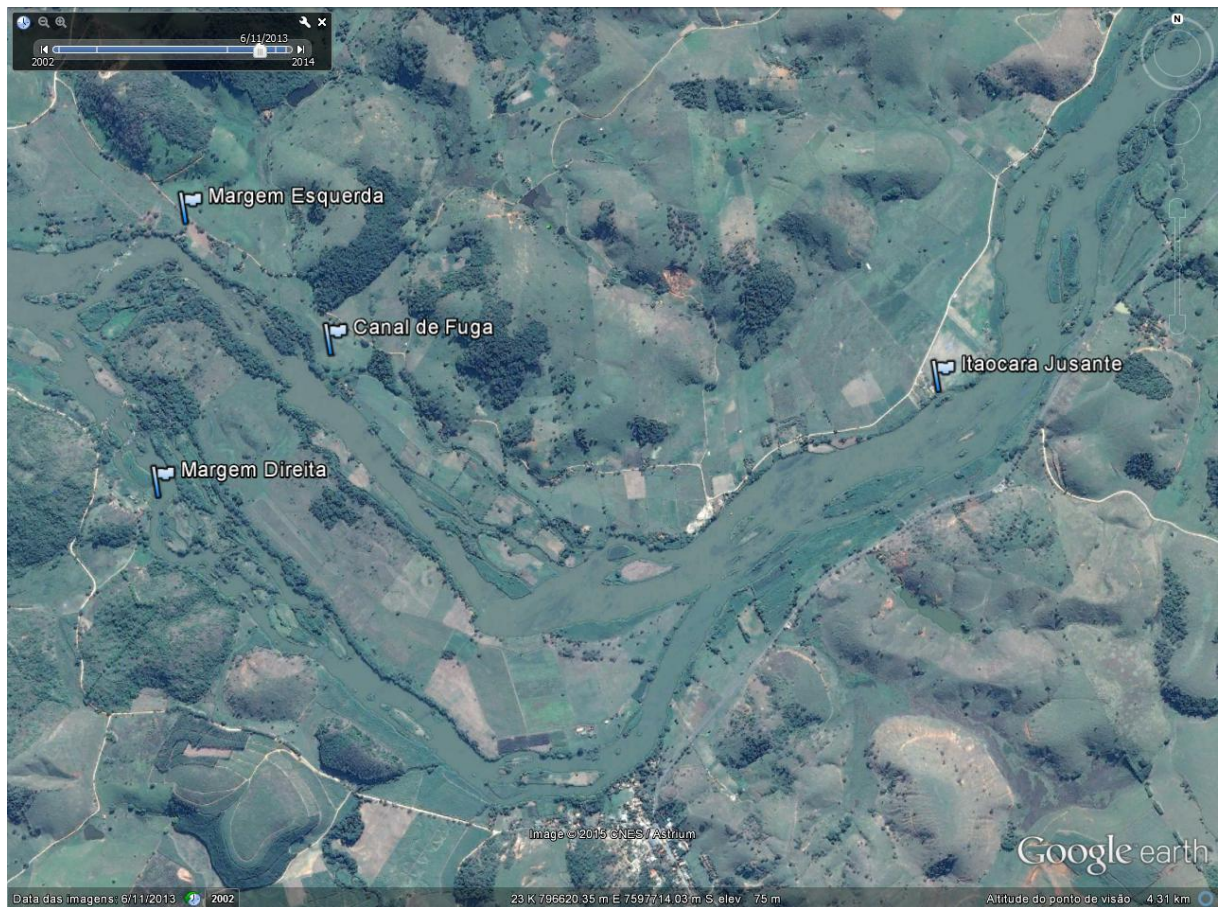


Figura 4.14 - Localização das Régua Consórcio Itaocara.

4.2.4.1 Curva-Chave Braço Esquerdo

Esse posto está localizado no sítio da futura UHE Itaocara I, onde a Ilha Serena divide o fluxo do rio Paraíba do Sul em dois canais principais.

No canal esquerdo, onde o escoamento também é eventualmente dividido, a medição de vazão é realizada em dois pequenos canais para níveis d'água variando entre 15,0 e 17,1 m.

Quando o nível d'água está abaixo de 15,0 m, o canal menor fica seco, e quando o nível está acima de 17,1 m, o divisor dos canais é afogado, tornando-se um único canal.

Encontra-se na Tabela 4.29 a soma das medições de vazão e das áreas, além da média das leituras de nível d'água dos dois pequenos canais.

Tabela 4.29 - Resumo de Medições de Vazão do Posto Itaocara I Canal Esquerdo.

| Nº | Data | Área (m ²) | Velocidade (m/s) | Nível d'Água (m) | Vazão (m ³ /s) |
|----|------------|------------------------|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 16/1/2.009 | 436 | 1,46 | 16,5 | 635 |

| Nº | Data | Área (m ²) | Velocidade (m/s) | Nível d'Água (m) | Vazão (m ³ /s) |
|----|------------|------------------------|------------------|------------------|---------------------------|
| 2 | 7/2/2.009 | 501 | 1,48 | 16,9 | 739 |
| 3 | 19/2/2.009 | 482 | 1,43 | 16,8 | 691 |
| 4 | 20/2/2.009 | 466 | 1,29 | 16,7 | 600 |
| 5 | 27/2/2.009 | 504 | 1,48 | 16,9 | 746 |
| 6 | 28/2/2.009 | 529 | 1,74 | 17,1 | 923 |
| 7 | 6/3/2.009 | 408 | 1,11 | 16,2 | 454 |
| 8 | 27/3/2.009 | 398 | 1,07 | 16,0 | 425 |
| 9 | 1/4/2.009 | 456 | 1,24 | 16,5 | 568 |
| 10 | 6/4/2.009 | 378 | 0,955 | 15,7 | 361 |
| 11 | 7/4/2.009 | 373 | 0,851 | 15,6 | 317 |
| 12 | 9/4/2.009 | 465 | 1,27 | 16,6 | 590 |
| 13 | 7/5/2.009 | 296 | 0,877 | 15,0 | 260 |
| 14 | 15/5/2.009 | 295 | 0,871 | 14,9 | 257 |
| 15 | 23/5/2.009 | 304 | 0,955 | 15,2 | 291 |
| 16 | 30/5/2.009 | 313 | 0,980 | 15,3 | 307 |
| 17 | 7/6/2.009 | 290 | 0,851 | 14,9 | 247 |
| 18 | 29/6/2.009 | 303 | 0,931 | 15,1 | 282 |

Utilizando as vazões e os níveis d'água acima, interpolou-se uma curva-chave para esse posto, apresentada na Figura 4.15.

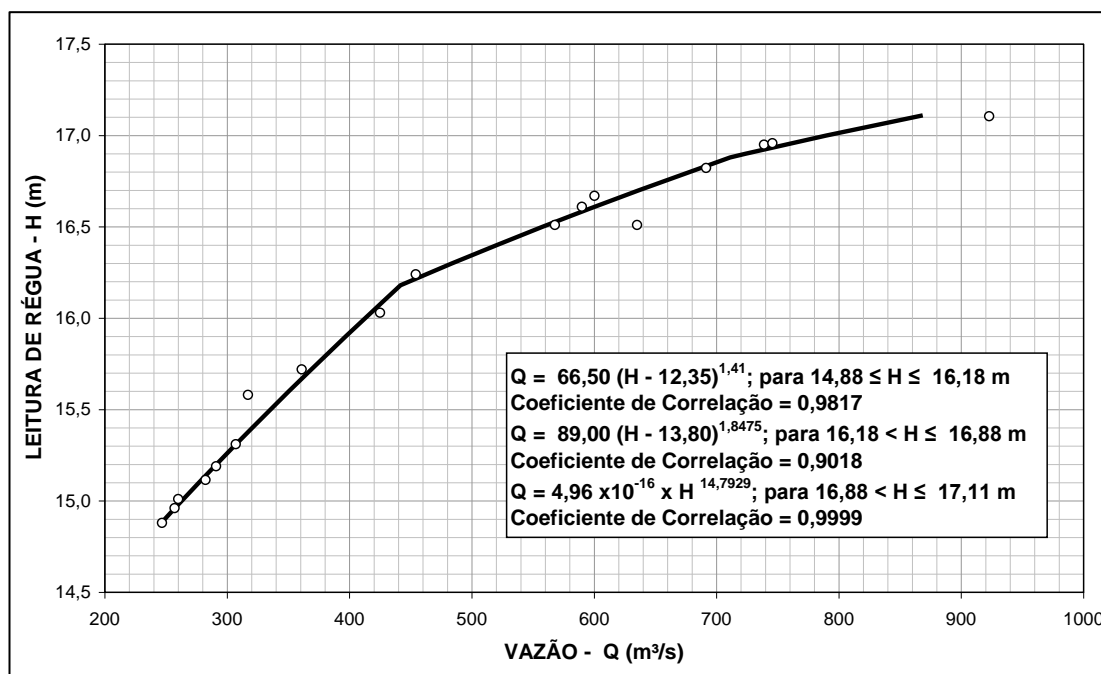


Figura 4.15 - Curva-Chave Interpolada do Posto Itaocara I Braço Esquerdo

Período: 16/01/2009 a 29/06/2009.

Na extrapolação dessa curva foi utilizado o Método da Área x Velocidade, baseado no gráfico apresentado na Figura 4.16 que contemplou apenas as maiores áreas medidas, em virtude da finalidade dessa correlação.

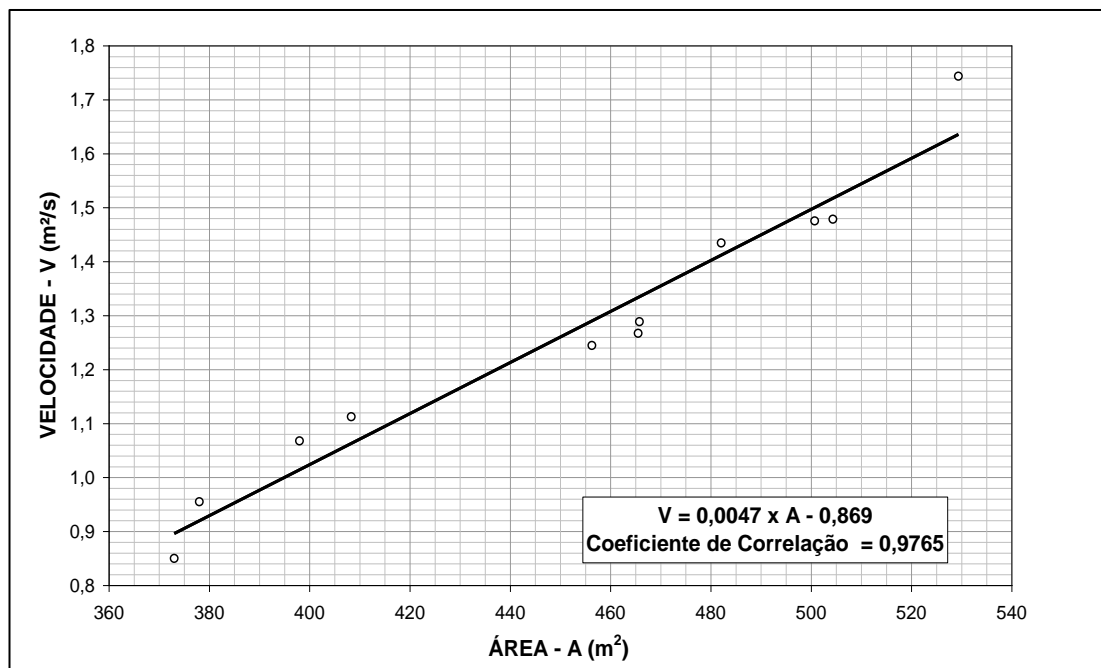


Figura 4.16 - Correlação entre Área e Velocidade do Posto Itaocara I Braço Esquerdo.

A seção utilizada para a extrapolação da curva S-21,5 foi obtida em escritório. As batimetrias dos pequenos canais foram levantadas a partir do resumo de descarga líquida dos dias 06/04 e 01/04/2.009, com níveis d'água iguais a 15,7 e 16,5 m, respectivamente.

A partir desses níveis, a topografia foi obtida utilizando-se como referência a planta do levantamento planialtimétrico realizado pela empresa LSF Andrade Computação e Serviços LTDA.

A Figura 4.17 apresenta a curva definida para esse posto e a configuração da seção topobatimétrica utilizada para a extrapolação S-21,5, localizada aproximadamente, 8,0 m a montante da seção de réguas.

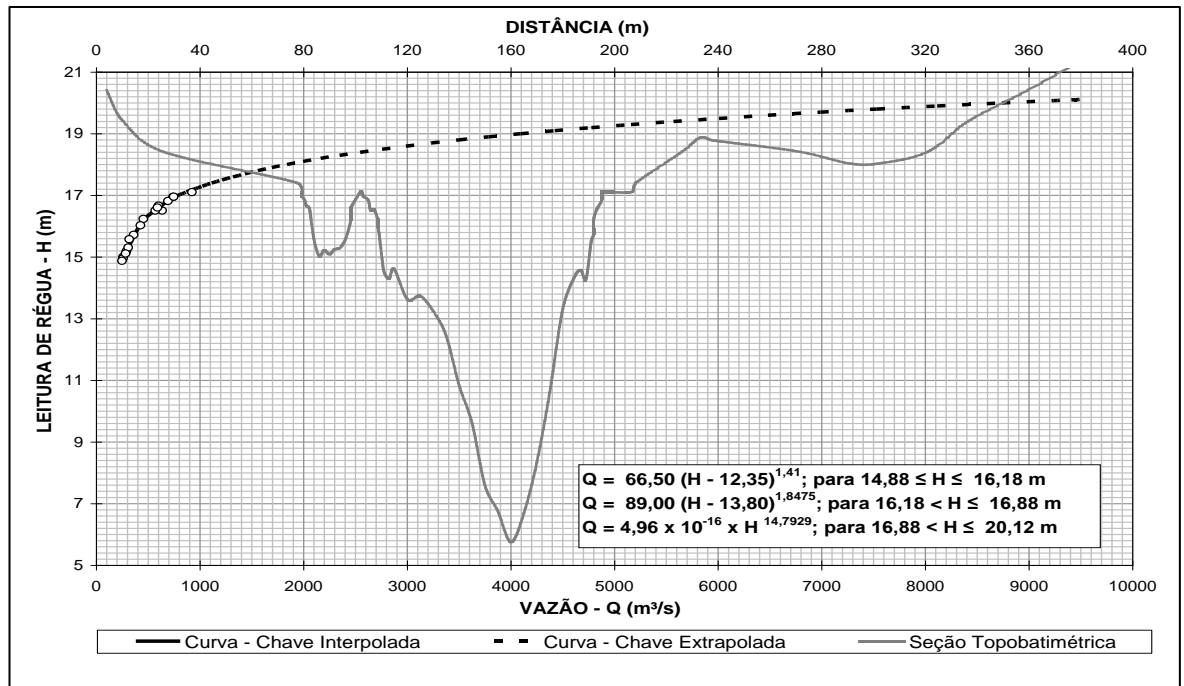


Figura 4.17 - Curva-Chave e Seção Transversal do Rio Paraíba do Sul no Posto Itaocara I Braço Esquerdo.

Nota: Cota do zero da régua equivalente a 46,587 m, obtida a partir da cota de RN do posto, determinada pela empresa LSF Andrade e do nivelamento geométrico constante da sua ficha descritiva.

4.2.4.2 Curva-Chave Braço Direito

Esse posto limnimétrico está situado no canal direito do rio Paraíba do Sul, no sítio da futura Barragem de Terra Margem Direita da UHE Itaocara I.

No traçado da curva-chave desse posto utilizou-se a diferença entre as vazões dos postos Itaocara ANA e Itaocara I Canal Esquerdo e as leituras de régua diárias obtidas no próprio posto Itaocara I Canal Direito.

Ressalta-se que tais vazões foram obtidas das curvas-chave definidas para aqueles postos.

A curva-chave interpolada para esse posto encontra-se na Figura 4.18.

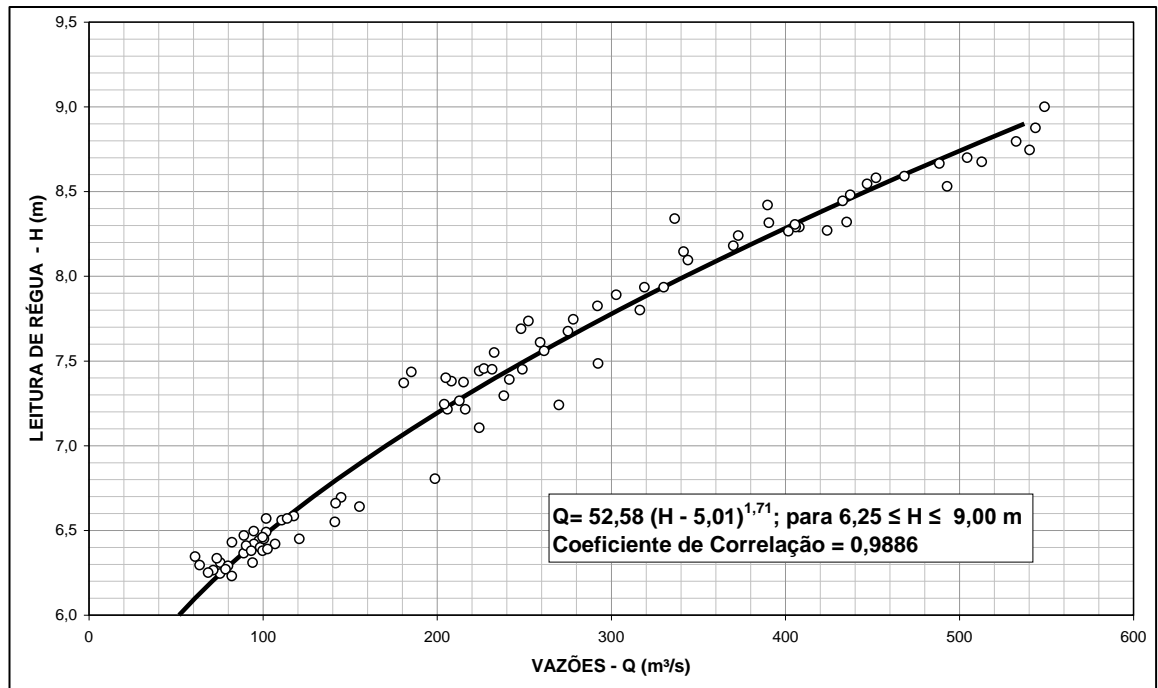


Figura 4.18 - Curva-Chave Interpolada do Posto Itaipava I Braço Direito

Período: 30/01/2009 a 17/06/2009.

Para a extrapolação da curva utilizou-se o método de Stevens. O gráfico Q x AR^{2/3} ajustado, encontra-se na Figura 4.19.

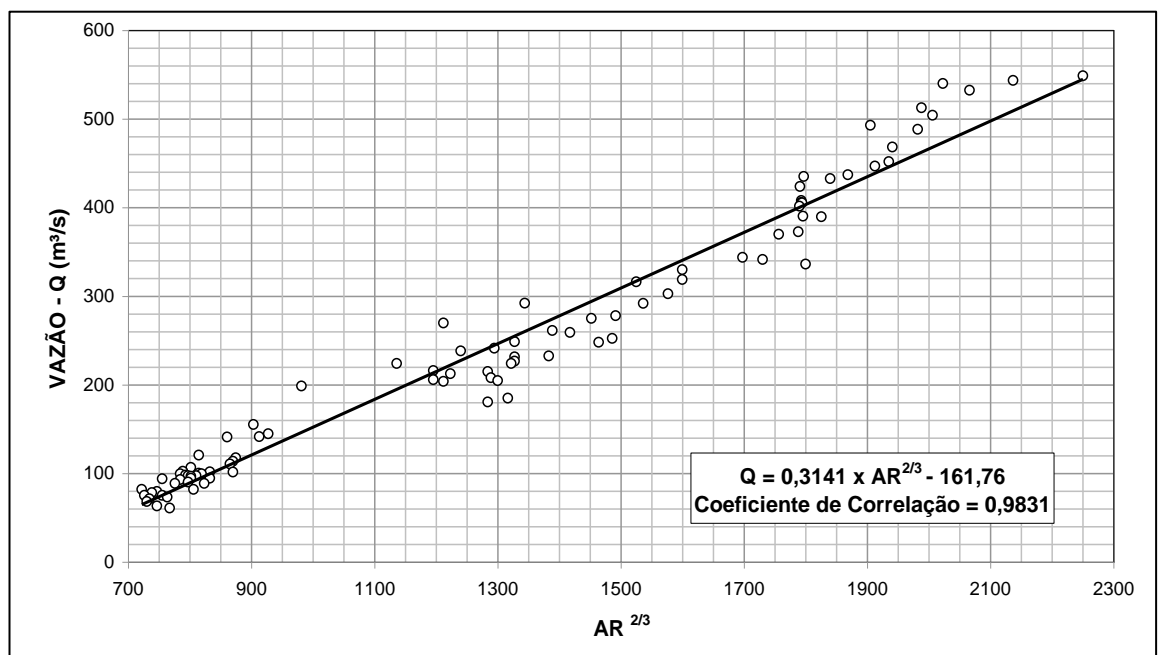


Figura 4.19 - Correlação entre Vazões e AR^{2/3} do Posto Itaipava I Braço Direito.

A seção topobatimétrica utilizada na extrapolação, S-24, foi levantada pela Hidrotécnica no âmbito dos Estudos de Viabilidade da UHE Itaocara e está localizada cerca de 70,0 m à jusante do posto.

A curva-chave extrapolada determinada para esse posto e a configuração da seção topobatimétrica do canal direito encontra-se na Figura 4.20.

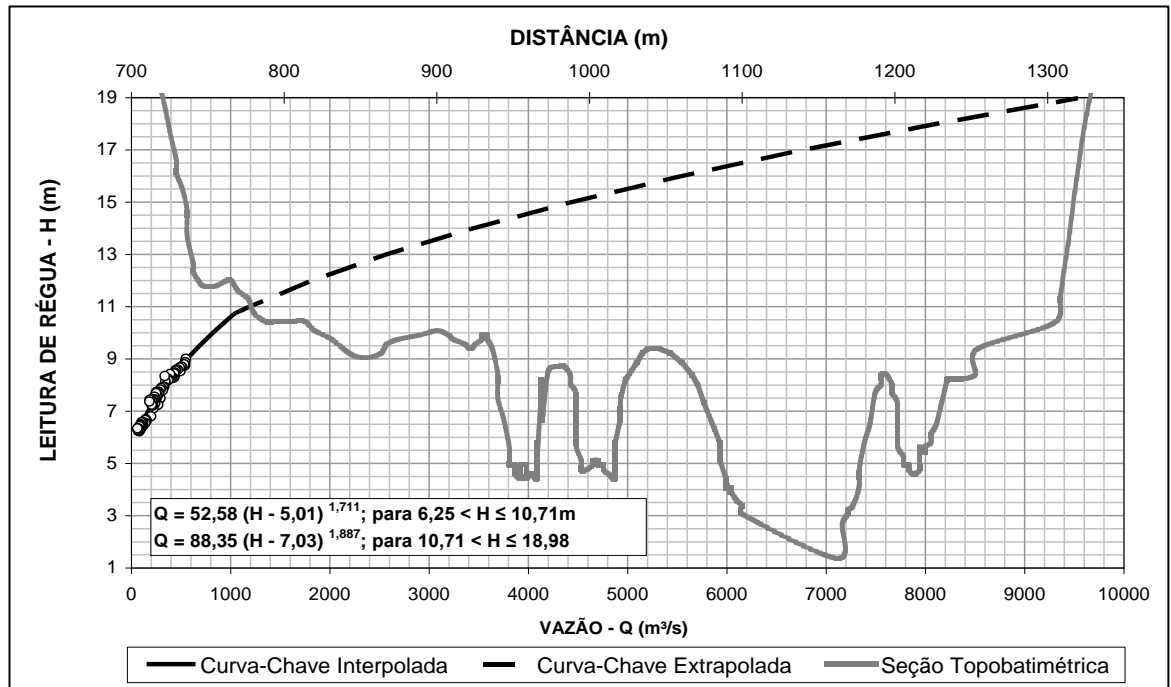


Figura 4.20 - Curva-Chave e Seção Transversal do Rio Paraíba do Sul no Posto Itaocara I Braço Direito.

Nota: Cota do zero da régua, equivalente a 54,629 m, obtida a partir da cota de RN do posto, determinada pela empresa LSF Andrade e do nivelamento geométrico constante da sua ficha descritiva.

4.2.4.3 Curva-Chave Itaocara Jusante

Esse posto, instalado pela Hidrotécnica para os Estudos de Viabilidade da UHE Itaocara e que se encontra desativado, situa-se na margem esquerda do rio Paraíba do Sul cerca de 6,0 km à jusante do eixo da UHE Itaocara I, onde também existe uma ilha, dividindo o rio em dois canais. Neles foram realizadas medições de nível d'água, de vazões líquidas e de descargas sólidas pela Hidrotécnica e pela LIGHT entre 1.998 e 2.001.

Na Tabela 4.30 encontra-se o resumo de medições desse posto e na Figura 4.21, a curva-chave interpolada.

Tabela 4.30 - Resumo de Medições de Vazão do Posto Itaoacara Jusante.

| Nº | Data | Área (m ²) | Largura (m) | Profundidade Média (m) | Velocidade (m/s) | Nível d'Água (m) | Vazão (m ³ /s) |
|----|----------|------------------------|-------------|------------------------|------------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 30/12/98 | 704 | 227 | 3,09 | 0,778 | 2,42 | 547 |
| 2 | 14/1/99 | 707 | 226 | 3,13 | 0,641 | 2,14 | 454 |
| 3 | 18/1/99 | 836 | 230 | 3,63 | 0,843 | 2,67 | 705 |
| 4 | 25/1/99 | 777 | 232 | 3,35 | 0,750 | 2,40 | 583 |
| 5 | 19/2/99 | 723 | 228 | 3,17 | 0,783 | 2,41 | 566 |
| 6 | 27/2/99 | 793 | 232 | 3,42 | 0,961 | 2,80 | 762 |
| 7 | 2/3/99 | 974 | 331 | 2,94 | 1,06 | 3,36 | 1034 |
| 8 | 6/4/99 | 619 | 222 | 2,79 | 0,562 | 1,92 | 348 |
| 9 | 9/4/99 | 622 | 221 | 2,81 | 0,552 | 1,88 | 344 |
| 10 | 5/5/99 | 569 | 219 | 2,60 | 0,453 | 1,69 | 258 |
| 11 | 9/6/99 | 598 | 222 | 2,69 | 0,509 | 1,82 | 304 |
| 12 | 2/8/99 | 559 | 219 | 2,55 | 0,445 | 1,64 | 249 |
| 13 | 10/8/99 | 536 | 215 | 2,48 | 0,390 | 1,62 | 209 |
| 14 | 14/9/99 | 505 | 204 | 2,48 | 0,405 | 1,55 | 205 |
| 15 | 14/10/99 | 493 | 205 | 2,40 | 0,446 | 1,61 | 220 |
| 16 | 30/11/99 | 576 | 203 | 2,83 | 0,542 | 1,82 | 312 |
| 17 | 21/12/99 | 599 | 201 | 2,98 | 0,525 | 1,88 | 314 |
| 18 | 25/1/00 | 702 | 203 | 3,45 | 0,592 | 2,16 | 416 |
| 19 | 14/3/00 | 740 | 206 | 3,60 | 0,779 | 2,46 | 576 |
| 20 | 25/4/00 | 712 | 204 | 3,50 | 0,746 | 2,40 | 531 |
| 21 | 30/5/00 | 566 | 199 | 2,85 | 0,417 | 1,66 | 236 |
| 22 | 4/7/00 | 535 | 198 | 2,70 | 0,408 | 1,60 | 218 |
| 23 | 10/8/00 | 545 | 201 | 2,71 | 0,458 | 1,65 | 250 |
| 24 | 12/9/00 | 535 | 199 | 2,69 | 0,397 | 1,59 | 213 |
| 25 | 3/10/00 | 526 | 199 | 2,64 | 0,441 | 1,61 | 232 |
| 26 | 8/11/00 | 545 | 202 | 2,69 | 0,431 | 1,61 | 235 |
| 27 | 12/12/00 | 592 | 200 | 2,95 | 0,521 | 1,88 | 308 |
| 28 | 6/2/01 | 688 | 209 | 3,30 | 0,723 | 2,34 | 498 |
| 29 | 27/3/01 | 568 | 199 | 2,85 | 0,449 | 1,65 | 255 |
| 30 | 17/4/01 | 573 | 198 | 2,90 | 0,571 | 1,84 | 327 |

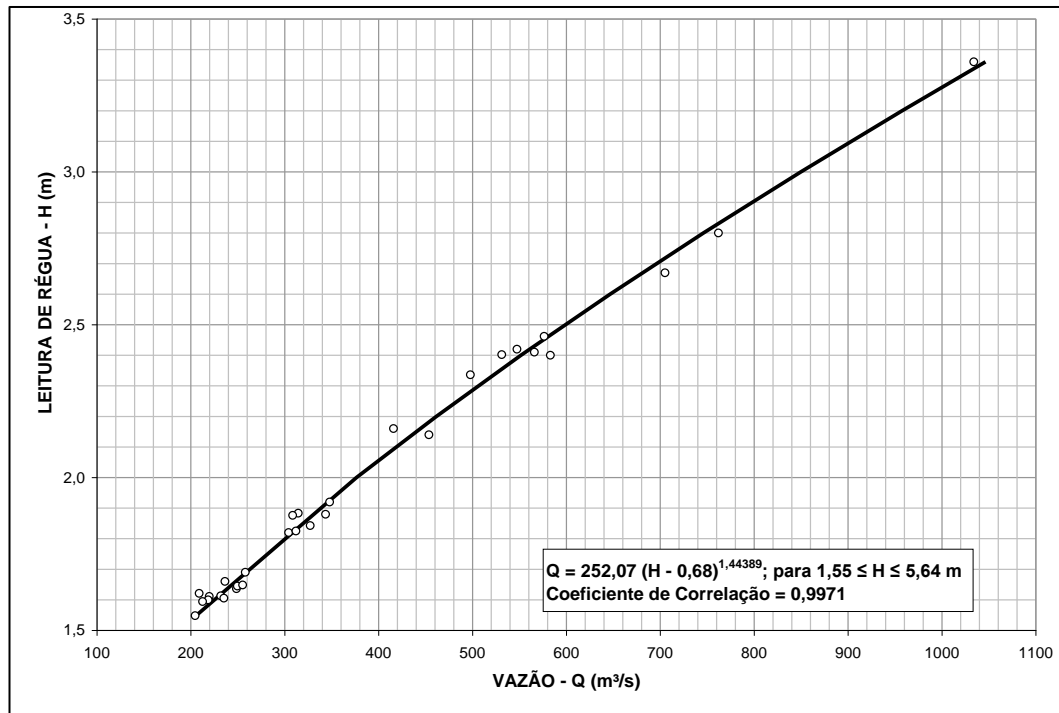


Figura 4.21 - Curva-Chave Interpolada do Posto Itacara Jusante.

Período: 30/12/1998 a 17/04/2001.

Para a extrapolação da curva interpolada utilizou-se o método de Stevens. O gráfico $Q \times AR^{2/3}$, encontra-se na Figura 4.22.

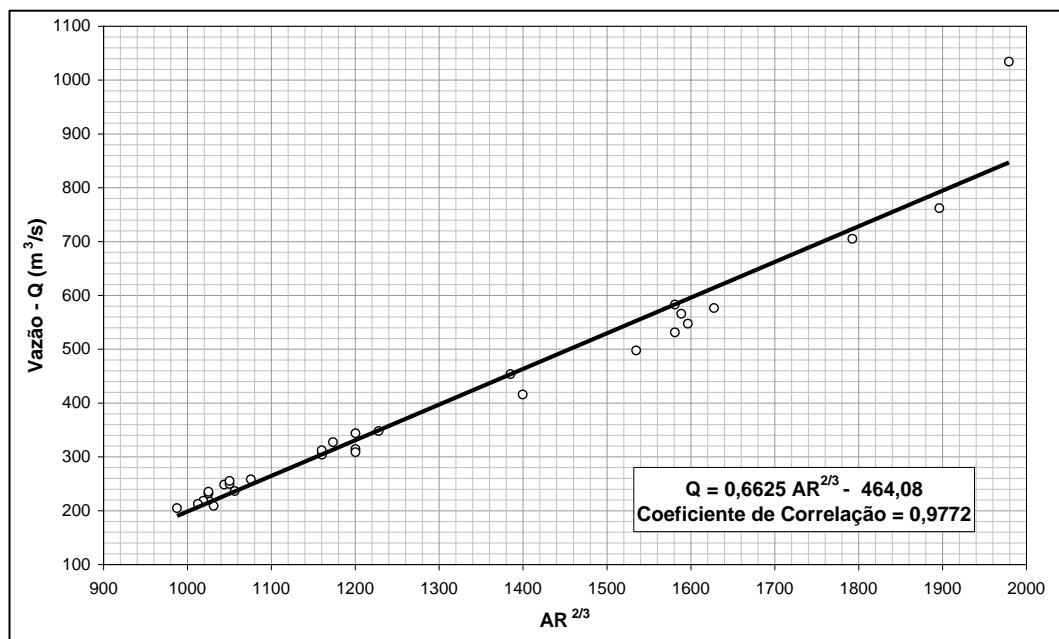


Figura 4.22 - Correlação entre Vazões e $AR^{2/3}$ do Posto Itacara Jusante.

A seção topográfica no local do posto, utilizada para a extrapolação da curva-chave, foi obtida, parcialmente, do aerolevanteamento. Assumiu-se que o trecho submerso é representado pela batimetria realizada em 02/03/1.999, durante a medição de vazão a qual corresponde o maior nível d'água.

A curva-chave extrapolada determinada para esse posto e a seção topobatimétrica acima descrita encontra-se na Figura 4.23.

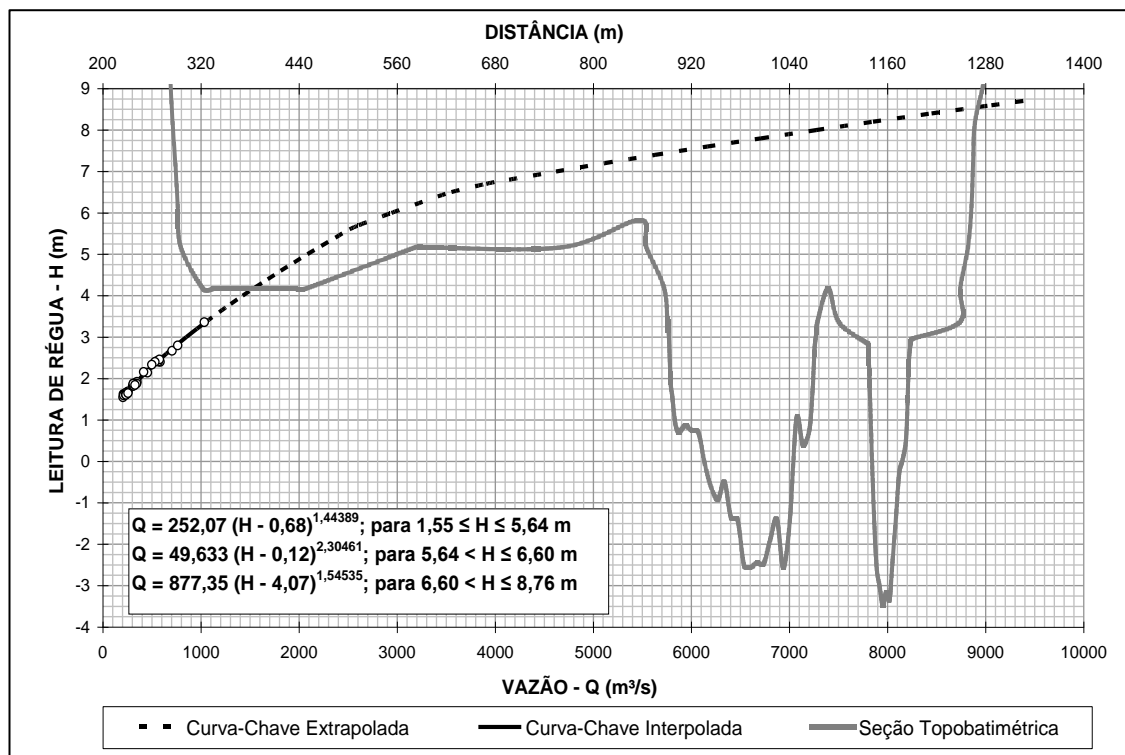


Figura 4.23 - Curva-Chave e Seção Transversal do Rio Paraíba do Sul no Posto Itaocara Jusante.

Nota: Cota do zero da régua, equivalente a 57,833 m, obtida a partir da cota de RN do posto, determinada pela empresa LSF Andrade e do nivelamento geométrico constante da sua ficha descritiva.

4.2.4.4 Curva-Chave Canal de Fuga

A curva chave para o local do canal de fuga da casa de força, utilizada como referência nos estudos energéticos que subsidiaram o Edital do Leilão, foi apresentada no Estudo do Projeto Básico (SPEC 2014).

Esta curva-chave foi obtida através de modelagem matemática, que objetivou reproduzir os níveis naturais no braço esquerdo do rio Paraíba do Sul, utilizando como referência a curva chave ajustada para estação Itaocara Jusante (Roda d'Água), instalada a jusante da Ilha Serena, quando ocorre a unificação dos fluxos dos braços esquerdo e direito.

A Figura 4.24 apresenta a curva chave definida no local do canal de fuga da casa de força, utilizada nos estudos energéticos.

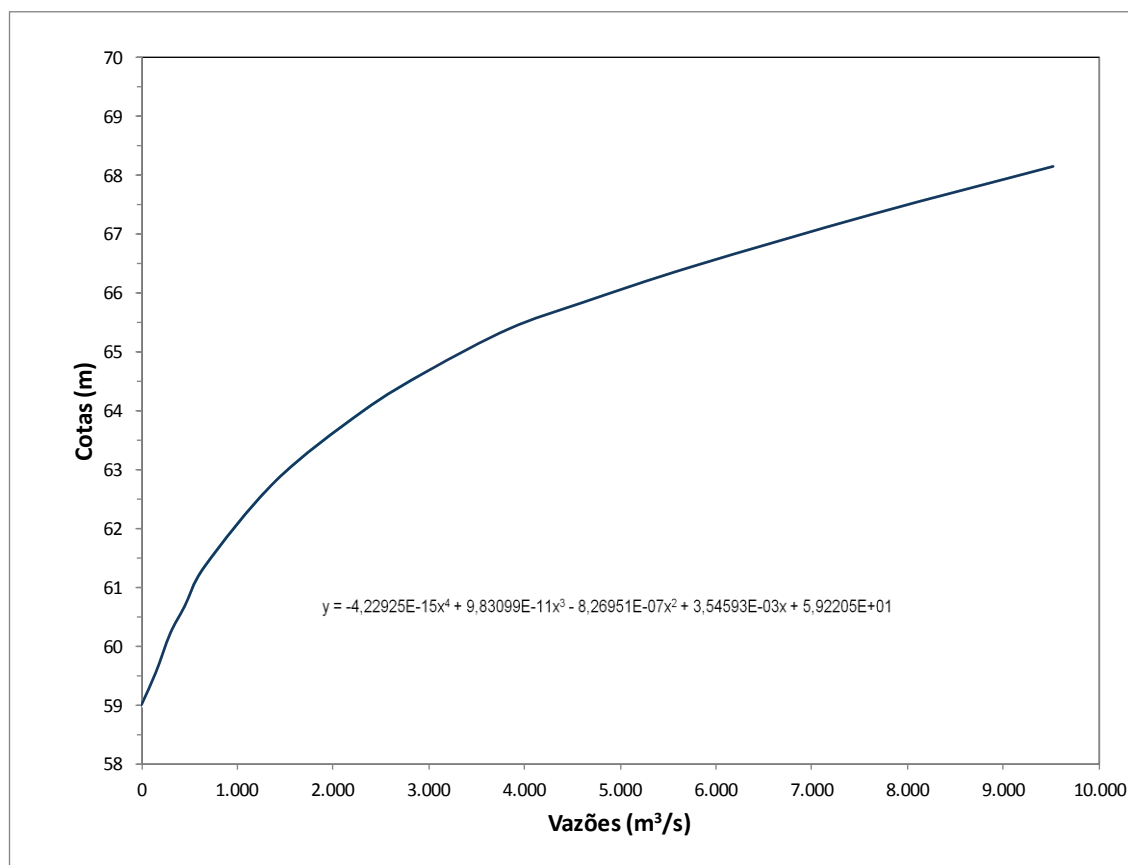


Figura 4.24 – Curva-Chave no Canal de Fuga da UHE Itaipava I.

Os coeficientes do polinômio de quarto grau definido são reproduzidos na Tabela 4.31

Tabela 4.31 – Equação da Curva-Chave no Canal de Fuga da UHE Itaipava I.

| Independente | 1º Grau | 2º Grau | 3º Grau | 4º Grau |
|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| 5,9220500E+01 | 3,5459300E-03 | -8,2695100E-07 | 9,8309900E-11 | -4,2292500E-15 |

Esta curva chave definida no Projeto Básico (SPEC 2014) e utilizada pela EPE em sua avaliação energética, será adotada na continuidade dos estudos.

De acordo com o ajuste supracitado, o nível normal de água a jusante da Casa de Força considerado nos estudos energéticos, para a vazão máxima turbinada de 626 m³/s está definido na El 61,14m.

4.2.5 Estudos do Reservatório

4.2.5.1 Estudo de Remanso

Diferentemente dos estudos de remanso usualmente desenvolvidos na fase de Projeto Básico, nos quais se realizam simulações de escoamento em um reservatório com nível d'água conhecido, a UHE Itaipava I foi contemplado com análises específicas de diferentes cenários, em consequência das seguintes peculiaridades:

- Existência do povoado de São Sebastião do Paraíba no extremo de montante do reservatório da UHE Itaipava I;
- Necessidade de se considerar a formação de depósitos de sedimentos no reservatório, na medida em que esse fenômeno tem influência no remanso.

Em face do acima exposto, fez-se mister uma otimização do “Nível d'Água Máximo Normal” estabelecido no “Relatório de Validação de Alternativa Para Viabilização Ambiental” (PCE Engenharia, Maio/2.009), partindo-se da premissa de que com a implantação do reservatório da UHE Itaipava I não deve provocar o recrudescimento das inundações que assolam periodicamente o povoado de São Sebastião do Paraíba, mesmo após 30 (trinta) anos de assoreamento. Nesse estudo foi utilizado o Modelo HEC-RAS, devidamente calibrado com base em resultados de levantamentos de campo. Uma vez definido o nível d'água máximo normal do reservatório em questão, outras simulações de remanso foram efetuadas, incluindo o “braço”/remanso do reservatório a ser formado no vale do rio Pirapetinga, principal afluente local do rio Paraíba do Sul, conforme detalha-se em seguida.

Dados Básicos

Foram utilizados os seguintes dados:

- Curvas-chave naturais apresentadas no item 4.2.4;
- Seções topobatimétricas transversais ao rio Paraíba do Sul, resultantes de levantamentos de campo (12 seções em 2.009 e 14 seções em 1.995) e de análises de escritório fundamentadas em aerolevanteamento realizada em 2.009 na escala 1:5.000 (06 seções). A Figura 4.25 ilustra, como exemplo, a seção S-14.5, obtida em escritório, utilizada para caracterizar o controle fluvial identificado nesse trecho do rio. A apresenta a localização dessas seções, enquanto a Tabela 4.32 apresenta as distâncias entre elas.
- Seções topobatimétricas transversais ao rio Pirapetinga, resultantes de levantamentos de campo realizados em 2.009 (05 seções) e baseadas na restituição supracitada (07 seções).
- A Tabela 4.33 relaciona essas seções e as distâncias entre elas (ver Figura 4.26 também).

Quando necessário, as seções transversais levantadas em campo foram complementadas a partir do aerolevanteamento supracitado.



Figura 4.1 - Seção Topobatimétrica S-14.5.

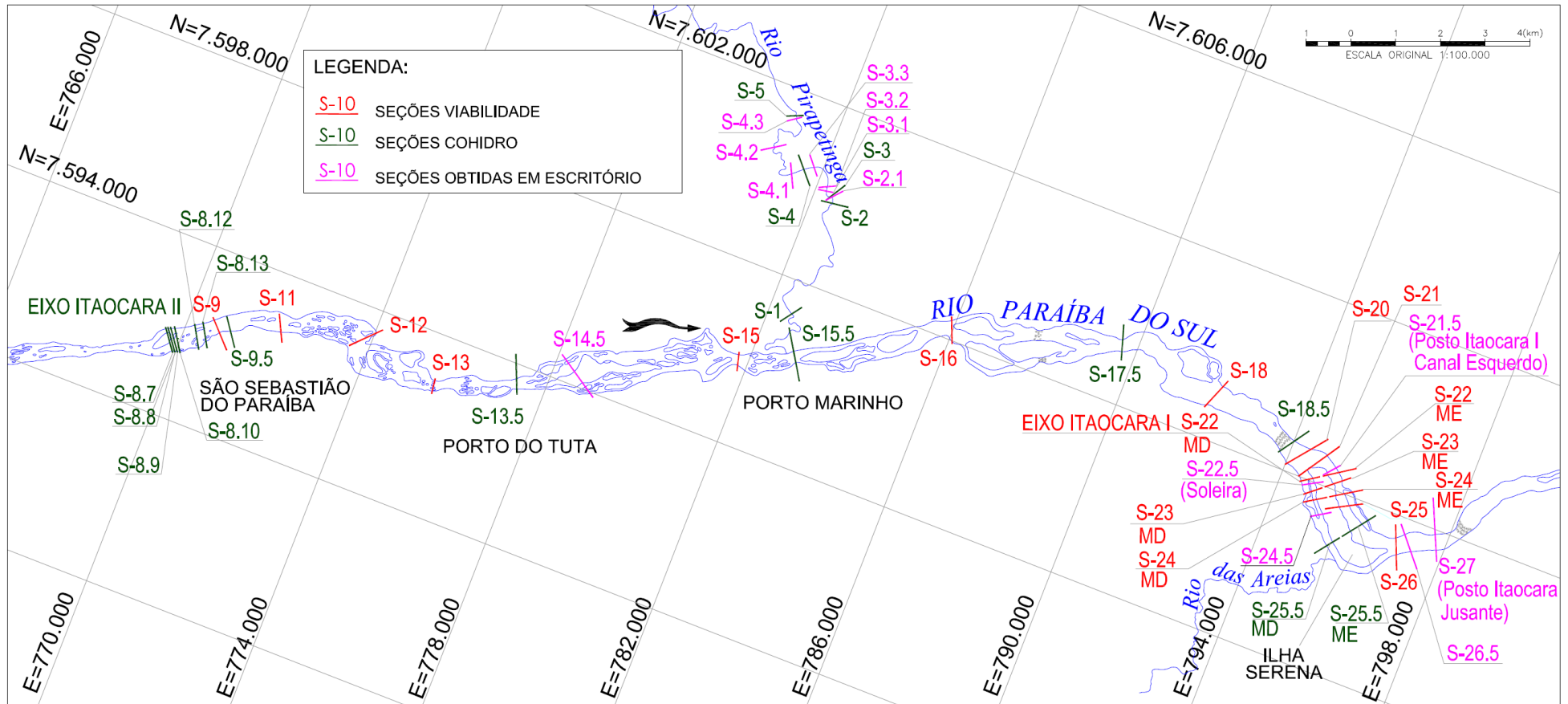


Figura 4.26 - Localização das Seções Topobatimétricas.

Tabela 4.32 - Distâncias das Seções Topobatimétricas do Rio Paraíba do Sul.

| Trecho | Seção | Local | Distâncias entre as seções (m) | | | |
|----------|----------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|--------|-------|-------|
| | | | ME | Centro | MD | |
| Superior | S-8.7 | | 50 | 50 | 68 | |
| | S-8.8 | | 59 | 56 | 59 | |
| | S-8,9 | Eixo Itaocara II | 89 | 76 | 69 | |
| | S-8.10 | | 458 | 444 | 491 | |
| | S-8.12 | | 203 | 203 | 212 | |
| | S-8.13 | Montante São Sebastião do Paraíba | 247 | 332 | 440 | |
| Médio | S-09 | São Sebastião do Paraíba | 309 | 277 | 281 | |
| | S-9.5 | Posto São Sebastião do Paraíba | 1.293 | 1.162 | 1.278 | |
| | S-11 | | 2.473 | 2.083 | 1.867 | |
| | S-12 | | 2.475 | 1.962 | 2.552 | |
| | S-13 | | 857 | 835 | 994 | |
| | S-13.5 | Porto do Tuta | 1.400 | 1.324 | 1.731 | |
| | S-14.5 | | 4.524 | 3.747 | 4.024 | |
| | S-15 | | 1.342 | 1.294 | 1.539 | |
| | S-15.5 | Porto Marinho | 3.857 | 3.635 | 4.055 | |
| | S-16 | | 4.551 | 3.930 | 4.808 | |
| | S-17.5 | Porto das Cruzes | 3.441 | 2.529 | 3.036 | |
| | S-18 | | 2.305 | 2.025 | 2.208 | |
| | S-18.5 | | 396 | 346 | 348 | |
| | S-20 | | 479 | 368 | 401 | |
| S-21 | Montante da Ilha Serena | 113 | 113 | 113 | | |
| Inferior | Canal Direito Ilha Serena | S-22MD | Eixo Itaocara I | 149 | 107 | 106 |
| | | S-22.5 MD | Barragem Abandonada | 136 | 168 | 221 |
| | | S-23 MD | | 227 | 202 | 192 |
| | | S-24 MD | | 402 | 357 | 450 |
| | | S-24.5 MD | | 754 | 684 | 780 |
| | | S-25.5 MD | | 1.966 | 1.945 | 2.156 |
| | Canal Esquerdo Ilha Serena | S-21.5 ME | Posto Itaocara I Canal Esquerdo | 143 | 106 | 88 |
| | | S-22 ME | Eixo Itaocara I | 224 | 211 | 248 |
| | | S-23 ME | | 320 | 286 | 318 |
| | | S-24 ME | | 309 | 382 | 455 |
| | | S-25 ME | | 499 | 497 | 554 |
| | | S-25.5 ME | | 1.062 | 1057 | 1.340 |
| | Jusante Ilha Serena | S-26 | Jusante Ilha Serena | 268 | 290 | 376 |
| | | S-26.5 | | 688 | 613 | 579 |
| | | S-27 | Posto Itaocara Jusante | 0 | 0 | 0 |

Tabela 4.33 - Distâncias das Seções Topobatimétricas do Rio Pirapetinga.

| Seções | Distâncias entre as seções (m) | | |
|-------------|--------------------------------|--------|-------|
| | ME | Centro | MD |
| S-5 | 55 | 61 | 74 |
| S-4.3 | 1.344 | 1.333 | 1.389 |
| S-4.2 | 1.378 | 1.230 | 1.339 |
| S-4.1 | 300 | 310 | 341 |
| S-4 | 244 | 241 | 252 |
| S-3.3 | 676 | 665 | 648 |
| S-3.2 | 134 | 118 | 126 |
| S-3.1 | 145 | 152 | 169 |
| S-3 | 18 | 16 | 15 |
| S-2.1 | 278 | 163 | 132 |
| S-2 | 3.804 | 3.780 | 3.839 |
| S-1 | 2.170 | 2.102 | 2.432 |
| Confluência | 0 | 0 | 0 |

Níveis d'água (NAs) referentes a três (03) perfis de superfície líquida do rio Paraíba do Sul e três (03) perfis do rio Pirapetinga, relacionados nas Tabela 4.34 e Tabela 4.35, respectivamente.

Tabela 4.34 - Níveis D'Água do Rio Paraíba do Sul (m).

| Seção | Local | Data | | |
|---------|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | | 30/01/2.009 | 14/02/2.009 | 06/03/2.009 |
| S-9,5 | São Sebastião do Paraíba | 92,00 | 92,99 | 91,11 |
| S-13,5 | Porto do Tuta | 85,69 | 86,57 | 84,92 |
| S-15,5 | Porto Marinho | 77,82 | 78,85 | 76,74 |
| S-17,5 | Porto das Cruzes | 70,54 | 71,43 | 69,62 |
| S-18,5 | Montante da Ilha Serena | 64,46 | 65,44 | 63,65 |
| S-22 MD | Eixo Itaocara I | 63,96 | 64,94 | 63,39 |
| S-23 MD | Jusante Barragem Abandonada | 63,47 | 64,70 | 62,09 |
| S-24 MD | Posto Itaocara I Canal Direito | 63,43 | 64,64 | 62,02 |
| S-21.5 | Seção de Medição ME | 63,64 | 64,57 | 62,83 |
| S-27 | Seção de Medição | 61,68 | 63,24 | 60,57 |

Tabela 4.35 - Níveis D'Água do Rio Pirapetinga (m).

| Seção | Data | | |
|-------|-------------|-------------|-------------|
| | 14/02/2.009 | 06/03/2.009 | 19/08/2.009 |
| S-1 | 79,11 | 79,11 | 78,89 |
| S-2 | 84,43 | 84,32 | 84,19 |

| Seção | Data | | |
|-------|-------------|-------------|-------------|
| | 14/02/2.009 | 06/03/2.009 | 19/08/2.009 |
| S-3 | 85,72 | 85,61 | 85,54 |
| S-4 | - | 87,67 | 87,56 |
| S-5 | 111,80 | 111,74 | 111,66 |

- Vazões do rio Paraíba do Sul correspondentes aos perfis de superfície líquida, determinadas utilizando-se a curva-chave do posto Itaocara Jusante e os níveis d'água nele observados nos mesmos dias do levantamento dos perfis. Na Tabela 4.36 são relacionadas essas vazões.

Tabela 4.36 - Vazões do Rio Paraíba do Sul.

| Data | Vazão (m ³ /s) |
|-------------|---------------------------|
| 30/01/2.009 | 1.332 |
| 14/02/2.009 | 2.374 |
| 06/03/2.009 | 714 |

- Vazões do rio Pirapetinga transferidas do posto Fazenda da Barra (A= 531 km²) para a foz do rio Pirapetinga (A= 633 km²) pela relação entre as áreas de drenagem. As vazões desse posto foram calculadas de forma análoga à descrita acima. A Tabela 4.37 relaciona as vazões assim obtidas.

Tabela 4.37 - Vazões do Rio Pirapetinga Correspondentes aos Perfis de Linha D'Água.

| Data | Vazão (m ³ /s) |
|-------------|---------------------------|
| 14/02/2.009 | 12,8 |
| 06/03/2.009 | 8,91 |
| 19/08/2.009 | 5,29 |

Método do Modelo HEC-RAS

Nos estudos em questão utilizou-se o programa "HEC-RAS" versão 4.0, desenvolvido pelo US Army Corps of Engineers (1.997), que permite calcular perfis de linhas d'água e respectivas linhas de energia numa abordagem permanente, unidimensional e gradualmente variada. O procedimento de cálculo baseia-se na aplicação das equações de conservação de massa e de energia entre as seções de cálculo.

A técnica de aferição do modelo consiste em tornar compatíveis os valores dos níveis d'água obtidos por simulação com os relativos aos perfis instantâneos

observados ao longo do trecho de rio em estudo, considerando-se as respectivas descargas.

Os cálculos são iniciados em uma seção de controle do rio, com propagação para montante, se o regime de escoamento for subcrítico, ou em sentido oposto se for supercrítico. O nível d'água para a primeira seção de cálculo deve corresponder a uma elevação conhecida ou ao nível d'água referente à profundidade crítica para uma certa descarga.

Para determinação das perdas de carga por atrito entre as seções de cálculo é utilizada a fórmula de Manning, na qual o coeficiente de rugosidade é função de diversos fatores, tais como vegetação, material do leito, configuração e nível d'água no canal. Normalmente três valores para o coeficiente de rugosidade são suficientes para a caracterização de uma seção; são eles os referentes à calha principal do rio e às duas margens.

As perdas de carga devido à variação da área de escoamento, por expansão ou contração, são calculadas através da aplicação de coeficientes de perda de carga, que devem ser informados ao modelo para cada seção. Esses coeficientes multiplicam a diferença absoluta das cargas cinéticas entre as seções transversais para obtenção da perda de energia causada pela transição.

Calibração do Modelo HEC-RAS

A etapa de calibração do modelo consiste no estabelecimento de coeficientes de rugosidade em cada seção e de coeficientes de perdas de carga localizadas, devidas às transições em cada trecho, de forma a obter níveis d'água simulados aproximadamente iguais aos observados. Essa etapa tem fundamental importância para assegurar um prognóstico realista das condições hidráulicas de escoamento para outras vazões, em condições naturais sem Barramento e com reservatório formado devido à implantação do Barramento.

Foi considerado no processo o estirão fluvial compreendido pelo posto Itaipava Jusante e pelo sítio da UHE Itaipava II, onde foi instalado o posto Itaipava II Canal Esquerdo. Para sistematizar a análise em questão e considerando os principais objetivos do estudo que inclui a obtenção de curvas-chaves em condições de operação do empreendimento para três seções estratégicas, esse estirão foi dividido em três, conforme explicado a seguir.

a) Trecho Inferior (Posto Itaipava Jusante – Ilha Serena)

O estudo desse trecho permitiu caracterizar o efeito da implantação da UHE Itaipava I na curva-chave do posto Itaipava I Canal Esquerdo, futuro local do canal de fuga da UHE Itaipava I. A Figura 4.27 permite vislumbrar a complexidade do escoamento local, o qual, além de se repartir em vários canais, sofre a influência de controles naturais e de uma estrutura hidráulica abandonada no canal direito a montante do posto supracitado.



Figura 4.27 - Foto Aérea do Sítio do Aproveitamento.

Durante a etapa de calibração, a partição de vazões entre as margens esquerda e direita da Ilha Serena foi realizada utilizando-se a correlação apresentada na Figura 4.28.

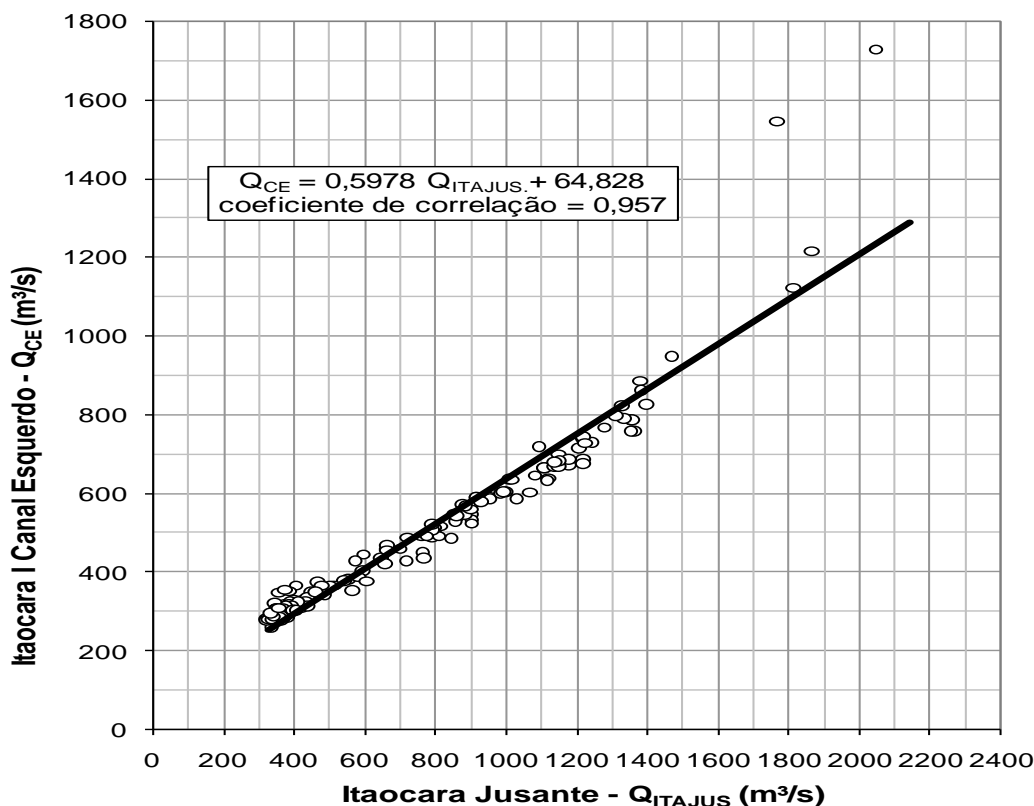


Figura 4.28 - Correlação de Vazões Médias Diárias entre Itaocara Jusante e Itaocara I Canal Esquerdo.

Para esse trecho utilizou-se como condição de contorno a curva-chave do posto Itaocara Jusante.

Os coeficientes de Manning resultantes da calibração desse trecho que contempla os dois principais canais formados pela Ilha Serena, estão apresentados na Tabela 4.38.

Tabela 4.38 - Coeficientes de Manning do Rio Paraíba do Sul no Trecho Inferior.

i. Canal Direito da Ilha Serena

| Seções | Local | Faixa de Vazões (m³/s) | | | |
|-----------|---------------------|------------------------|-------|-------|-------|
| | | ≤ 100 | 225 | 480 | ≥ 890 |
| S-22MD | Eixo Itaocara I | 0,085 | 0,085 | 0,085 | 0,065 |
| S-22,5 MD | Barragem Abandonada | 0,085 | 0,085 | 0,085 | 0,065 |
| S-23 MD | | 0,013 | 0,065 | 0,085 | 0,045 |
| S-24 MD | | 0,013 | 0,055 | 0,085 | 0,025 |
| S-24,5 MD | | 0,013 | * | 0,065 | 0,055 |
| S-25,5 MD | | 0,013 | * | 0,085 | 0,085 |

Notas:

1 - *Valores interpolados.

2 - Valores interpolados para vazões intermediárias.

ii. Canal Esquerdo da Ilha Serena

| Seções | Local | Faixa de Vazões (m³/s) | |
|-----------|---------------------------------|------------------------|--------|
| | | ≤ 860 | ≥ 1485 |
| S-21.5 ME | Posto Itaocara I Canal Esquerdo | 0,085 | 0,035 |
| S-22 ME | Eixo Itaocara I | 0,085 | 0,035 |
| S-23 ME | | 0,055 | 0,035 |
| S-24 ME | | 0,035 | 0,035 |
| S-25 ME | | 0,035 | 0,035 |
| S-25,5 ME | | 0,035 | 0,035 |

Nota: Valores interpolados para vazões intermediárias

iii. Jusante Ilha Serena

| Seções | Local | Faixa de Vazões (m³/s) |
|--------|------------------------|------------------------|
| | | Todas as vazões |
| S-26 | Jusante Ilha Serena | 0,035 |
| S-26.5 | | 0,035 |
| S-27 | Posto Itaocara Jusante | 0,035 |

A comparação entre os perfis de linha d'água simulados e os níveis d'água medidos no campo é mostrada na Tabela 4.39 e nas figuras a seguir.

Tabela 4.39 - Níveis d'Água Observados e Simulados - Calibração do Modelo (m).

| Trecho | Seção | Data | | | | | | | | |
|-------------------------------|-----------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------------|-------|------|
| | | 30/01/2.009 | | | 14/02/2.009 | | | 06/03/2.009 | | |
| | | Obs. | Sim. | Dif. | Obs. | Sim. | Dif. | Obs. | Sim. | Dif. |
| Canal Direito da Ilha Serena | S-22 MD | 63,96 | 63,81 | 0,15 | 64,94 | 64,88 | 0,06 | 63,39 | 63,18 | 0,21 |
| | S-23 MD | 63,47 | 63,46 | 0,01 | 64,70 | 64,72 | -0,02 | 62,09 | 62,02 | 0,07 |
| | S-24 MD | 63,43 | 63,38 | 0,05 | 64,64 | 64,69 | -0,05 | 62,02 | 62,00 | 0,02 |
| Canal Esquerdo da Ilha Serena | S-21.5 ME | 63,64 | 63,75 | -0,11 | 64,57 | 64,59 | -0,02 | 62,83 | 62,61 | 0,22 |

Notas:

1. Obs = Observado; Sim = Simulado; e Dif = Diferença;
2. As diferenças obtidas para a seção S-22 MD, relativas às menores vazões, são consequência da existência de barragem abandonada à jusante;
3. As diferenças relativas a seção S-21,5 ME, para as menores vazões, se devem a existência de corredeira à jusante.

Como é demonstrado no próximo subitem (b), as diferenças entre NA observados e simulados não tem repercussão na calibração do trecho a montante (trecho médio).

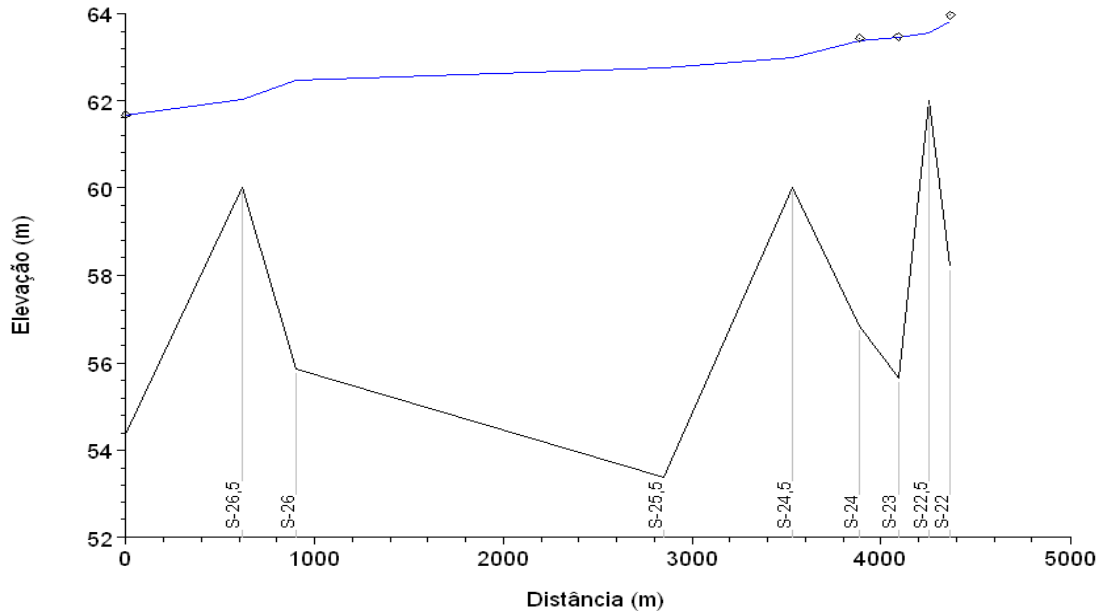


Figura 4.29 - Perfis de Linha D'Água Observado em 30/01/2009 e Simulado.

- Vazões Observadas
- Vazões Simuladas
- Fundo

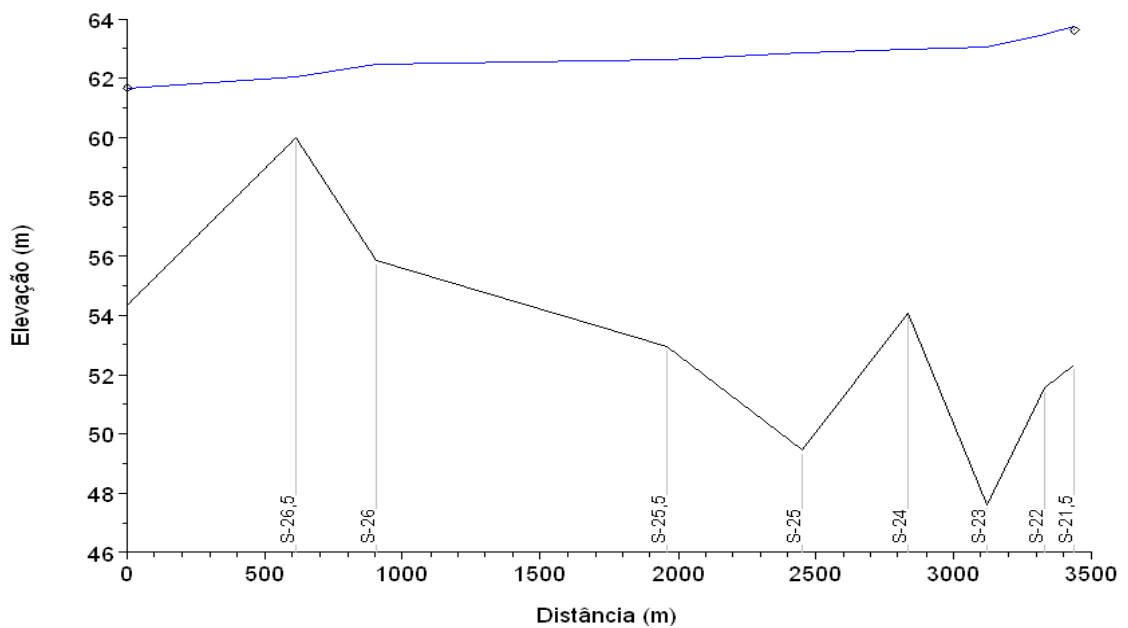


Figura 4.30 - Perfis de Linha d'Água Observado em 30/01/2009 e Simulado Canal Esquerdo da Ilha Serena.

UHE ITAOCARA I

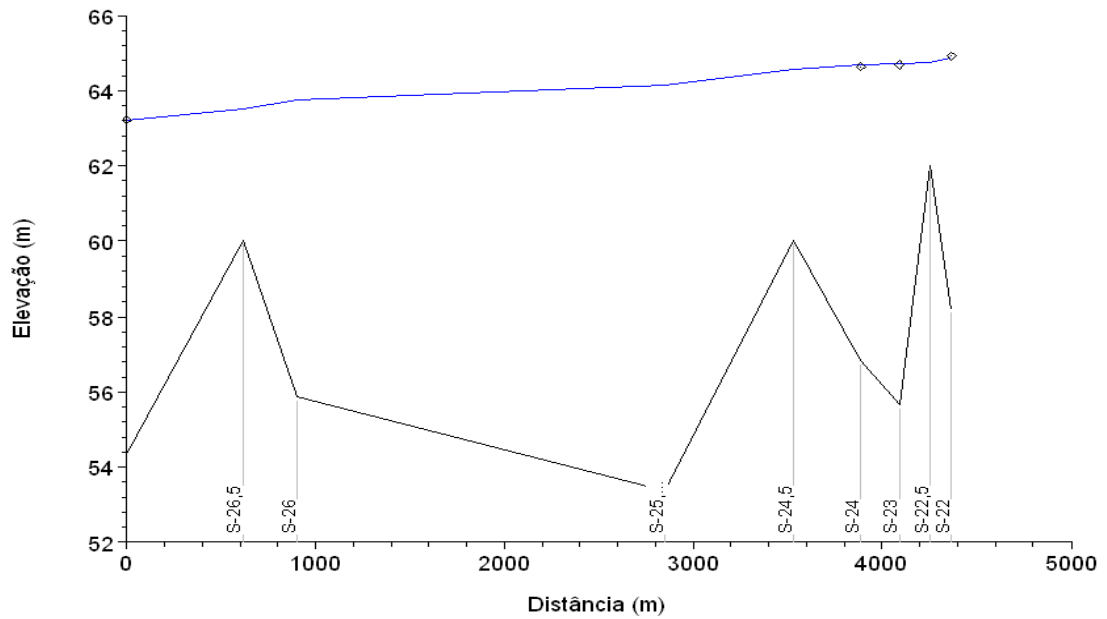


Figura 4.31 - Perfis de Linha d'Água Observado em 14/02/2009 e Simulado Canal Direito da Ilha Serena.

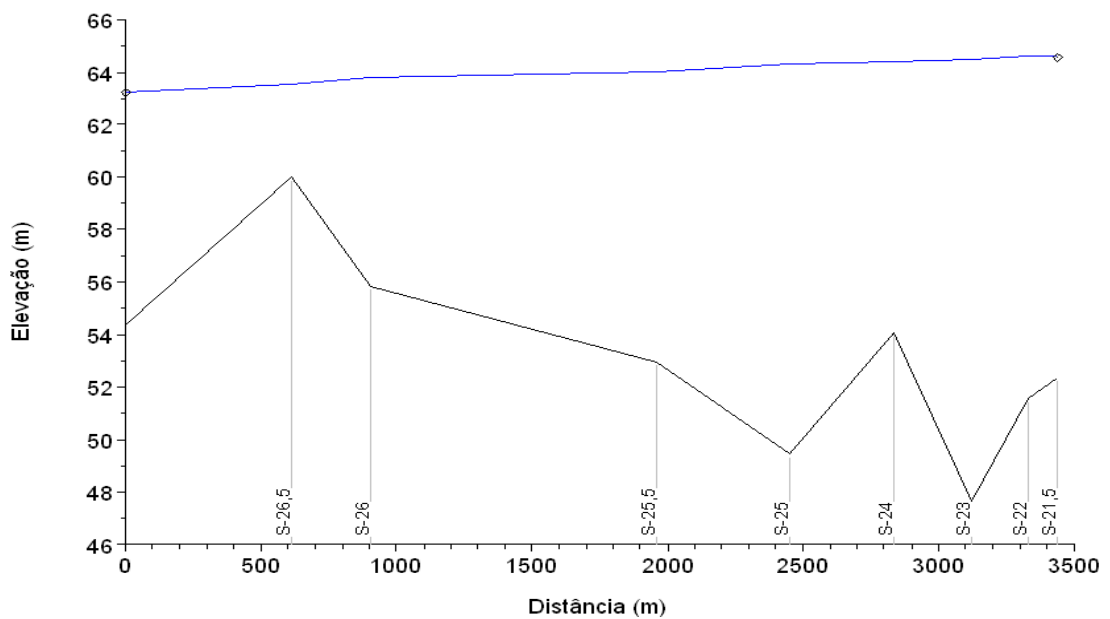


Figura 4.32 - Perfis de Linha d'Água Observado em 14/02/2009 e Simulado Canal Esquerdo da Ilha Serena.

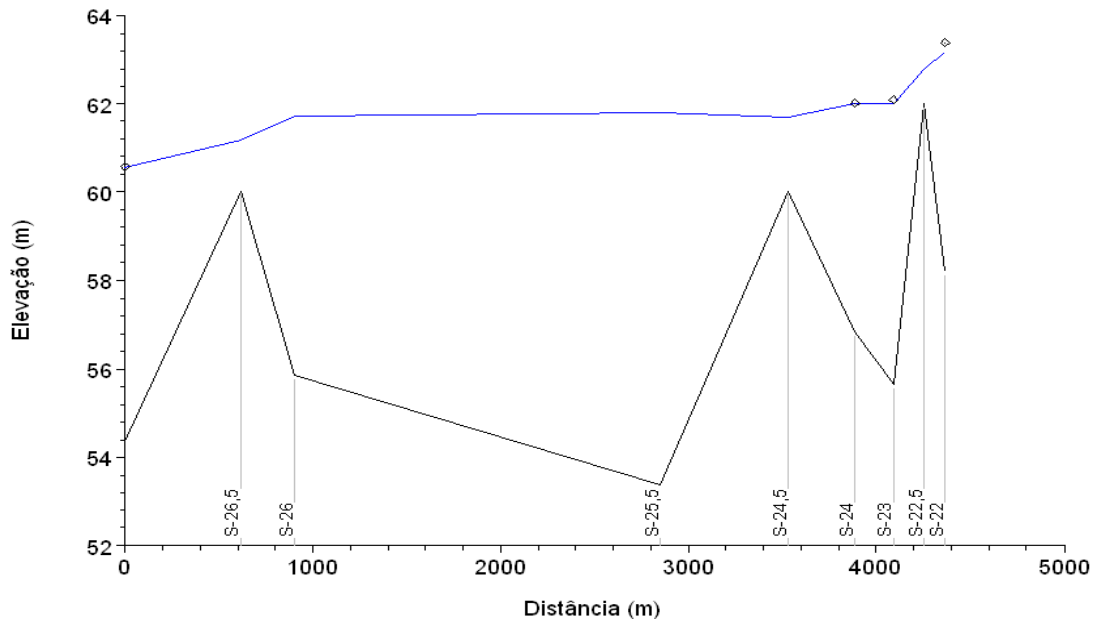


Figura 4.33 - Perfis de Linha d'Água Observado em 06/03/2009 e Simulado Canal Direito da Ilha Serena.

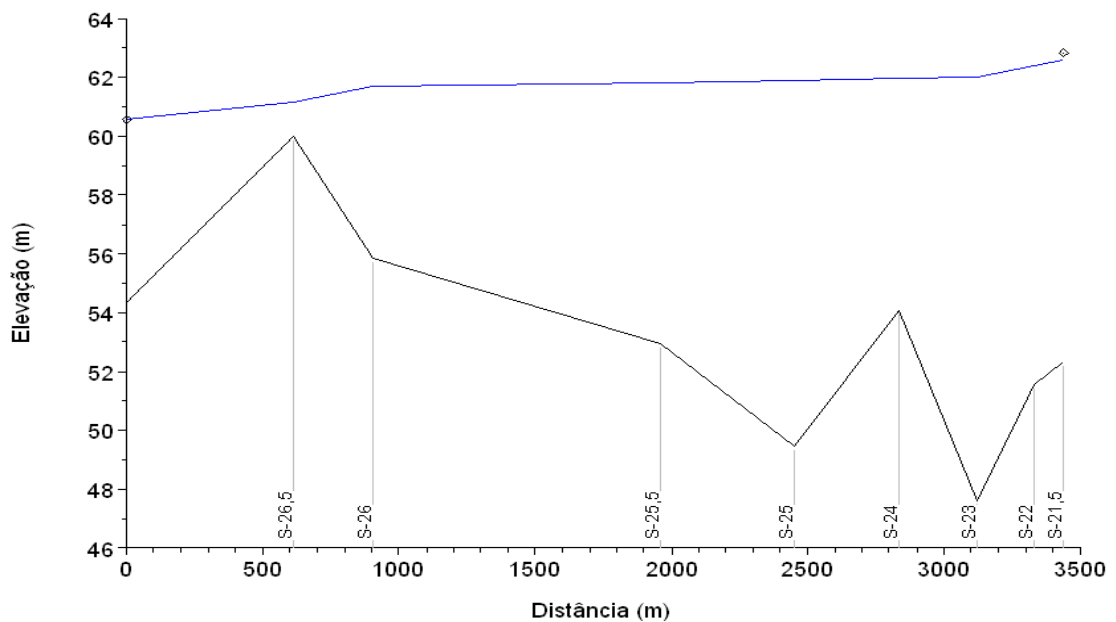


Figura 4.34 - Perfis de Linha d'Água Observado em 06/03/2009 e Simulado Canal Esquerdo da Ilha Serena.

b) Trecho Médio (Ilha Serena – Posto São Sebastião do Paraíba)

Para esse trecho, manteve-se como condição de contorno o posto Itaocara Jusante, obtendo-se os coeficientes de Manning relacionados na Tabela 4.40.

Tabela 4.40 - Coeficientes de Manning do Rio Paraíba do Sul no Trecho Médio.

| Seções | Local | Faixa de Vazões (m³/s) | | |
|--------|--------------------------------|------------------------|-------|--------|
| | | ≤ 715 | 1330 | ≥ 2380 |
| S-9,5 | Posto São Sebastião do Paraíba | 0,028 | 0,032 | 0,028 |
| S-11 | | 0,035 | 0,035 | 0,035 |
| S-12 | | 0,035 | 0,035 | 0,035 |
| S-13 | | 0,035 | 0,035 | 0,035 |
| S-13,5 | Porto do Tuta | 0,068 | 0,045 | 0,028 |
| S-14,5 | | 0,080 | 0,080 | 0,055 |
| S-15 | | 0,080 | 0,080 | 0,055 |
| S-15,5 | Porto Marinho | 0,065 | 0,055 | 0,05 |
| S-16 | | 0,068 | 0,068 | 0,04 |
| S-17,5 | Porto das Cruzes | 0,045 | 0,055 | 0,075 |
| S-18 | | 0,035 | 0,035 | 0,035 |
| S-18,5 | | 0,085 | 0,062 | 0,067 |
| S-20 | | 0,085 | 0,085 | 0,07 |
| S-21 | Montante da Ilha Serena | 0,085 | 0,065 | 0,045 |

Nota: Valores interpolados para vazões intermediárias.

A comparação entre os perfis de linha d'água simulados e os níveis d'água medidos no campo é mostrada na Tabela 4.41 e nas figuras a seguir.

Tabela 4.41 - Níveis d'Água Observados e Simulados na Calibração do Modelo HEC-RAS (m).

| Seção | Data | | | | | | | | |
|--------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|
| | 30/01/2.009 | | | 14/02/2.009 | | | 06/03/2.009 | | |
| | Obs. | Sim. | Dif. | Obs. | Sim. | Dif. | Obs. | Sim. | Dif. |
| S-9,5 | 92,00 | 91,97 | 0,03 | 92,99 | 92,96 | 0,03 | 91,11 | 91,12 | -0,01 |
| S-13,5 | 85,69 | 85,67 | 0,02 | 86,57 | 86,73 | -0,16 | 84,92 | 84,92 | 0,00 |
| S-15,5 | 77,82 | 77,91 | -0,09 | 78,85 | 78,89 | -0,04 | 76,74 | 76,71 | 0,03 |
| S-17,5 | 70,54 | 70,52 | 0,02 | 71,43 | 71,47 | -0,04 | 69,62 | 69,62 | 0,00 |
| S-18,5 | 64,46 | 64,48 | -0,02 | 65,44 | 65,39 | 0,05 | 63,42 | 63,32 | 0,10 |

Notas: 1 - Obs = Observado; Sim = Simulado; e Dif = Diferença.

2 - Dado de NA em negrito ajustado em face de medição inconsistente.

UHE ITAOCARA I

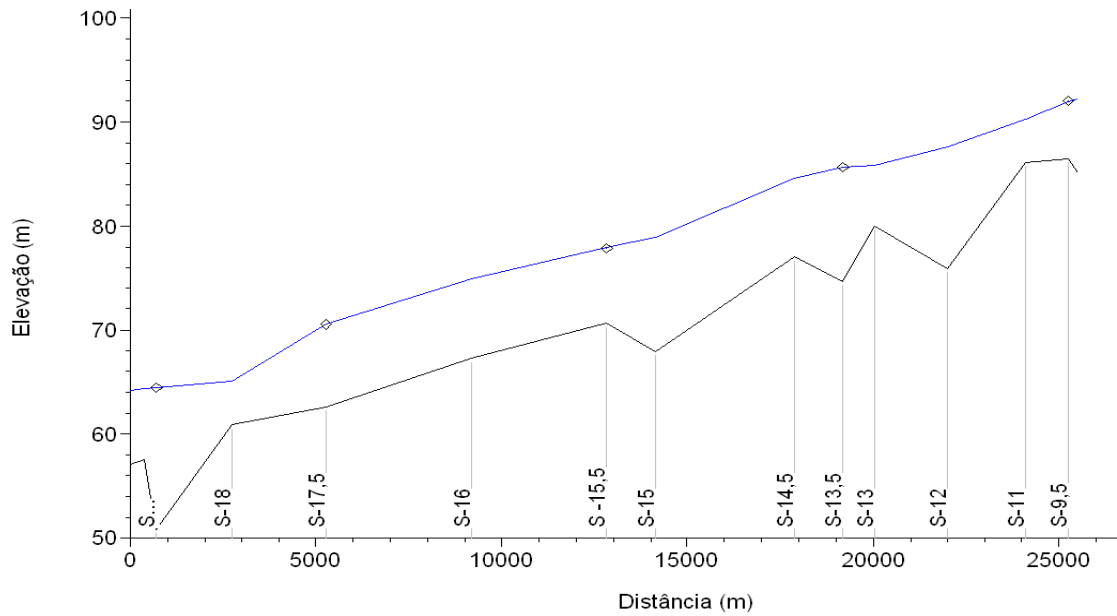


Figura 4.35 - Perfis de Linha d'Água Observado em 30/01/2009 e Simulado Trecho Médio.

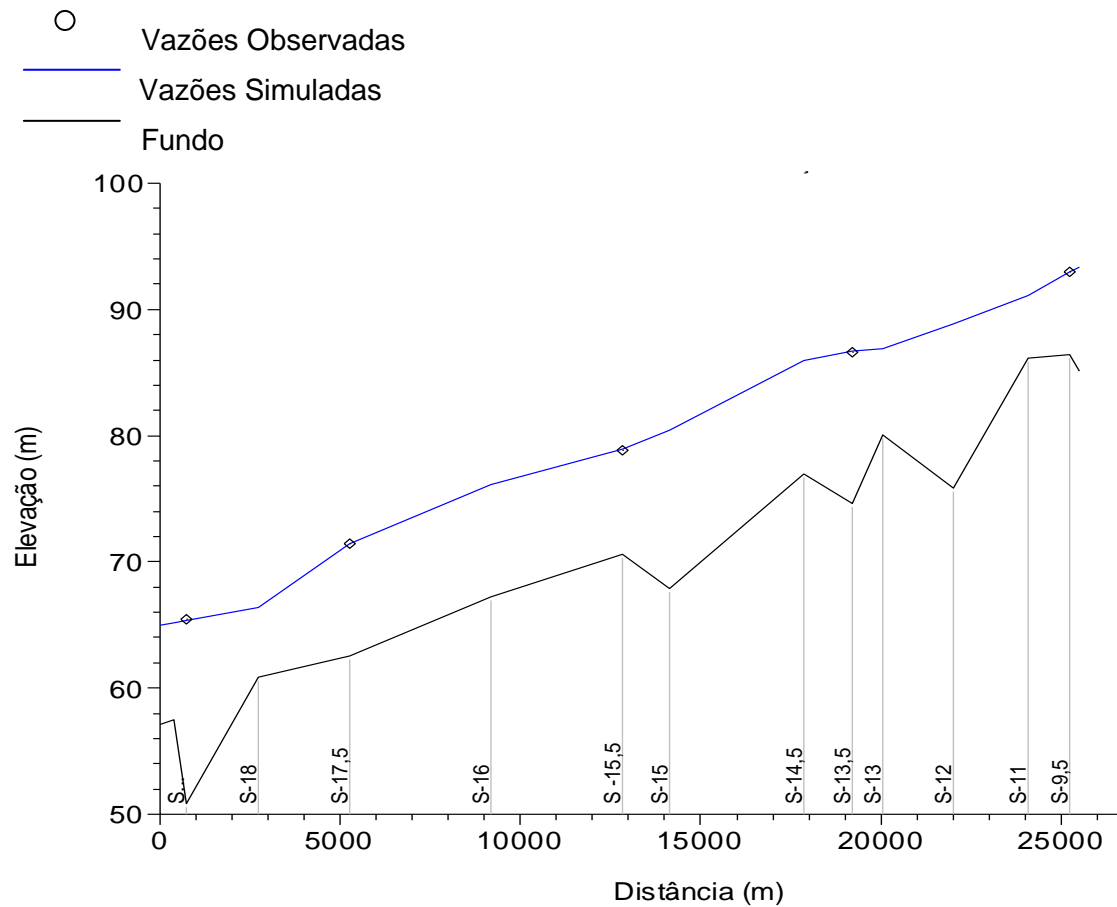


Figura 4.36 - Perfis de Linha d'Água Observado em 14/02/2009 e Simulado Trecho Médio.

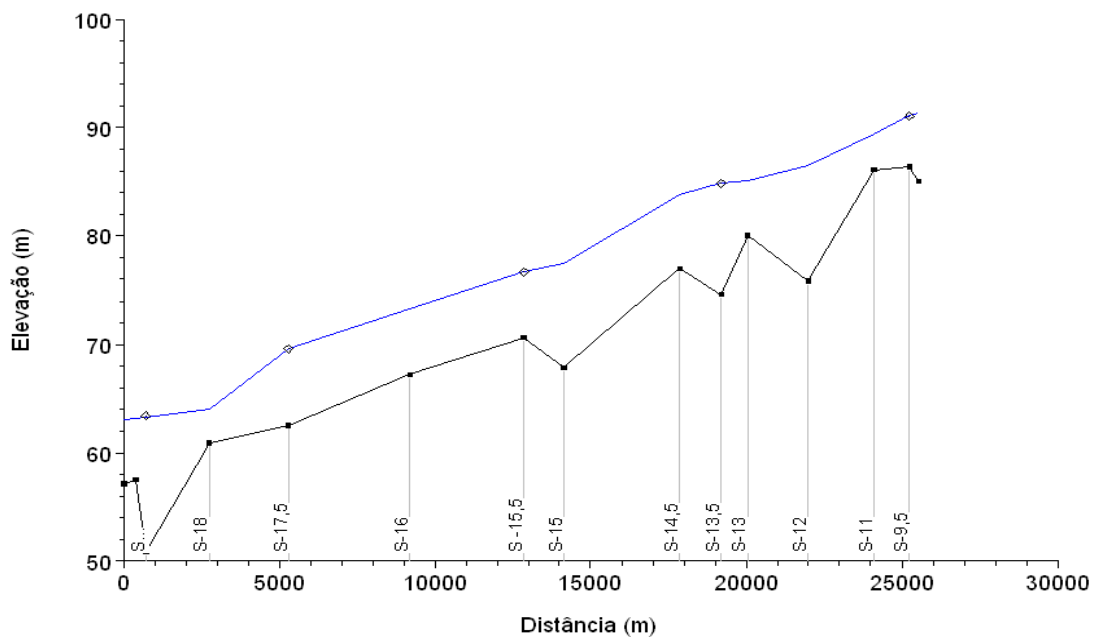


Figura 4.37 - Perfis de Linha d'Água Observado em 06/03/2.009 e Simulado Trecho Médio.

c) Trecho Superior (Posto São Sebastião do Paraíba - Itaocara II)

Admite-se como condição de contorno para este trecho a curva-chave natural de São Sebastião do Paraíba e para a calibração do mesmo, a curva-chave natural de Itaocara II Canal Esquerdo.

O estudo desse trecho teve como finalidade a caracterização do efeito do remanso na curva-chave do posto Itaocara II Canal Esquerdo, localizado nas proximidades do canal de fuga e do canal de restituição de vazões vertidas da UHE Itaocara II. A Figura 4.38 permite uma análise visual do trecho em questão.



Figura 4.38 - Foto Aérea do Trecho Superior do Futuro Reservatório da UHE Itacara II.

A geomorfologia local confere significativa complexidade ao escoamento no trecho, apresentando as seguintes características predominantes:

- A existência de uma ilha no eixo da UHE Itacara II divide o escoamento em dois canais principais;
- O lineamento gnáissico NE, caracterizado na foto por corredeiras, direciona a maior parte da vazão do rio Paraíba do Sul para o canal esquerdo, como se pode observar na Figura 4.39.

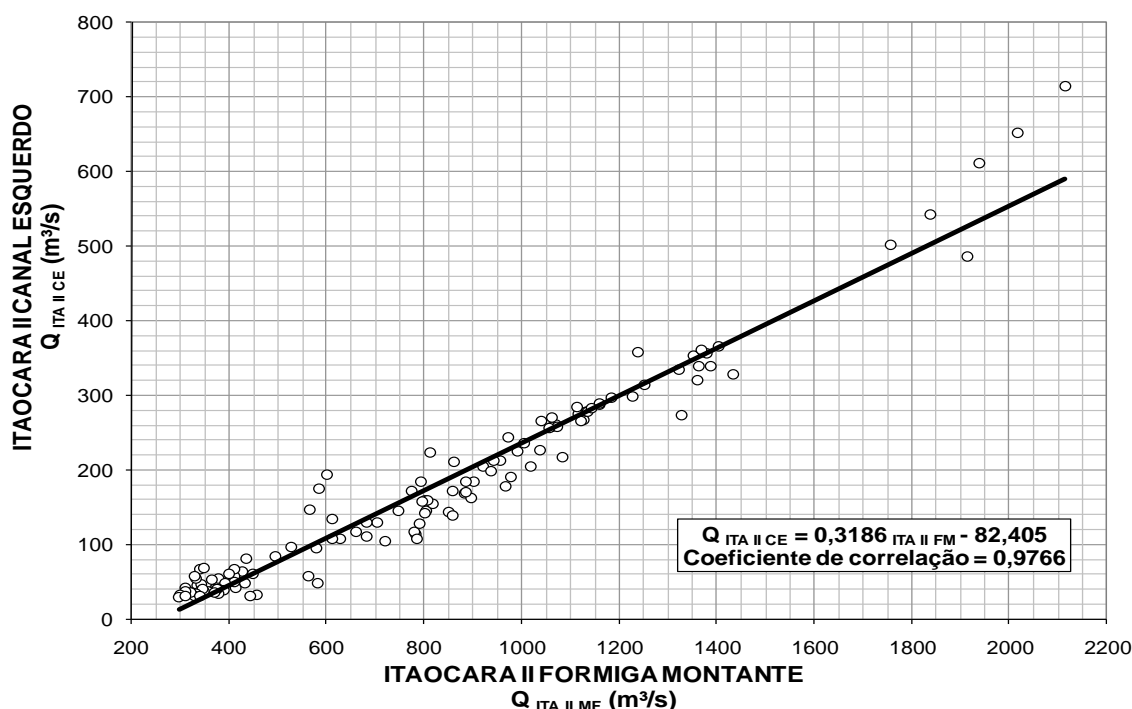


Figura 4.39 - Correlação de Vazões Médias Diárias dos Postos Itaocara II Canal Esquerdo e Itaocara II Montante Formiga.

- O fluxo no canal direito é controlado pela referida formação geológica que funciona como se fosse um vertedouro lateral, restituindo as vazões para o canal esquerdo. Adotando-se a hipótese simplificadora de que essa restituição ocorre uniformemente ao longo desse controle fluvial, elaborou-se a Tabela 4.42 que apresenta uma estimativa das vazões supracitadas, entre as seções topobatimétricas disponíveis.

Tabela 4.42 - Partição de Vazões Defluentes do Canal Direito.

| Trecho | | Vazão Defluente (%) |
|----------------|---------------|---------------------|
| Seção Montante | Seção Jusante | |
| S-8,10 | S-8,12 | 0,73 |
| S-8,12 | S-8,13 | 0,27 |

- A seção transversal S-8.7 que pode ser considerada típica do estirão fluvial em questão, mostrada na Figura 4.40, sugere que o escoamento no canal direito apresenta uma significativa zona morta na parte inferior da calha do canal direito, em virtude do lineamento gnáissico que controla o fluxo nesse canal.

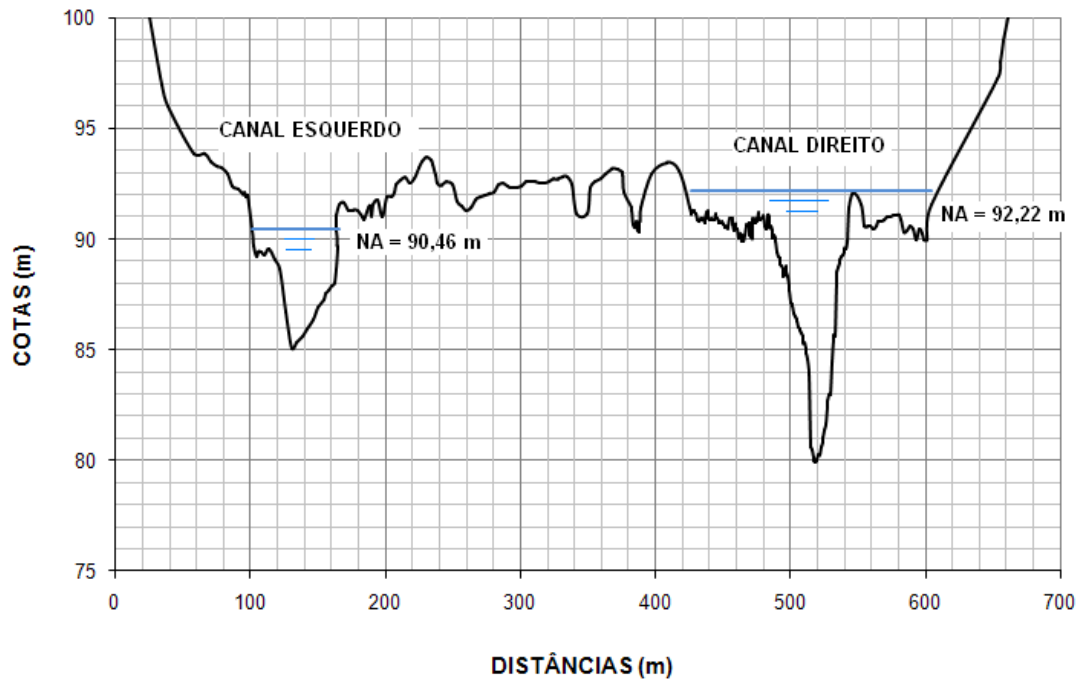


Figura 4.40 - Seção Transversal S-8.7.

Nota: Níveis d'água observados no dia 10/07/09

- Essa mesma seção indica que acima de uma cota em torno da EL. 93,00 m, na qual se situa o coroamento do citado lineamento, não mais haveria a divisão do fluxo à jusante da ilha onde se situa o eixo da barragem.

Considerando-se essas inferências e premissas, foi realizada a calibração do modelo HEC-RAS, resultando nos coeficientes de Manning relacionados na Tabela 4.43. A calibração desse trecho que envolve a ilha local, contempla apenas o canal esquerdo em virtude da sua importância para o estudo.

Tabela 4.43 - Coeficientes de Manning do Rio Paraíba no Trecho Superior Inferior.

| Seções | Faixa de Vazões (m³/s) | |
|----------------------------------|------------------------|--------|
| | ≤ 71 | ≥ 1000 |
| S-8.7 | 0,015 | 0,030 |
| S-8.8 | 0,015 | 0,030 |
| S-8.9 (Eixo Itaocara II) | 0,015 | 0,030 |
| S-8.10 | 0,015 | 0,030 |
| S-8.12 | 0,015 | 0,030 |
| S-8.13 | 0,015 | 0,030 |
| S-9 | 0,015 | 0,030 |
| S-9,5 (São Sebastião do Paraíba) | 0,015 | 0,030 |

Nota: Valores interpolados para vazões intermediárias.

As diferenças entre os níveis d'água simulados e observados na curva-chave de Itaocara II Canal Esquerdo estão apresentadas na Tabela 4.44.

Tabela 4.44 - Níveis d'Água Observados no Posto Itaocara II Canal Esquerdo e Simulados na Calibração do HEC-RAS (m).

| Vazão (m³/s) | NA | | |
|--------------|-------|-------|-------|
| | Obs. | Sim. | Dif. |
| 45,04 | 90,58 | 90,66 | -0,08 |
| 108,76 | 91,16 | 91,13 | 0,03 |
| 172,48 | 91,60 | 91,53 | 0,07 |
| 236,20 | 91,97 | 91,91 | 0,06 |
| 395,50 | 92,73 | 92,68 | 0,05 |
| 554,80 | 93,26 | 93,42 | -0,16 |

d) Rio Pirapetinga

Admite-se como condição de contorno para este trecho a curva-chave natural de Itaocara Jusante.

Para cada seção do rio Pirapetinga foram obtidos os coeficientes de Manning apresentados na Tabela 4.45.

Tabela 4.45 - Coeficientes de Manning do Rio Pirapetinga.

| Seções | Margem Esquerda | Canal | Margem Direita |
|--------|-----------------|-------|----------------|
| S-5 | 0,040 | 0,035 | 0,040 |
| S-4.3 | 0,040 | 0,035 | 0,040 |
| S-4.2 | 0,040 | 0,035 | 0,040 |
| S-4.1 | 0,040 | 0,035 | 0,040 |
| S-4 | 0,040 | 0,035 | 0,040 |
| S-3.3 | 0,040 | 0,035 | 0,040 |
| S-3.2 | 0,040 | 0,035 | 0,040 |
| S-3.1 | 0,040 | 0,035 | 0,040 |
| S-3 | 0,040 | 0,035 | 0,040 |
| S-2.1 | 0,040 | 0,035 | 0,040 |
| S-2 | 0,055 | 0,045 | 0,055 |
| S-1 | 0,055 | 0,045 | 0,055 |

A comparação entre os perfis de linha d'água simulados e os níveis d'água medidos no campo é mostrada na Tabela 4.46 e nas figuras a seguir.

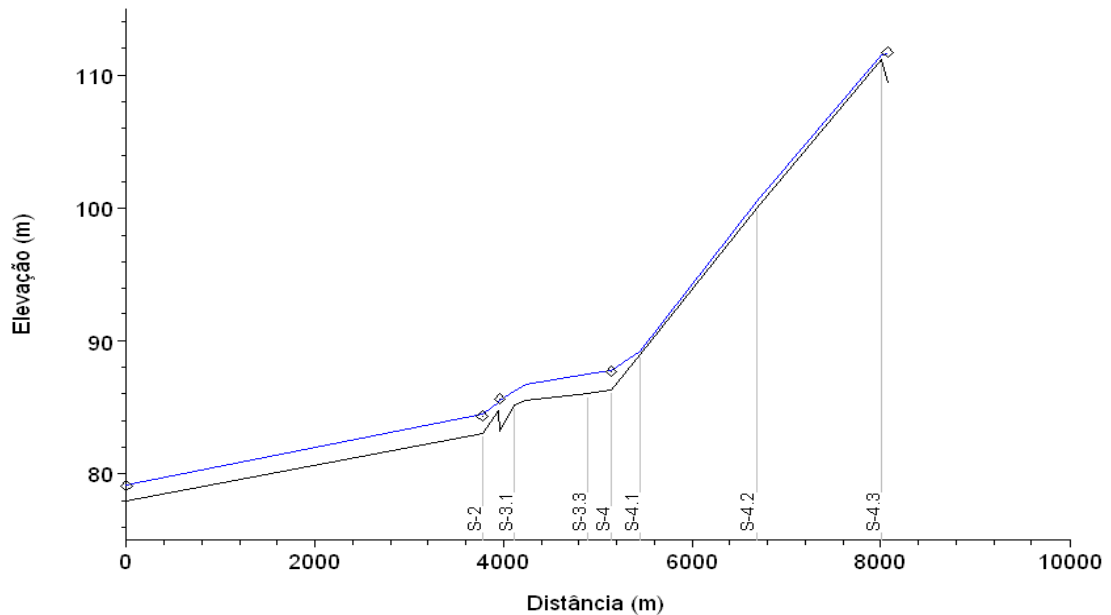


Figura 4.42 - Perfis de Linha D'Água Observado em 06/03/2009 no Rio Pirapetinga e Simulado.

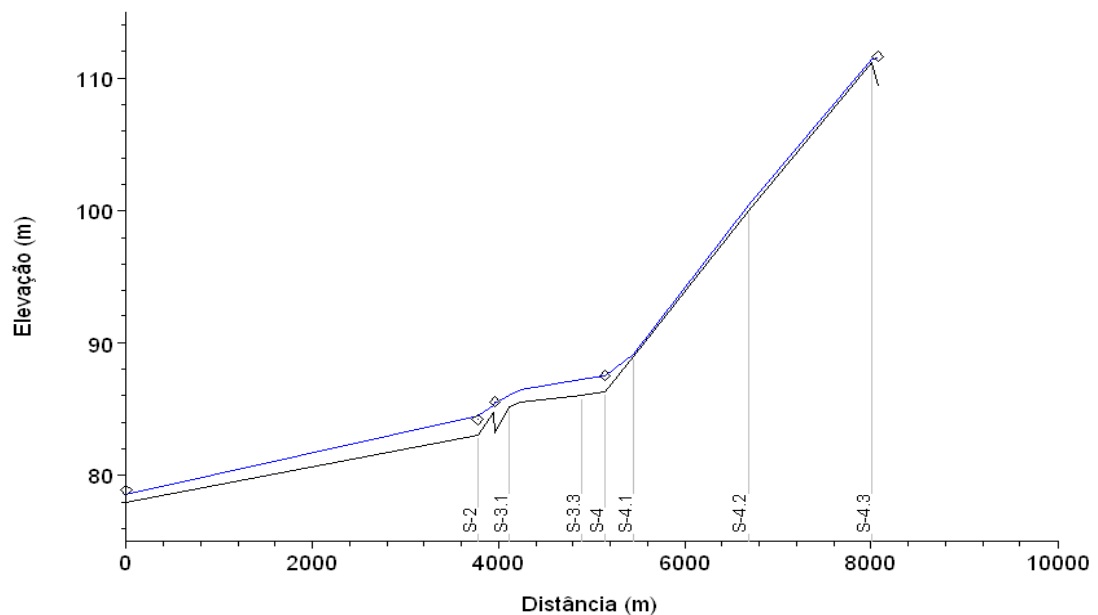


Figura 4.43 - Perfis de Linha D'Água Observado em 19/08/2009 no Rio Pirapetinga e Simulado.

Simulações em Condições Naturais

Utilizando-se os coeficientes de Manning obtidos no processo de calibração, foram realizadas simulações considerando 07 (sete) diferentes vazões: a média de longo termo (Q_{MLT}) e as vazões instantâneas associadas às recorrências (T) de 2 anos, 10 anos, 25 anos, 100 anos, 1.000 anos e 10.000 anos.

a) Trecho Inferior (Posto Itacacara Jusante – Ilha Serena)

A Tabela 4.47 relaciona os respectivos níveis d'água obtidos considerando como condição de contorno de jusante a curva-chave do posto Itacacara Jusante.

Tabela 4.47 - Níveis D'Água Simulados para Condições Naturais no Trecho Inferior (m).

| Trecho | Seção | Vazões | | | | | | |
|-------------------------------|-----------|--------|-----------|------------|------------|-------------|---------------|----------------|
| | | QMLT | TR 2 anos | TR 10 anos | TR 25 anos | TR 100 anos | TR 1.000 anos | TR 10.000 anos |
| Canal Direito da Ilha Serena | S-22 MD | 62,82 | 64,80 | 66,01 | 66,45 | 67,03 | 67,86 | 68,59 |
| | S-22.5 MD | 62,53 | | | | | | |
| | S-23 MD | 61,50 | 64,66 | 65,88 | 66,33 | 66,90 | 67,73 | 68,46 |
| | S-24 MD | 61,50 | 64,63 | 65,85 | 66,30 | 66,88 | 67,70 | 68,43 |
| | S-24.5 MD | 61,25 | | | | | | |
| | S-25.5 MD | 61,38 | 64,41 | 65,64 | 66,08 | 66,65 | 67,47 | 68,20 |
| Canal Esquerdo da Ilha Serena | S-21.5 ME | 62,03 | | | | | | |
| | S-22 ME | 61,86 | 64,80 | 66,01 | 66,45 | 67,03 | 67,86 | 68,59 |
| | S-23 ME | 61,55 | 64,66 | 65,88 | 66,33 | 66,90 | 67,73 | 68,46 |
| | S-24 ME | 61,54 | 64,63 | 65,85 | 66,30 | 66,88 | 67,70 | 68,43 |
| | S-25 ME | 61,49 | | | | | | |
| | S-25.5 ME | 61,40 | 64,41 | 65,64 | 66,08 | 66,65 | 67,47 | 68,20 |
| Jusante Ilha Serena | S-26 | 61,36 | 63,81 | 64,96 | 65,34 | 65,82 | 66,53 | 67,17 |
| | S-26.5 | 60,95 | 63,59 | 64,74 | 65,08 | 65,54 | 66,23 | 66,85 |
| | S-27 | 60,00 | 63,14 | 64,50 | 64,83 | 65,28 | 65,96 | 66,58 |

Nota: Os valores dos canais direito e esquerdo se igualam quando a Ilha Serena fica submersa pelos altos níveis d'água.

b) Trecho Médio (Ilha Serena – Posto São Sebastião do Paraíba)

As linhas d'água em condições naturais, para as diferentes vazões analisadas, foram obtidas conforme Tabela 4.48 relaciona os referidos níveis.

Tabela 4.48 - Níveis D'Água Simulados para Condições Naturais no Trecho Médio (m).

| Seção | Vazões | | | | | | |
|--------|------------------|-----------|------------|------------|-------------|---------------|----------------|
| | Q _{MLT} | TR 2 anos | TR 10 anos | TR 25 anos | TR 100 anos | TR 1.000 anos | TR 10.000 anos |
| S-9,5 | 90,56 | 93,36 | 94,58 | 94,99 | 95,52 | 96,28 | 96,94 |
| S-11 | 88,85 | 91,08 | 92,11 | 92,60 | 93,19 | 93,98 | 94,70 |
| S-12 | 85,81 | 88,76 | 90,12 | 90,68 | 91,36 | 92,33 | 93,14 |
| S-13 | 84,26 | 86,89 | 88,10 | 88,68 | 89,30 | 90,17 | 90,88 |
| S-13,5 | 84,16 | 86,73 | 87,84 | 88,41 | 89,03 | 89,90 | 90,64 |
| S-14.5 | 83,02 | 85,94 | 86,80 | 87,47 | 88,14 | 89,03 | 89,80 |
| S-15 | 76,49 | 80,42 | 82,45 | 82,88 | 83,43 | 84,23 | 84,94 |
| S-15,5 | 75,92 | 78,90 | 81,06 | 81,46 | 81,95 | 82,72 | 83,46 |

UHE ITAOCARA I

| | | | | | | | |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| S-16 | 72,40 | 76,14 | 77,63 | 78,18 | 78,86 | 79,89 | 80,75 |
| S-17,5 | 68,80 | 71,41 | 72,09 | 72,10 | 72,14 | 72,32 | 73,04 |
| S-18 | 63,38 | 66,28 | 67,91 | 68,39 | 68,96 | 69,80 | 70,54 |
| S-18,5 | 62,59 | 65,28 | 66,54 | 67,01 | 67,60 | 68,45 | 69,20 |
| S-20 | 62,51 | 65,06 | 66,25 | 66,70 | 67,29 | 68,14 | 68,89 |
| S-21 | 62,34 | 64,88 | 66,09 | 66,55 | 67,13 | 67,98 | 68,72 |

c) Trecho Superior (Posto São Sebastião do Paraíba - Itaocara II)

Considerando-se como condição de contorno a curva-chave do posto São Sebastião do Paraíba foram calculados os níveis d'água apresentados na Tabela 4.49.

Tabela 4.49 - Níveis D'Água Simulados para Condições Naturais entre São Sebastião do Paraíba e Itaocara II (m).

| Seção | Vazões | | | | | | |
|--------|------------------|-----------|------------|------------|-------------|---------------|----------------|
| | Q _{MLT} | TR 2 anos | TR 10 anos | TR 25 anos | TR 100 anos | TR 1.000 anos | TR 10.000 anos |
| S-8,7 | 90,79 | 93,84 | 95,07 | 95,51 | 96,08 | 96,89 | 97,60 |
| S-8,8 | 90,79 | 93,85 | 95,08 | 95,51 | 96,09 | 96,89 | 97,60 |
| S-8,9 | 90,79 | 93,85 | 95,08 | 95,52 | 96,10 | 96,91 | 97,61 |
| S-8,10 | 90,79 | 93,83 | 95,06 | 95,49 | 96,07 | 96,87 | 97,58 |
| S-8,12 | 90,78 | 93,79 | 94,98 | 95,41 | 95,97 | 96,76 | 97,44 |
| S-8,13 | 90,71 | 93,71 | 94,89 | 95,30 | 95,84 | 96,61 | 97,28 |
| S-9 | 90,67 | 93,59 | 94,78 | 95,19 | 95,73 | 96,50 | 97,16 |
| S-9,5 | 90,56 | 93,36 | 94,58 | 94,99 | 95,52 | 96,28 | 96,94 |

d) Rio Pirapetinga

No caso desse afluente do rio Paraíba do Sul, as vazões no aproveitamento foram transferidas para a foz do rio Pirapetinga pela relação entre as respectivas áreas de drenagem.

As simulações realizadas resultaram nos níveis d'água apresentados na Tabela 4.50.

Tabela 4.50 - Níveis D'Água Simulados - Condições Naturais no Rio Pirapetinga (m).

| Seção | Vazões | | | | | | |
|-------|--------|-----------|------------|------------|-------------|---------------|----------------|
| | QMLT | TR 2 anos | TR 10 anos | TR 25 anos | TR 100 anos | TR 1.000 anos | TR 10.000 anos |
| S-5 | 111,56 | 112,00 | 112,24 | 112,33 | 112,43 | 112,58 | 112,71 |
| S-4.3 | 111,49 | 111,80 | 112,09 | 112,16 | 112,25 | 112,38 | 112,50 |
| S-4.2 | 100,43 | 100,89 | 100,91 | 101,00 | 101,12 | 101,30 | 101,44 |
| S-4.1 | 89,22 | 89,60 | 90,09 | 90,27 | 90,52 | 90,90 | 91,30 |

| | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| S-4 | 87,65 | 88,87 | 89,41 | 89,59 | 89,82 | 90,17 | 90,46 |
| S-3.3 | 87,39 | 88,57 | 89,05 | 89,21 | 89,42 | 89,72 | 89,99 |
| S-3.2 | 86,61 | 87,54 | 87,94 | 88,08 | 88,27 | 88,55 | 88,79 |
| S-3.1 | 86,12 | 86,83 | 87,13 | 87,25 | 87,41 | 87,65 | 87,86 |
| S-3 | 85,48 | 86,34 | 86,63 | 86,79 | 86,99 | 87,29 | 87,52 |
| S-2.1 | 85,30 | 86,18 | 86,23 | 86,43 | 86,59 | 86,89 | 87,29 |
| S-2 | 84,61 | 84,47 | 85,68 | 86,01 | 86,33 | 86,79 | 87,20 |
| S-1 | 78,62 | 82,49 | 85,53 | 85,82 | 86,07 | 86,44 | 86,81 |

Simulações com o Reservatório Assoreado

Essas simulações foram elaboradas com a finalidade de se obter o maior Nível d'Água Máximo Normal do reservatório de UHE Itaocara I que não piorasse as inundações que assolam periodicamente a localidade de São Sebastião do Paraíba, mesmo após 30 (trinta) anos de operação do empreendimento. Cabe salientar que a área onde se encontra esse povoado é naturalmente inundável, já que faz parte da calha superior do rio Paraíba do Sul, conforme ilustrado pela Figura 4.44.



Figura 4.44 - Foto Aérea de São Sebastião do Paraíba.

Nesse local foi instalado o posto limnimétrico São Sebastião do Paraíba, equipado com referência de nível que apresenta cota 93,46 m. Esse marco pode ser vislumbrado na fotografia mostrada na Figura 4.45, obtida em 23/01/2.009, quando o rio se encontrava em águas altas.



Figura 4.45 - Rio Paraíba do Sul em São Sebastião do Paraíba.

A partir da análise dessas fotografias, conjugada às observações realizadas em visita de campo, deduziu-se que São Sebastião do Paraíba começa a ser inundada quando o NA local atinge a cota 93,53 m que corresponde a uma vazão de 2.436 m³/s, em condições naturais, na ocasião dos levantamentos.

Foram então realizadas simulações de remanso, considerando-se diversos níveis d'água para o reservatório, a cada qual correspondendo uma distribuição específica dos depósitos de sedimentos em sua bacia hidráulica no horizonte de 30 (trinta) anos. Verificou-se que para o NA de 89,60 m, a vazão citada no parágrafo anterior corresponde à cota fluviométrica de 93,56 m. Observa-se, nesse caso, uma sobre-elevação de 3,00 cm que pode ser considerada desprezível. Consequentemente, para atendimento dos critérios acima considerados, o NA Máximo Normal do Reservatório da UHE Itaocara I deverá situar-se na EL. 89,60 m, o que é considerado no restante deste relatório. A seguir, é descrito o processo de cálculo que conduziu a esse resultado.

Substituindo-se no modelo HEC-RAS as seções topobatimétricas levantadas no campo pelas seções assoreadas após 10 e 30 anos de operação do reservatório,

UHE ITAOCARA I

foram simulados os níveis d'água para essas futuras condições. A condição de contorno para as simulações de reservatório é definida na seção do eixo da UHE Itaocara I (S-22), na cota 89,60 m.

As Tabelas 4.51 e 4.52 apresentam os resultados obtidos.

Tabela 4.51 - Níveis d'Água do Reservatório Assoreado após 10 Anos de Operação (m).

| Seção | Vazões | | | | | | |
|--------|--------|-----------|------------|------------|-------------|---------------|----------------|
| | QMLT | TR 2 anos | TR 10 anos | TR 25 anos | TR 100 anos | TR 1.000 anos | TR 10.000 anos |
| S-9,5 | 90,67 | 93,36 | 94,58 | 94,99 | 95,52 | 96,28 | 96,94 |
| S-11 | 90,21 | 92,58 | 93,56 | 93,97 | 94,52 | 95,31 | 96,04 |
| S-12 | 89,72 | 91,26 | 92,25 | 92,68 | 93,24 | 94,06 | 94,87 |
| S-13 | 89,62 | 90,03 | 90,55 | 90,80 | 91,16 | 91,68 | 92,50 |
| S-13,5 | 89,61 | 89,88 | 90,28 | 90,49 | 90,81 | 91,31 | 92,30 |
| S-14,5 | 89,60 | 89,67 | 89,80 | 89,89 | 90,05 | 90,36 | 91,67 |
| S-15 | 89,60 | 89,63 | 89,69 | 89,73 | 89,80 | 89,94 | 91,26 |
| S-15,5 | 89,60 | 89,63 | 89,67 | 89,70 | 89,76 | 89,88 | 91,20 |
| S-16 | 89,60 | 89,61 | 89,64 | 89,65 | 89,68 | 89,74 | 91,06 |
| S-17,5 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,61 | 90,91 |
| S-18 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,61 | 90,91 |
| S-18,5 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 90,90 |
| S-20 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 90,90 |
| S-21 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 90,90 |
| S-22 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 90,90 |

Tabela 4.52 - Níveis D'Água - Reservatório Assoreado Após 30 Anos de Operação (m).

| Seção | Vazões | | | | | | |
|--------|--------|-----------|------------|------------|-------------|---------------|----------------|
| | QMLT | TR 2 anos | TR 10 anos | TR 25 anos | TR 100 anos | TR 1.000 anos | TR 10.000 anos |
| S-9,5 | 90,86 | 93,43 | 94,58 | 94,99 | 95,52 | 96,28 | 96,94 |
| S-11 | 90,63 | 92,94 | 94,00 | 94,45 | 95,04 | 95,88 | 96,64 |
| S-12 | 90,10 | 92,25 | 93,26 | 93,68 | 94,25 | 95,09 | 95,84 |
| S-13 | 89,63 | 91,06 | 91,77 | 92,07 | 92,46 | 93,01 | 93,57 |
| S-13,5 | 89,62 | 90,54 | 91,17 | 91,45 | 91,82 | 92,37 | 93,07 |
| S-14,5 | 89,60 | 89,71 | 89,91 | 90,05 | 90,30 | 90,77 | 92,01 |
| S-15 | 89,60 | 89,64 | 89,71 | 89,76 | 89,85 | 90,03 | 91,34 |
| S-15,5 | 89,60 | 89,63 | 89,69 | 89,72 | 89,79 | 89,93 | 91,25 |
| S-16 | 89,60 | 89,61 | 89,64 | 89,66 | 89,69 | 89,76 | 91,08 |
| S-17,5 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,61 | 90,91 |
| S-18 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,61 | 89,61 | 90,91 |
| S-18,5 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 90,90 |
| S-20 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 90,90 |
| S-21 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 90,90 |

| Seção | Vazões | | | | | | |
|-------|------------------|-----------|------------|------------|-------------|---------------|----------------|
| | Q _{MLT} | TR 2 anos | TR 10 anos | TR 25 anos | TR 100 anos | TR 1.000 anos | TR 10.000 anos |
| S-22 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 90,90 |

Simulação com o Reservatório em Início de Operação

a) Trecho Médio (Ilha Serena – Posto São Sebastião do Paraíba)

As linhas d'água considerando o início de operação do reservatório, para as diferentes vazões analisadas, estão apresentadas na Tabela 4.53.

Tabela 4.53 - Níveis D'Água do Reservatório no Trecho Médio (m).

| Seção | Vazões | | | | | | |
|--------|------------------|-----------|------------|------------|-------------|---------------|----------------|
| | Q _{MLT} | TR 2 anos | TR 10 anos | TR 25 anos | TR 100 anos | TR 1.000 anos | TR 10.000 anos |
| S-9,5 | 90,57 | 93,36 | 94,58 | 94,99 | 95,52 | 96,28 | 96,94 |
| S-11 | 89,67 | 90,98 | 92,19 | 92,64 | 93,23 | 94,05 | 94,89 |
| S-12 | 89,63 | 90,19 | 90,93 | 91,30 | 91,83 | 92,66 | 93,71 |
| S-13 | 89,61 | 89,79 | 90,10 | 90,29 | 90,58 | 91,11 | 92,30 |
| S-13,5 | 89,61 | 89,77 | 90,04 | 90,21 | 90,49 | 91,00 | 92,25 |
| S-14,5 | 89,60 | 89,71 | 89,89 | 90,00 | 90,21 | 90,62 | 91,94 |
| S-15 | 89,60 | 89,63 | 89,67 | 89,70 | 89,75 | 89,87 | 91,20 |
| S-15,5 | 89,60 | 89,62 | 89,65 | 89,67 | 89,71 | 89,80 | 91,13 |
| S-16 | 89,60 | 89,61 | 89,63 | 89,64 | 89,66 | 89,71 | 91,03 |
| S-17,5 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,61 | 90,91 |
| S-18 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,61 | 90,91 |
| S-18,5 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 90,90 |
| S-20 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 90,90 |
| S-21 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 90,90 |
| S-22 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 89,60 | 90,90 |

b) Trecho Superior (Posto São Sebastião do Paraíba - Itaocara II)

Para o trecho entre São Sebastião do Paraíba e Itaocara II, os níveis d'água simulados considerando o reservatório de Itaocara I estão apresentados na Tabela 4.54.

Tabela 4.54 - Níveis D'Água do Reservatório no Trecho Superior (m).

| Seção | Vazões | | | | | | |
|-------|------------------|-----------|------------|------------|-------------|---------------|----------------|
| | Q _{MLT} | TR 2 anos | TR 10 anos | TR 25 anos | TR 100 anos | TR 1.000 anos | TR 10.000 anos |
| S-8,7 | 90,65 | 93,59 | 95,51 | 95,90 | 96,43 | 97,19 | 97,86 |

UHE ITAOCARA I

| Seção | Vazões | | | | | | |
|--------|------------------|-----------|------------|------------|-------------|---------------|----------------|
| | Q _{MLT} | TR 2 anos | TR 10 anos | TR 25 anos | TR 100 anos | TR 1.000 anos | TR 10.000 anos |
| S-8,8 | 90,73 | 93,76 | 95,45 | 95,85 | 96,38 | 97,13 | 97,79 |
| S-8,9 | 90,77 | 93,76 | 95,36 | 95,76 | 96,30 | 97,06 | 97,72 |
| S-8,10 | 90,77 | 93,72 | 95,25 | 95,67 | 96,22 | 96,99 | 97,66 |
| S-8,12 | 90,79 | 93,75 | 94,95 | 95,37 | 95,92 | 96,69 | 97,36 |
| S-8,13 | 90,71 | 93,71 | 94,88 | 95,30 | 95,84 | 96,61 | 97,28 |
| S-9 | 90,67 | 93,59 | 94,77 | 95,19 | 95,73 | 96,50 | 97,16 |
| S-9,5 | 90,57 | 93,36 | 94,58 | 94,99 | 95,52 | 96,28 | 96,94 |

c) Rio Pirapetinga

Os níveis d'água simulados para o rio Pirapetinga, considerando o reservatório da UHE Itaocara I, estão apresentados na Tabela 4.55.

Tabela 4.55 - Níveis D'água Simulados do Reservatório no Rio Pirapetinga (m).

| Seção | Vazões | | | | | | |
|-------|------------------|-----------|------------|------------|-------------|---------------|----------------|
| | Q _{MLT} | TR 2 anos | TR 10 anos | TR 25 anos | TR 100 anos | TR 1.000 anos | TR 10.000 anos |
| S-5 | 111,60 | 112,04 | 112,24 | 112,33 | 112,43 | 112,58 | 112,71 |
| S-4.3 | 111,57 | 111,93 | 112,09 | 112,16 | 112,25 | 112,39 | 112,50 |
| S-4.2 | 100,32 | 100,71 | 100,91 | 101,00 | 101,12 | 101,29 | 101,44 |
| S-4.1 | 89,61 | 89,91 | 90,26 | 90,42 | 90,65 | 91,01 | 91,82 |
| S-4 | 89,60 | 89,72 | 89,91 | 90,01 | 90,18 | 90,46 | 91,45 |
| S-3.3 | 89,60 | 89,67 | 89,79 | 89,87 | 89,99 | 90,23 | 91,36 |
| S-3.2 | 89,60 | 89,64 | 89,70 | 89,75 | 89,83 | 89,98 | 91,28 |
| S-3.1 | 89,60 | 89,63 | 89,69 | 89,73 | 89,80 | 89,95 | 91,27 |
| S-3 | 89,60 | 89,63 | 89,69 | 89,73 | 89,80 | 89,94 | 91,27 |
| S-2.1 | 89,60 | 89,63 | 89,69 | 89,73 | 89,80 | 89,95 | 91,27 |
| S-2 | 89,60 | 89,63 | 89,69 | 89,73 | 89,80 | 89,95 | 91,27 |
| S-1 | 89,60 | 89,63 | 89,68 | 89,72 | 89,78 | 89,91 | 91,25 |

Conclui-se que para as condições iniciais de implantação do reservatório, não há alteração dos níveis d'água na região de São Sebastião do Paraíba.

4.2.5.2 *Borda Livre*

De acordo com a publicação da Eletrobrás, Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas, tem-se que em barragens de terra ou enrocamento, a borda livre normal deverá ser igual ou superior a 3,00 m e, se tratando do nível máximo de enchente do reservatório, igual ou superior a 1,00 m.

Em barragens de concreto, a borda livre mínima deverá ser de 1,50 m em relação ao nível normal, e 0,50 m acima do nível máximo maximum.

a) Verificação I – Nível máximo normal

Considerando o nível máximo normal do reservatório na El. 89,60 m, as cotas de coroamento das barragens resultam em:

- 92,60 m para barragem de terra ou enrocamento;
- 91,10 m para barragem de concreto.

b) Verificação II – Nível máximo maximorum

Considerando o nível máximo maximorum na El. 90,90 m, as cotas das cristas das barragens resultam em:

- 91,90 m para a barragem de terra ou enrocamento;
- 91,40 m para barragem de concreto.

Portanto, o nível mínimo de coroamento para barragem de terra ou enrocamento é de 92,60 m e para barragem de concreto de 91,40 m.

4.2.5.3 Curva Cota x Área x Volume

As curvas cota x área x volume do reservatório da UHE Itaocara I foram obtidas a partir de plantas, em escala 1:5.000, com curvas de nível a cada 1,0 m, resultantes de levantamento aerofotogramétrico realizado pela empresa LACTEC em junho de 2.009. As áreas foram extraídas com o auxílio do programa AutoCAD e o cálculo dos volumes entre curvas de nível adjacentes, foi efetuado associando-os a “truncos de cone”. A Tabela 4.56 apresenta os dados assim determinados.

Tabela 4.56 - Relação Cota x Área x Volume.

| Cota (m) | Área (km ²) | Volume (hm ³) |
|----------|-------------------------|---------------------------|
| 60 | 0,0 | 0,00 |
| 65 | 1,5 | 2,46 |
| 66 | 2,1 | 4,23 |
| 67 | 2,6 | 6,54 |
| 68 | 3,2 | 9,41 |
| 69 | 3,7 | 12,85 |
| 70 | 4,6 | 16,98 |
| 71 | 5,6 | 22,07 |
| 72 | 6,6 | 28,19 |
| 73 | 7,8 | 35,41 |
| 74 | 9,2 | 43,89 |
| 75 | 10,8 | 53,88 |
| 76 | 12,9 | 65,72 |
| 77 | 14,7 | 79,50 |
| 78 | 16,6 | 95,12 |
| 79 | 18,2 | 112,47 |
| 72 | 6,6 | 28,19 |

| Cota (m) | Área (km ²) | Volume (hm ³) |
|----------|-------------------------|---------------------------|
| 73 | 7,8 | 35,41 |
| 80 | 19,9 | 131,50 |
| 81 | 21,5 | 152,20 |
| 82 | 23,2 | 174,55 |
| 83 | 24,9 | 198,63 |
| 84 | 27,1 | 224,65 |
| 85 | 29,3 | 252,83 |
| 86 | 31,6 | 283,25 |
| 87 | 33,8 | 315,95 |
| 88 | 36,2 | 350,98 |
| 89 | 39,0 | 388,60 |
| 90 | 41,5 | 428,87 |
| 91 | 44,7 | 471,96 |
| 92 | 47,0 | 517,77 |
| 93 | 50,7 | 566,58 |
| 94 | 51,4 | 617,65 |
| 95 | 53,2 | 669,96 |

A Figura 4.46 apresenta as Curvas Volume x Cota e Área x Cota.

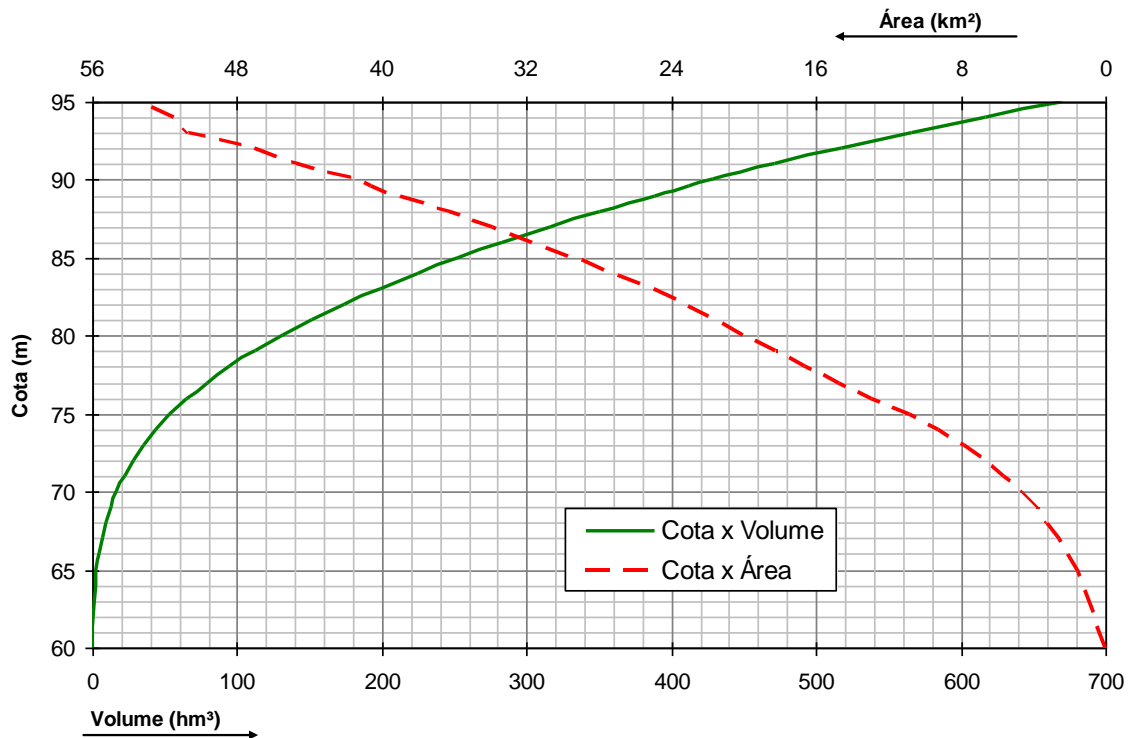


Figura 4.46 - Curva Cota x Área x Volume do Reservatório.

Essas curvas podem ser expressas pelas equações seguintes:

$$A = 9,5451335 \times 10^{-5} H_4 - 3,0332551 \times 10^{-2} H_3 + 3,6389389 H_2 - 1,9350569 \times 10^2 H + 3,8314418 \times 10^3$$

$$H = -2,2447236 \times 10^{-10} V_4 + 4,1348927 \times 10^{-7} V_3 - 2,9049205 \times 10^{-4} V_2 + 1,1524476 \times 10^{-1} V + 6,8940421 \times 10^1$$

4.2.5.4 Hidrossedimentologia

Para o estudo hidrossedimentológico, foram utilizadas as medições disponibilizadas pela ANA para o posto fluviométrico Anta. Os dados utilizados são apresentados na Tabela 4.57.

Tabela 4.57 – Medições Posto Fluviométrico Anta.

| Data | Cota (m) | Vazão (m³/s) | Área Molhada (m²) | Largura (m) | Velocidade Média (m/s) | Concentração Material em Suspensão |
|------------|----------|--------------|-------------------|-------------|------------------------|------------------------------------|
| 10/09/1982 | 203,00 | 362,00 | 736,00 | 130,00 | 0,49 | 581,58 |
| 21/01/1987 | 225,00 | 678,00 | 837,00 | 130,30 | 0,81 | 249,80 |
| 22/01/1987 | 287,00 | 552,00 | 779,10 | 134,30 | 0,71 | 143,33 |
| 30/01/1987 | 455,00 | 1248,00 | 983,70 | 139,10 | 1,26 | 395,20 |
| 04/02/1987 | 245,00 | 683,00 | 807,70 | 130,10 | 0,85 | 251,40 |
| 05/02/1987 | 338,00 | 674,00 | 765,00 | 131,00 | 0,88 | 228,00 |
| 11/03/1987 | 250,00 | 792,00 | 882,20 | 129,40 | 0,90 | 314,40 |
| 12/03/1987 | 243,00 | 675,00 | 827,10 | 129,20 | 0,82 | 228,00 |
| 13/03/1987 | 328,00 | 631,00 | 717,70 | 135,20 | 0,87 | 239,20 |
| 18/03/1987 | 225,00 | 766,00 | 797,80 | 129,10 | 0,96 | 123,20 |
| 21/03/1987 | 239,00 | 394,00 | 394,20 | 83,34 | 0,64 | 99,80 |
| 02/04/1987 | 177,00 | 280,00 | 280,30 | 77,43 | 0,59 | 46,20 |
| 03/04/1987 | 102,00 | 325,00 | 660,60 | 127,30 | 0,49 | 32,20 |
| 04/04/1987 | 126,00 | 538,00 | 832,40 | 127,50 | 0,65 | 58,80 |
| 06/04/1987 | 455,00 | 1341,00 | 1129,00 | 133,90 | 1,19 | 534,80 |
| 06/04/1987 | 431,00 | 1288,00 | 1093,00 | 133,70 | 1,18 | 602,40 |
| 07/04/1987 | 433,00 | 1374,00 | 1089,00 | 133,50 | 1,26 | 303,20 |
| 08/04/1987 | 367,00 | 1170,00 | 983,50 | 131,80 | 1,19 | 221,00 |
| 08/04/1987 | 429,00 | 1065,00 | 885,30 | 138,50 | 1,20 | 205,40 |
| 08/04/1987 | 426,00 | 1001,00 | 896,70 | 138,60 | 1,11 | 192,80 |
| 05/03/1988 | 526,00 | 1569,00 | 1061,00 | 144,00 | 1,48 | 385,60 |
| 11/01/1989 | 355,00 | 788,00 | 866,90 | 138,00 | 0,91 | 601,50 |
| 19/01/1989 | 376,00 | 896,00 | 947,50 | 139,00 | 0,95 | 336,50 |
| 02/02/1989 | 200,00 | 442,00 | 625,80 | 129,80 | 0,71 | 137,50 |
| 09/02/1989 | 309,00 | 683,00 | 733,60 | 136,00 | 0,93 | 331,50 |
| 02/03/1989 | 321,00 | 667,00 | 787,10 | 134,60 | 0,85 | 242,50 |
| 26/03/1989 | 455,00 | 1224,00 | 930,40 | 142,50 | 1,32 | 797,00 |
| 30/03/1989 | 280,00 | 501,00 | 645,20 | 133,40 | 0,78 | 178,50 |

| Data | Cota (m) | Vazão (m³/s) | Área Molhada (m²) | Largura (m) | Velocidade Média (m/s) | Concentração Material em Suspensão |
|------------|----------|--------------|-------------------|-------------|------------------------|------------------------------------|
| 07/04/1989 | 243,00 | 417,00 | 545,00 | 130,80 | 0,76 | 269,00 |
| 07/04/1989 | 243,00 | 417,00 | 545,00 | 130,80 | 0,76 | 449,35 |
| 11/05/1989 | 193,00 | 330,00 | 487,00 | 129,10 | 0,68 | 54,00 |
| 09/06/1989 | 145,00 | 262,00 | 457,00 | 128,00 | 0,57 | 239,06 |
| 09/06/1989 | 145,00 | 262,00 | 457,00 | 128,00 | 0,57 | 506,01 |
| 11/07/1989 | 177,00 | 319,00 | 468,00 | 130,60 | 0,68 | 60,00 |
| 20/07/1989 | 147,00 | 283,00 | 430,90 | 129,60 | 0,66 | 96,00 |
| 26/07/1989 | 125,00 | 231,00 | 399,60 | 127,30 | 0,58 | 27,00 |
| 02/08/1989 | 189,00 | 314,00 | 504,20 | 131,70 | 0,62 | 78,00 |
| 09/08/1989 | 165,00 | 284,00 | 454,90 | 130,50 | 0,62 | 50,00 |
| 29/12/1989 | 194,00 | 350,00 | 576,90 | 130,00 | 0,61 | 183,00 |
| 30/08/1990 | 99,00 | 243,00 | 481,00 | 125,00 | 0,51 | 3,86 |
| 30/08/1990 | 99,00 | 243,00 | 481,00 | 125,00 | 0,51 | 16,31 |
| 16/05/1991 | 207,00 | 360,00 | 537,00 | 131,00 | 0,67 | 37,67 |
| 11/02/1992 | 239,00 | 441,00 | 776,00 | 132,30 | 0,57 | 359,28 |
| 11/02/1992 | 239,00 | 441,00 | 776,00 | 132,30 | 0,57 | 552,06 |
| 10/09/1992 | 200,00 | 362,00 | 736,00 | 130,00 | 0,49 | 462,27 |
| 18/02/1993 | 321,00 | 671,00 | 858,00 | 137,00 | 0,78 | 280,12 |
| 18/02/1993 | 321,00 | 671,00 | 858,00 | 137,00 | 0,78 | 280,41 |
| 09/06/1993 | 197,00 | 349,00 | 541,00 | 131,00 | 0,65 | 81,28 |
| 13/10/1993 | 86,00 | 178,00 | 381,00 | 125,00 | 0,47 | 95,59 |
| 23/02/1994 | 148,00 | 272,00 | 457,00 | 129,00 | 0,59 | 339,94 |
| 26/05/1994 | 169,00 | 331,00 | 571,00 | 126,00 | 0,58 | 23,97 |
| 13/06/1994 | 148,00 | 233,00 | 449,00 | 128,00 | 0,52 | 179,92 |
| 13/06/1994 | 142,00 | 233,00 | 449,00 | 128,00 | 0,52 | 179,92 |
| 11/08/1994 | 96,00 | 231,00 | 450,00 | 126,00 | 0,52 | 10,74 |
| 13/09/1994 | 87,00 | 188,00 | 389,00 | 126,00 | 0,48 | 77,45 |
| 21/10/1994 | 79,00 | 184,00 | 414,00 | 128,00 | 0,44 | 13,78 |
| 17/12/1994 | 155,00 | 239,00 | 537,00 | 129,00 | 0,45 | 8,66 |
| 17/12/1994 | 152,00 | 239,00 | 537,00 | 129,00 | 0,45 | 138,29 |
| 08/05/1995 | 111,00 | 222,00 | 409,00 | 127,00 | 0,54 | 191,95 |
| 09/05/1995 | 118,00 | 255,00 | 490,00 | 126,00 | 0,52 | 11,03 |
| 01/08/1995 | 79,00 | 201,00 | 437,00 | 125,00 | 0,46 | 17,38 |
| 01/08/1995 | 78,00 | 201,00 | 437,00 | 125,00 | 0,46 | 17,38 |
| 12/09/1995 | 51,00 | 160,00 | 389,00 | 124,00 | 0,41 | 11,92 |
| 02/11/1995 | 322,00 | 588,00 | 753,00 | 138,50 | 0,78 | 78,51 |
| 13/12/1995 | 114,00 | 272,00 | 482,00 | 128,00 | 0,56 | 22,30 |
| 04/03/1996 | 400,00 | 850,00 | 882,00 | 141,00 | 0,96 | 165,78 |
| 04/03/1996 | 404,00 | 850,00 | 882,00 | 141,00 | 0,96 | 165,78 |
| 08/05/1996 | 228,00 | 416,00 | 628,00 | 135,00 | 0,66 | 67,04 |
| 17/07/1996 | 129,00 | 266,00 | 576,00 | 124,40 | 0,46 | 51,32 |

| Data | Cota (m) | Vazão (m³/s) | Área Molhada (m²) | Largura (m) | Velocidade Média (m/s) | Concentração Material em Suspensão |
|------------|----------|--------------|-------------------|-------------|------------------------|------------------------------------|
| 17/07/1996 | 129,00 | 266,00 | 576,00 | 124,40 | 0,46 | 51,32 |
| 31/10/1996 | 157,00 | 296,00 | 573,00 | 126,00 | 0,52 | 31,34 |
| 06/02/1997 | 363,00 | 746,00 | 831,00 | 140,00 | 0,90 | 89,80 |
| 26/05/1997 | 184,00 | 390,00 | 643,00 | 127,00 | 0,61 | 81,91 |
| 26/05/1997 | 184,00 | 390,00 | 643,00 | 127,00 | 0,61 | 81,91 |
| 06/08/1997 | 117,00 | 223,00 | 593,70 | 124,00 | 0,38 | 21,21 |
| 06/08/1997 | 117,00 | 223,00 | 593,70 | 124,00 | 0,38 | 21,21 |
| 17/08/1998 | 109,00 | 209,00 | 546,30 | 123,00 | 0,38 | 19,36 |
| 14/11/1998 | 227,00 | 415,00 | 708,40 | 128,00 | 0,59 | 75,99 |
| 14/04/1999 | 150,00 | 269,00 | 499,00 | 128,00 | 0,54 | 34,88 |
| 21/07/1999 | 110,00 | 225,00 | 478,70 | 126,00 | 0,47 | 21,34 |
| 25/05/2007 | 163,00 | 344,33 | 623,50 | 125,00 | 0,55 | 814,13 |
| 20/09/2007 | 36,00 | 169,34 | 481,60 | 122,00 | 0,37 | 7,67 |
| 13/04/2008 | 294,00 | 620,98 | 830,67 | 128,00 | 0,75 | 87,58 |
| 22/06/2008 | 134,00 | 325,96 | 634,95 | 124,00 | 0,51 | 15,56 |
| 12/07/2009 | 148,00 | 338,10 | 649,81 | 123,90 | 0,52 | 11,57 |
| 23/06/2011 | 127,00 | 282,00 | 631,00 | 122,00 | 0,45 | 10,88 |
| 29/10/2011 | 107,00 | 271,35 | 573,53 | 120,00 | 0,47 | 33,27 |
| 16/02/2012 | 245,00 | 468,41 | 784,22 | 122,00 | 0,60 | 52,90 |
| 13/04/2012 | 236,00 | 401,00 | 763,00 | 123,00 | 0,53 | 51,90 |
| 04/07/2012 | 159,00 | 342,00 | 703,00 | 120,00 | 0,49 | 15,80 |
| 29/09/2012 | 119,00 | 274,00 | 624,00 | 119,00 | 0,44 | 20,40 |
| 16/05/2013 | 110,00 | 252,00 | 632,00 | 120,00 | 0,40 | 3,73 |
| 17/08/2013 | 15,00 | 158,00 | 532,00 | 113,00 | 0,30 | 3,14 |
| 01/11/2013 | 97,00 | 180,00 | 577,00 | 114,00 | 0,31 | 4,29 |
| 14/05/2014 | 16,00 | 76,00 | 256,00 | 114,00 | 0,30 | 3,60 |
| 01/08/2014 | 120,00 | 159,00 | 575,00 | 114,00 | 0,28 | 2,90 |
| 19/03/2015 | 89,00 | 135,00 | 545,00 | 113,00 | 0,25 | 36,10 |
| 26/06/2015 | 86,00 | 186,00 | 554,00 | 114,00 | 0,34 | 3,70 |

Descarga Sólida em Suspensão (Qss)

De posse dos resultados dessas medições, foram calculadas as respectivas descargas sólidas em suspensão pela expressão:

$$Q_{ss} = 0,0864 * Q_L * C$$

Onde:

QSS – Descarga sólida em suspensão (t/dia);

QL – Vazão líquida (m³/s);

C – Concentração de sedimento em suspensão (mg/l ou ppm);

0,0864 – Coeficiente de homogeneização de unidades.

Descarga Sólida de Arrasto (Q_{nm})

Determinaram-se, também, as correspondentes descargas sólidas de arrasto e totais (QST em t/dia), pelo método simplificado de Colby (1957). Neste método utilizam-se, basicamente, três ábacos e dados de descarga líquida, velocidade média, profundidade média, largura da seção e concentração medida de sedimentos em suspensão.

A descarga sólida de arrasto é calculada conforme a seguinte expressão:

$$Q_{nm} = q'_{nm} * K * L$$

Sendo:

Q_{nm} – Descarga sólida não medida - descarga sólida de arrasto (t/dia);

q'nm – Descarga sólida não medida aproximada (t/dia/m);

L – Largura do canal na seção de medição (m);

K – Fator de correção.

Descarga Sólida Total (QST)

A descarga sólida total é calculada somando-se a descarga sólida em suspensão e a descarga sólida de arrasto, conforme a seguinte expressão:

$$Q_{ST} = Q_{ss} + Q_{nm}$$

Sendo:

QST – Descarga sólida total (t/dia);

QSS – Descarga sólida medida - descarga sólida em suspensão (t/dia);

Q_{nm} – Descarga sólida não medida - descarga sólida de arrasto (t/dia).

Curva-Chave de Sedimentos

A curva chave de sedimentos foi obtida usando a relação das áreas de drenagem e a descarga sólida total dos três locais de medição, representando, dessa forma, o comportamento da bacia, conforme apresentado na Figura 4.47.

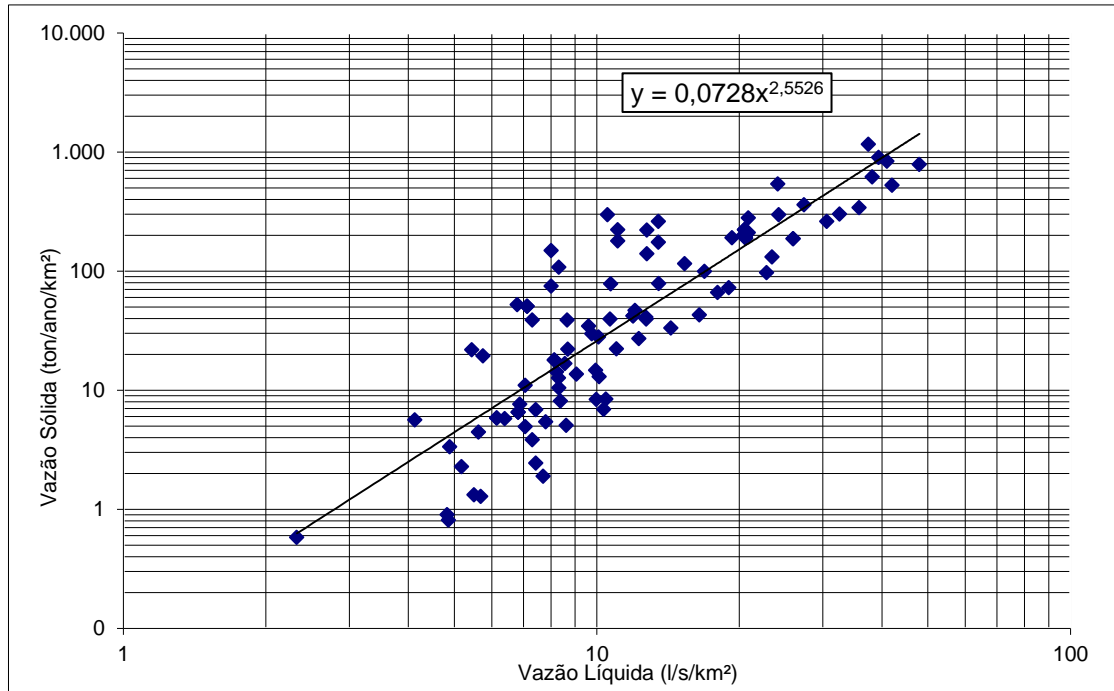


Figura 4.47 - Curva Chave de Sedimentos Totais.

Série de Descargas Sólidas Totais Médias Mensais

De posse da curva-chave, foi calculada a série de descargas sólidas totais médias mensais na UHE Itaocara I, conforme apresentado na Tabela 4.58.

A descarga sólida média foi calculada através da Curva-Chave de sedimentos, sendo que a equação encontra-se explicitada abaixo. Com este procedimento obteve-se um valor de descarga sólida média de 6.408 ton/dia e, por conseguinte, uma descarga específica de 69,44 ton/ano/km², conforme a fórmula:

$$Q_{sólida} = 0,0728 * Q_{líquida}^{2,5526}$$

Onde:

$Q_{sólida}$ – Descarga sólida (ton/ano/km²);

$Q_{líquida}$ – Descarga líquida (l/s/km²).

Tabela 4.58 - Descarga Sólida Média Mensal.

| Parâmetros | Posto 1 | UHE Itaocara I |
|------------------------|-----------|----------------|
| Área de Drenagem (km²) | 32.700 | 33.680 |
| Q_{MLT} (m³/s) | 481 | 506 |
| Q_{MLT} (l/s/km²) | 14,7 | 14,7 |
| QS (ton/ano/km²) | 69,44 | 69,44 |
| QS (ton/dia) | 6.221 | 6.408 |
| DST (ton/ano) | 2.270.693 | 2.338.744 |

Eficiência de Retenção

Um reservatório, devido à queda de velocidade da corrente de água, constitui-se em um eficiente elemento de retenção de sedimentos transportados pelo curso d'água, sendo que a capacidade de retenção deste reservatório pode ser determinada, conforme metodologia abaixo indicada.

Nesse estudo foi utilizada a Curva de Brune (Figura 4.48) para determinação da eficiência de retenção. Esta curva apresenta no eixo das ordenadas a Capacidade de Afluência (razão entre a Capacidade do Reservatório e a Vazão Média Anual) e, no eixo das abscissas, apresenta o Sedimento Retido no reservatório.

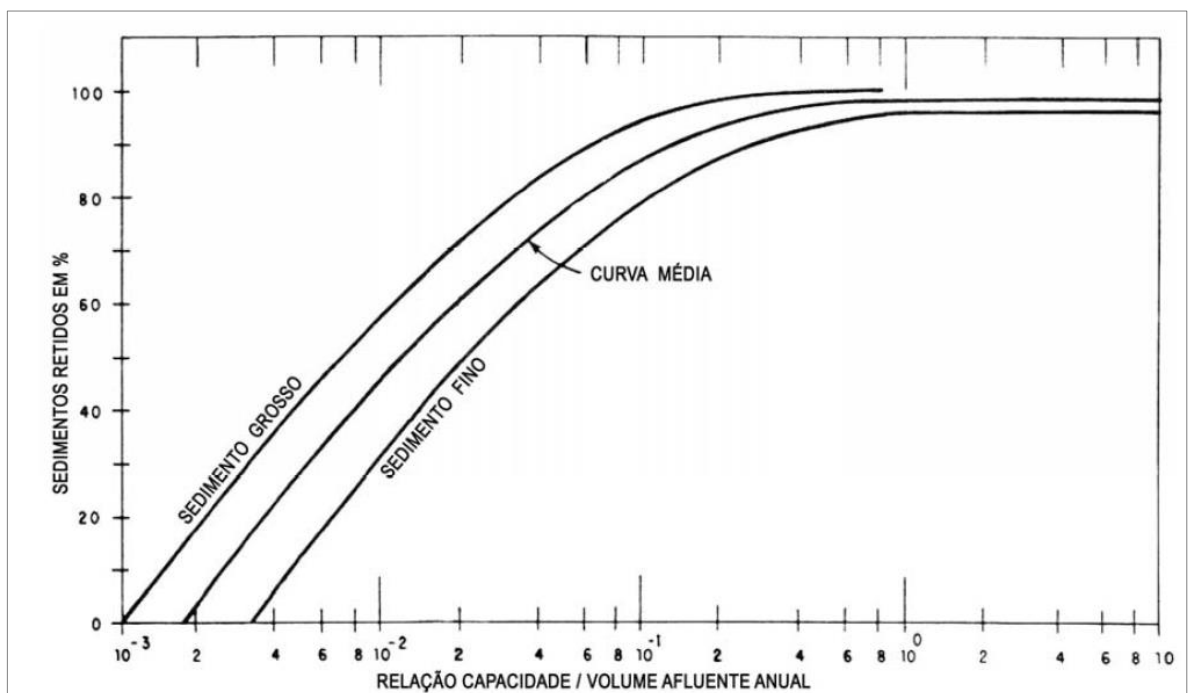


Figura 4.48 - Curva de Brune.

Para o estudo em questão, seguindo-se a metodologia supracitada, obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 4.59.

Tabela 4.59 - Eficiência de Retenção.

| Parâmetro | Valor |
|---|--------------|
| Volume do Reservatório (m ³) | 4,13E+08 |
| Vazão Média Diária (m ³ /s) | 506 |
| Volume Afluente Médio Anual (m ³ /ano) | 1,56E+10 |
| Capacidade de Afluência | 2,64E-02 |
| E _r (%) | 60 |

Cálculo do Tempo de Assoreamento de Volumes Característicos

Para cada ano espera-se um determinado depósito de sedimento no reservatório, sendo que este parâmetro pode ser calculado segundo a seguinte expressão:

$$T = \frac{V}{S} = \frac{V * \gamma_{ap}}{Dst * Er}$$

Onde:

V – Volume do reservatório (m³);

S – Volume anual de sedimento retido (m³/ano);

γ_{ap} – Peso específico aparente (t/m³);

Dst – Deflúvio sólido médio (ton/ano);

Er – Eficiência de retenção.

A Tabela 4.60 apresenta os parâmetros fixos e a Tabela 4.61 o cálculo do tempo de assoreamento do reservatório.

Tabela 4.60 - Parâmetros Fixos.

| Parâmetros Fixos | Valor |
|--|-----------|
| Dst (ton/ano) | 2.338.744 |
| Eficiência de Retenção (%) | 0,6 |
| Volume Anual de Sedimento Retido (m ³ /ano) | 1.403.246 |

Tabela 4.61 - Tempo de Assoreamento.

| Cota | Volume do Reservatório (m ³) | γ_{ap} Médio (t/m ³) | Tempo de Assoreamento (anos) |
|------|--|---|------------------------------|
| 60,0 | 0 | 1,3 | 0 |
| 65,0 | 2.460.000 | 1,3 | 2 |
| 70,0 | 16.980.000 | 1,3 | 16 |
| 75,0 | 62.864.286 | 1,3 | 58 |
| 80,0 | 131.500.000 | 1,3 | 122 |
| 85,0 | 252.830.000 | 1,3 | 234 |
| 89,6 | 412.762.000 | 1,3 | 382 |
| 90,9 | 467.651.000 | 1,3 | 433 |

Assim, conclui-se que o tempo necessário para o assoreamento total do reservatório, na elevação referente ao nível máximo normal (El. 89,60 m), é de 382 anos.

4.2.5.5 Tempo de Residência

O tempo de residência é um parâmetro importante em estudos de qualidade de água, definido como o intervalo de tempo que uma determinada massa de água permanece no reservatório desde a sua chegada até a sua saída. Pode ser entendido como o tempo necessário para esvaziar um reservatório, cessando-se todas as vazões de entrada e cuja vazão defluente é igual à vazão afluyente suprimida (Nogueira, 1991), ou simplesmente a razão do volume do reservatório pela vazão média afluyente.

O tempo de residência foi obtido pela relação entre o volume para o N.A. normal e a vazão média de longo período. Para a UHE Itaocara I, o volume para o N.A. normal é de 412,76 hm³ e a vazão média de longo período artificial de 506 m³/s. O tempo de residência resultante é de aproximadamente 10 dias.

4.2.5.6 Tempo de Enchimento

Neste estudo considerou-se uma vazão remanescente no rio, a jusante do barramento, igual a 75 m³/s (50 % da Q_{7,10}).

A partir do volume conhecido, obtido em função do nível máximo normal (cota 89,6 m) e de valores de vazões afluentes artificiais, foram calculados os tempos necessários para encher este volume.

Os valores calculados, em dias, para enchimento do reservatório em função da curva de permanência são apresentados na Figura 4.49.

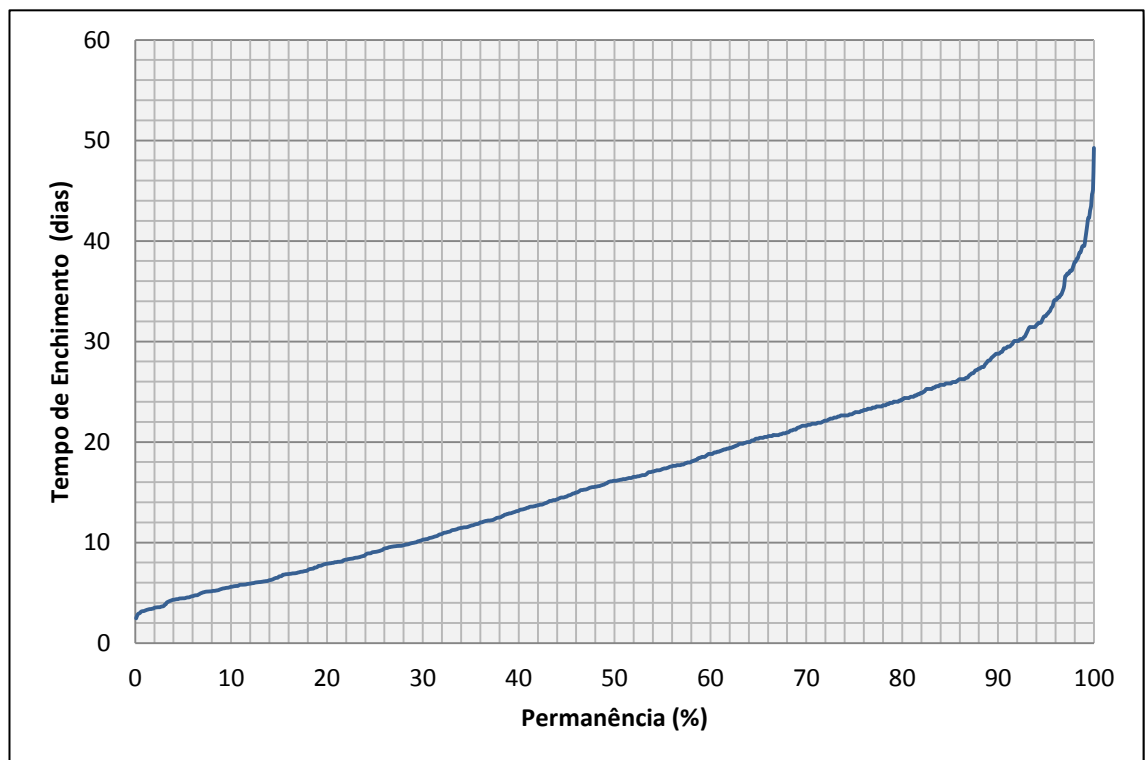


Figura 4.49 - Tempo de Enchimento do Reservatório em Função da Permanência de Vazões.

Um segundo estudo considera a sazonalidade das vazões em diversas hipóteses críticas. O mesmo valor de vazão remanescente no rio a jusante do barramento supracitado foi utilizado. Considerou-se o enchimento até a cota correspondente ao nível máximo normal.

Considerou-se, em uma primeira hipótese, que a vazão afluente no reservatório é igual à vazão média mensal de cada mês, considerando o período de dados de janeiro de 1931 a dezembro de 2014. Os resultados são mostrados na Tabela 4.62.

Tabela 4.62 – Tempo de Enchimento para Vazão Média Mensal.

| Mês | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| Tempo de Enchimento (dias) | 6,1 | 6,0 | 6,4 | 9,8 | 15,2 | 18,3 | 21,9 | 25,5 | 25,1 | 21,7 | 15,4 | 9,3 |

Em uma segunda hipótese, considerando o mesmo período, obteve-se o tempo de enchimento para vazão com 95% de permanência mensal, que são apresentados na tabela 4.63.

Tabela 4.63 – Tempo de Enchimento para Vazão com 95% de Permanência.

| Mês | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Tempo de Enchimento (dias) | 15,2 | 16,5 | 14,2 | 17,5 | 23,4 | 29,6 | 32,9 | 39,4 | 39,4 | 37,8 | 26,2 | 19,6 |

Foram calculados os tempos de enchimento de todos os anos no período de dados e geradas as envoltórias de mínimo, médio e máximo tempo de enchimento, como apresentado na Figura 4.50.

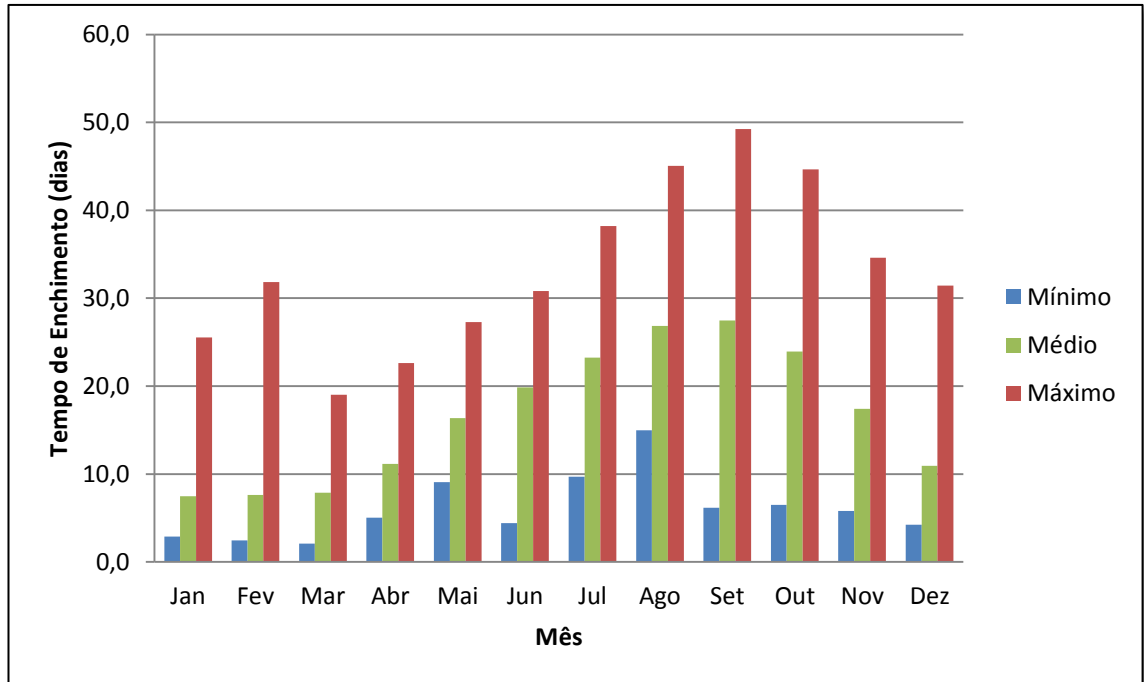


Figura 4.50 - Envoltória Máxima, Média e Mínima de Tempo de Enchimento.

4.3 GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

Neste capítulo serão apresentadas as características de natureza geológica e geotécnica compiladas durante a fase de estudos do Projeto Básico da UHE Itaocara I, prevista para ser implantada no rio Paraíba do Sul, município de Itaocara, nordeste do estado do Rio de Janeiro.

Compreende os serviços de escritório, como compilação bibliográfica e análise de fotografias, e trabalhos de campo, dentre os quais se inserem o mapeamento e levantamento das características geológicas e geotécnicas dos materiais rochosos, do manto de cobertura e dos possíveis materiais naturais de construção.

Os estudos geológicos nesta etapa abrangeram, ainda, a interpretação da campanha de investigações geológico-geotécnicas através de sondagens mecânicas, cujos resultados são apresentados no item 4.3.2.2 e nas seções geológicas, documentos 1530-IT-B-DE-G28-0005 a 0013.

Inicialmente, apresentam-se as características geomorfológicas e geológicas de âmbito regional, seguidas pelas descrições de mesma natureza pertinentes aos locais de implantação das estruturas que compõem o aproveitamento.

As informações básicas de geologia disponíveis no início deste estudo provêm dos trabalhos de cunho regional realizados principalmente pelos órgãos federais de pesquisa, contidos nas Referências Bibliográficas.



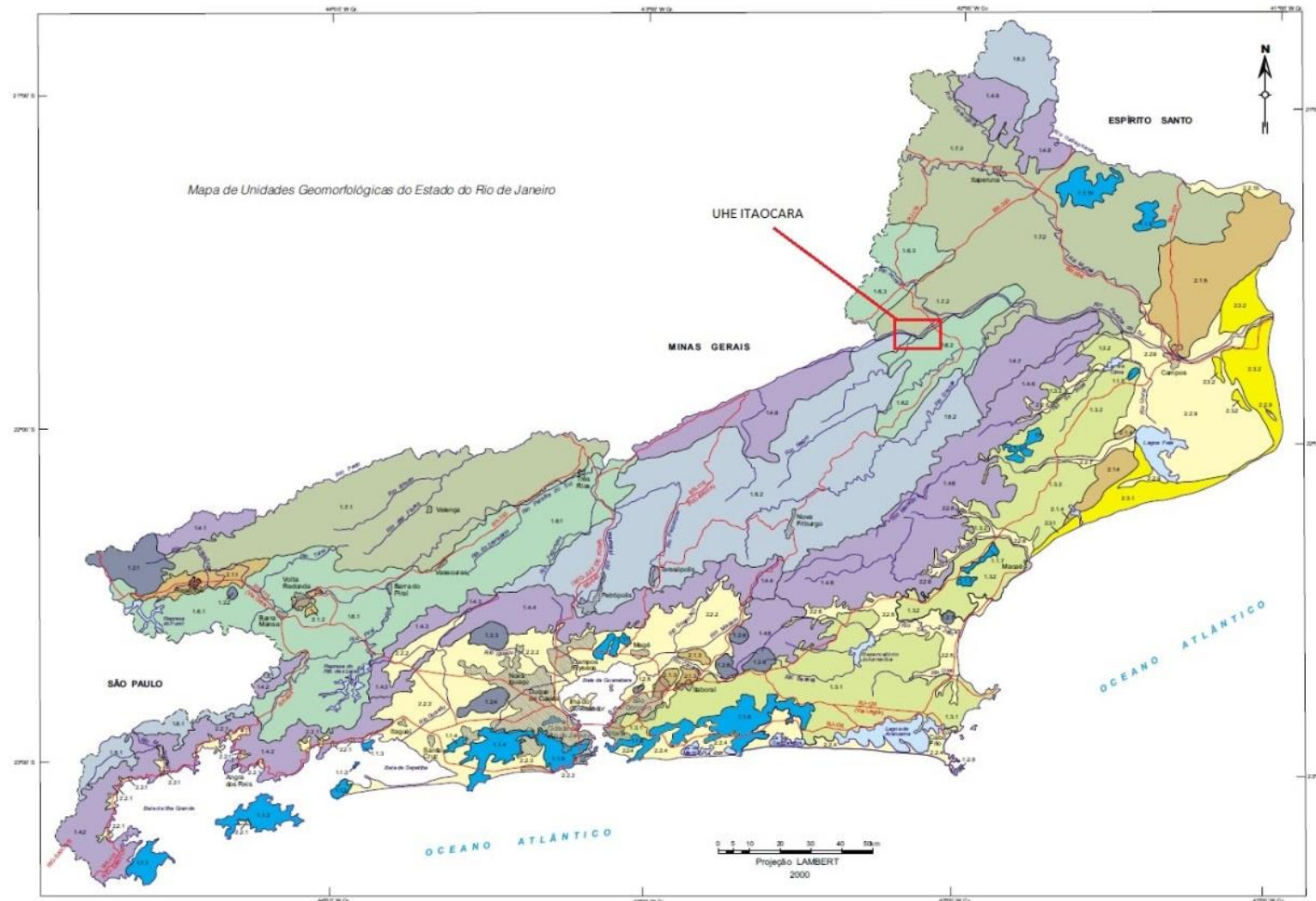
UHE ITAOCARA I

4.3.1 Aspectos Geomorfológicos e Geológicos Regionais

4.3.1.1 Geomorfologia Regional

A base do estudo geomorfológico foi feita a partir do Mapa de Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio de Janeiro (CPRM, 2000), mostrado na Figura 4.50.

UHE ITAOCARA I



LEGENDA

DOMÍNIOS MORFOESTRUTURAIS

1- CINTURÃO OROGÊNICO DO ATLÂNTICO

DOMÍNIOS MORFOESCULTURAIS

- 1.1 - MACIÇOS COSTEIROS E INTERIORES
 - 1.1.1 - Maciço da Juatinga
 - 1.1.2 - Maciço da Ilha Grande
 - 1.1.3 - Maciços das ilhas da Marambaia, Jaguanum e Itacuruçá
 - 1.1.4 - Maciço da Pedra Branca
 - 1.1.5 - Maciço da Tijuca
 - 1.1.6 - Maciços da Região dos Lagos
 - 1.1.7 - Maciços de Macaé
 - 1.1.8 - Maciço de Itaoca
 - 1.1.9 - Maciços do Morro do Coco
 - 1.1.10 - Maciço de Bom Jesus de Itabapoana
- 1.2 - MACIÇOS ALCALINOS INTRUSIVOS
 - 1.2.1 - Maciço de Itatiaia
 - 1.2.2 - Morro Redondo
 - 1.2.3 - Maciço do Tinguá
 - 1.2.4 - Maciço do Mendanha
 - 1.2.5 - Maciço de Itaúna
 - 1.2.6 - Maciços de Tanguá e Rio Bonito
 - 1.2.7 - Morro de São João
 - 1.2.8 - Ilha de Cabo Frio
- 1.3 - SUPERFÍCIES APLAINADAS NAS BAIXADAS LITORÂNEAS
 - 1.3.1 - Superfície Aplainada da Região dos Lagos
 - 1.3.2 - Superfície Aplainada do Litoral Leste Fluminense
- 1.4 - ESCARPAS SERRANAS
 - 1.4.1 - Escarpa da Serra da Mantiqueira
 - 1.4.2 - Escarpa das serras da Bocaina, Mangaratiba e Mazomba
 - 1.4.3 - Escarpa das serras das Araras e Paracambi
 - 1.4.4 - Escarpa das serras do Couto e dos Órgãos
 - 1.4.5 - Espigão das serras de Santana e Botija
 - 1.4.6 - Escarpa das serras de Macaé, Macabu e Imbé
 - 1.4.7 - Escarpa Reserva da Serra do Desengano
 - 1.4.8 - Escarpa do Planalto de Varre-Sai
 - 1.4.9 - Escarpa Reserva do Planalto da Região Serrana

- 1.5 - PLANALTOS RESIDUAIS
 - 1.5.1 - Planalto da Bocaina
 - 1.5.2 - Planalto do Reverso da Serra dos Órgãos
 - 1.5.3 - Planalto de Varre-Sai
- 1.6 - DEPRESSÕES INTERPLANÁLTICAS
 - 1.6.1 - Depressão do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul
 - 1.6.2 - Depressão do Vale do Rio Negro
 - 1.6.3 - Depressão do Vale do Rio Pomba
- 1.7 - DEPRESSÕES INTERPLANÁLTICAS COM ALINHAMENTOS SERRANOS ESCALONADOS
 - 1.7.1 - Depressão com Serras Alinhadas do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul
 - 1.7.2 - Depressão com Serras Alinhadas do Norte-Noroeste Fluminense

2- BACIAS SEDIMENTARES CENOZÓICAS

DOMÍNIOS MORFOESCULTURAIS

- 2.3 - TABULEIROS DE BACIAS SEDIMENTARES EO-CENOZÓICAS
 - 2.1.1 - Bacia de Resende
 - 2.1.2 - Bacia de Volta Redonda
 - 2.1.3 - Bacia de Macacu
 - 2.1.4 - Tabuleiros de Quissamã
 - 2.1.5 - Tabuleiros de São Francisco de Itabapoana
- 2.2 - PLANÍCIES FLÚVIO-MARINHAS (BAIXADAS)
 - 2.2.1 - Baixadas da Baía da Ilha Grande
 - 2.2.2 - Baixadas da Baía de Guanabara, Sepetiba e Restinga da Marambaia
 - 2.2.3 - Baixada de Jacarepaguá
 - 2.2.4 - Baixadas da Região dos Lagos
 - 2.2.5 - Baixada do Rio São João
 - 2.2.6 - Baixada do Rio Macaé
 - 2.2.7 - Baixada do Rio Macabu
 - 2.2.8 - Baixada do Rio Imbé
 - 2.2.9 - Baixada Campista
 - 2.2.10 - Baixada do Rio Itabapoana
- 2.3 - PLANÍCIES COSTEIRAS
 - 2.3.1 - Feixes de Cordões Arenosos de Jurubatiba
 - 2.3.2 - Feixes de Cordões Arenosos do Rio Paraíba do Sul

Figura 4.50 - Mapa de Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio de Janeiro (CPRM - 2000).

A área de implantação da UHE Itaocara I está situada em um limite entre três unidades geomorfológicas: Planalto do Reverso da Serra dos Órgãos, a Oeste, Depressão do Vale do Rio Negro, a Sul e Leste, e Depressão com Serras Alinhadas do Norte-Noroeste Fluminense, a Norte do local de implantação do empreendimento. O núcleo urbano de Itaocara situa-se na Unidade Depressão do Vale do Rio Negro.

O Planalto do Reverso da Serra dos Órgãos é uma das unidades mais importantes do Estado do Rio de Janeiro e abrange extensa área do estado. Situa-se no reverso da Serra do Mar, entre as serras de Miguel Pereira e do Couto, a Oeste, e a serra do Desengano, a Leste. Prolonga-se, a Norte, até a escarpa reversa do planalto da Região Serrana. Do Sul para o Norte observa-se uma gradativa redução das amplitudes de relevo, subdividindo-se em três unidades, em direção ao Vale do Paraíba: uma escarpa reversa logo após a linha de cumeada da escarpa da Serra do Mar; um domínio montanhoso que se estende a Norte por uma vasta área do planalto e um domínio de morros elevados, que, gradualmente, substitui o relevo acidentado de vertentes íngremes e rochosas do domínio montanhoso por um relevo de amplitudes de relevo menores e vertentes menos declivosas.

A Depressão do Vale do Rio Negro consiste em uma zona de transição entre os terrenos de morros elevados e montanhosos do planalto reverso da Região Serrana e as colinas baixas junto à calha do rio Paraíba do Sul. Trata-se de uma faixa alongada colinosa, com topografia uniforme e topos nivelados de baixa amplitude de relevo, em cotas decrescentes que variam de 350 m para 150 m de altitude em direção ao rio Paraíba do Sul, próximo à localidade de Cambuci, junto à foz do rio Dois Rios. Nesse relevo, o rio Paraíba do Sul ocorre encaixado num vale estrutural, marcado por corredeiras e afloramentos rochosos no seu leito, seguindo uma direção WSW-ENE, desviado por cotovelos de 90°.

Destaca-se um conjunto alinhado de elevações modestas, que se estende por mais de 20 km numa nítida direção estrutural SW-NE, caracterizado por morrotes e morros baixos. Esse alinhamento, denominado Serra Vermelha ou do Portela, apresenta vertentes mais declivosas e topos arredondados a aguçados, situando-se entre as localidades de Estrada Nova e Cambuci. Sustenta altitudes entre 250 m e 350 m, elevando-se a mais de 100 m do relevo colinoso circundante. Está condicionado, aparentemente, por rochas subverticalizadas de zona de cisalhamento, mais resistentes à erosão.

Por fim, a Depressão com Serras Alinhadas do Norte-Noroeste Fluminense consiste numa extensa zona colinosa intercalada com alinhamentos serranos escalonados de direção predominante WSW-ENE. Essas serras mantêm semelhança morfológica e estrutural com os alinhamentos de cristas identificados no médio vale do rio Paraíba do Sul. Nessa unidade o relevo homogêneo de colinas, morrotes e morros baixos alterna-se bruscamente com alinhamentos serranos bastante elevados. É marcante o controle dos lineamentos de direção WSW-ENE, tanto sobre a rede de drenagem tributária aos canais principais, quanto no alinhamento das cristas serranas.

4.3.1.2 Geologia Regional

A - Contexto Geotectônico

O Estado do Rio de Janeiro pode ser compartimentado em duas unidades morforestruturais: o Cinturão Orogênico do Atlântico e as Bacias Sedimentares

Cenozóicas. A UHE Itaocara I se encontra no contexto do Cinturão Orogênico, o qual compreende um conjunto diversificado de rochas metamórficas e ígneas de idade pré-cambriana a eopaleozóica, que foram submetidas a diferentes ciclos orogênicos (Heilbron et al., 1995).

Após um longo período de estabilidade tectônica no Paleozóico e início do Mesozóico, esses terrenos sofreram uma tectônica extensional, que prolongou-se pelo Terciário, gerando falhamentos normais, produzindo os maciços costeiros e escarpas serranas, tais como as serra do Mar e da Mantiqueira.

Zonas planálticas foram sustentadas a partir do soerguimento de blocos, consequência dessa tectônica, tais como os planaltos da Bocaina e de Varre-Sai. Depressões interplanálticas também se destacam, tal como o médio vale do rio Paraíba do Sul, sendo zonas com áreas deprimidas apresentando uma série de alinhamentos serranos, comportando como degraus escalonados por condicionantes litológicos e estruturais (Coelho Netto et al., 1997).

Um evento de magmatismo alcalino, associado a abertura do Atlântico, culminou na geração de maciços intrusivos com estruturas dômicas, os quais ocorrem ao longo do Estado do Rio de Janeiro, em um alinhamento que se estende da ilha de Cabo Frio a Poços de Caldas (Almeida, 1992).

B - Geologia Estrutural

A principal feição estrutural observada na região são lineamentos de direção

NE-SW, onde estão encaixadas as drenagens mais importantes, tal como a do rio Paraíba do Sul.

Essa feição está conectada a uma importante estrutura conhecida como Lineamento de Além Paraíba (Almeida, Hasui e Carneiro, 1975), ou ainda, Zona de Cisalhamento do Rio Paraíba do Sul (Dayan e Keller, 1990). Trata-se de um lineamento estrutural que se destaca na paisagem da depressão topográfica do rio Paraíba do Sul, entre Volta Redonda e Itaocara. Possui cerca de 260 km de extensão e até 10 km de largura, com gnaisses milonitizados e extremamente recristalizados, com direção principal ENE.

É ainda interpretada como uma megazona de cisalhamento, com movimentação transcorrente dextral de rejeito desconhecido, com existência de esforços compressivos para a deformação (Campanha, 1981).

Considerando-a como uma zona de cisalhamento, é possível reconhecer que, na medida em que se aproxima da zona de cisalhamento central, a foliação gnáissica torna-se mais finamente espaçada e é acompanhada por uma progressiva verticalização da atitude do bandamento metamórfico (Dayan e Keller, 1990).

Há ainda a existência de rochas de diferentes graus de deformação, onde a foliação milonítica bordeja lentes de rochas relativamente menos deformadas, formando um padrão anastomótico, com eixos maiores em extremo paralelismo com o rio Paraíba do Sul (Correa Neto et al., 1993).

C - Litoestratigrafia

A caracterização litoestratigráfica regional foi feita a partir do Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro, escala 1:500.000, elaborado pelo Departamento de Geologia da CPRM.

A região de implantação do empreendimento é constituída por depósitos cenozoicos colúvio-aluvionares e rochas cristalinas de idade proterozóica, principalmente gnaisses, granitos e granitóides. A distribuição litológica se dá em camadas com contatos aproximadamente paralelos ao curso do rio Paraíba do Sul, principalmente em falhas de empurrão, normais e transcorrentes, comuns à região.

O detalhamento litoestratigráfico contempla rochas do meso ao neoproterozóico, cujas unidades são descritas a seguir da base para o topo. O documento

1530-IT-B-DE-G28-0003 apresenta a geologia regional citada.

- Unidade Itaperuna Paragranulitos (MNpit)

Esta Unidade está em contato, tanto a NW como para SE com as rochas do Complexo Paraíba do Sul e é a Unidade em que está inserida a área de implantação do empreendimento. É caracterizada por gnaiss quartzo-feldspático alumino a granada-biotita-silimanita com e sem ortopiroxênio e eventualmente com intercalações de gnaiss calcissilicático. Apresenta ainda frequente fusão parcial in situ com neossoma a granada e ortopiroxênio.

- Unidade Italva (MNpi)

Aflora a SE do local de implantação do empreendimento sendo caracterizada por metacalcários dolomíticos e calcíticos, maciços a sacaroidais, mármores de granulação grossa, intercalado com granada-biotita-silimanita gnaiss quartzo-feldspático e quartzo-anfibólio-clinopiroxênio gnaisses.

- Complexo Paraíba do Sul (MNps)

Ocorre, longitudinalmente, em contato com a Unidade Itaperuna a NW e SE e é representada pela Unidade São Fidélis com granada-biotita-silimanita gnaiss quartzo-feldspático (metagrauvaca), com bolsões e veios anatéticos in situ ou injetados de composição granítica. Intercalações de gnaiss calcissilicático e quartzito são frequentes, assim como horizontes de xistos grafitosos. Variedades com cordierita e silimanita (kinzigito) com contatos transicionais como granada-biotita gnaiss também estão presentes. Rocha calcissilicática, metacarbonática e quartzito podem ocorrer em forma de lentes neste Complexo.

- Granitóides Pré a Sincolisionais Precoces

Aflorantes apenas na porção SW e pontualmente em relação a locação da futura barragem, representadas pela Unidade Duas Barras e Leucogranito gnaiss da Serra do Paquequer.

- Unidade Duas Barras (Ny1rd)

Caracterizada por uma fácies homogênea, foliada de composição tonalítica, intrudida por veios e bolsões de leucogranito tipo-S.

- Leucogranito gnaiss da Serra do Paquequer (Ny1p)

Ocorre como muscovita-biotita leucogranito, silimanita-granada-biotita granito tipo-S de granulação grossa, com forte foliação tangencial e rico em restos de paragneiss.

- Granitóides Tardi-colisionais (Transcorrentes)

Compõe o restante e maior parte das rochas presentes regionalmente, estão por vezes dispersas por toda área ou seguido a tendência de camadas alinhadas para NE, tanto a NW como a SE do local do empreendimento.

- Suíte Desengano (Ny2d)

Granito tipo-S com granada, muscovita e biotita de granulação grossa, textura granoblástica e porfirítica com forte foliação transcorrente. Localmente ocorrem domínios e “manchas” charnockíticas portadoras de granada e ortopiroxênio. É frequente a ocorrência de migmatitos de injeção.

- Suíte Rio de Janeiro (Ny2rd)

Dividido em Granito Corcovado, Granito Pão de Açúcar e Leucogranito gnáissico Cosme Velho. O Granito Corcovado do tipo-S com granada muscovita e biotita de textura megaporfirítica. O Granito Pão de Açúcar é de fácies metaluminosa do Granito Corcovado com hornblenda e biotita como minerais acessórios. Por fim, o Leucogranito gnáissico Cosme Velho é do tipo-S com muscovita, granada e biotita, de granulação média, textura granoblástica e forte foliação tangencial, comumente com xenólitos e restos de paragneisses.

- Suíte Bela Joana (Ny2b)

Granito do tipo-C, granada-hornblenda-clinopiroxênio-ortopiroxênio charnockito de granulação grossa, textura magmática equigranular a porfirítica preservada.

- Suíte Angelim (Ny2a)

Granada-hornblenda-biotita tonalito a granito com textura porfirítica e forte foliação transcorrente.

- Suíte Serra das Araras (Ny3a)

Caracterizada por granada granito a duas micas tipo-S com granulação grossa, equigranular a porfirítico, com foliação transcorrente, rico em enclaves de paragneisse.

- Suíte Santo Antônio de Pádua (Ny3sa)

Sienogranito tipo-I, extremamente deformado em zona de cisalhamento transcorrente de alto strain, com textura ultramilonítica.

- Depósito Colúvio-Aluvionar

Depósitos fluviais e flúvio-marinhos areno-siltico-argilosos com camadas de cascalheiras associados a depósito de tálus, e sedimentos lacustrinos e de manguezais retrabalhado.

4.3.1.3 *Análise de Riscos de Sismos*

O Brasil, por estar situado em uma região estável no interior de uma placa tectônica, apresenta uma sismicidade bem inferior à observada na borda das placas, com presença de tremores menos intensos e relativamente mais suaves.

Eventos sísmicos no país estão relacionados a descontinuidades ou falhas geológicas, bem como reflexos de sismos com epicentro em outros países da América Latina.

Além dos sismos naturais de origem tectônica, existem também abalos associados à atividade antrópica que podem culminar em acomodações de camadas em subsuperfície, geralmente localizados e de pequena intensidade, conhecidos como sismos induzidos.

Sabe-se que o enchimento de grandes reservatórios pode desencadear estes abalos. Entretanto, deve-se destacar que não há registro de sismo induzido com intensidade maior que grau IV (segundo a Escala de Mercalli) em reservatórios de usinas hidrelétricas brasileiras. Assim, assume-se que é baixo o risco de ocorrência de sismos induzidos pelo enchimento do reservatório do empreendimento em questão.

4.3.1.4 Recursos Minerais

Na região de implantação do empreendimento são encontrados diversos requerimentos e autorização de pesquisa além de licenciamentos e requerimentos de lavra, de acordo com acesso ao SIGMINE do DNPM em 13 de Outubro de 2015, Figura 4.51.

Os principais materiais de interesse são areia e argila para construção civil e uso industrial, gnaiss, granito, mármore e calcário para revestimentos e uso industrial. Há autorização de pesquisa em área a sudoeste do eixo da barragem para saibro para uso na construção civil.

Ocorre também, ao longo do rio Paraíba do Sul área em fase de disponibilidade para minério de ouro.

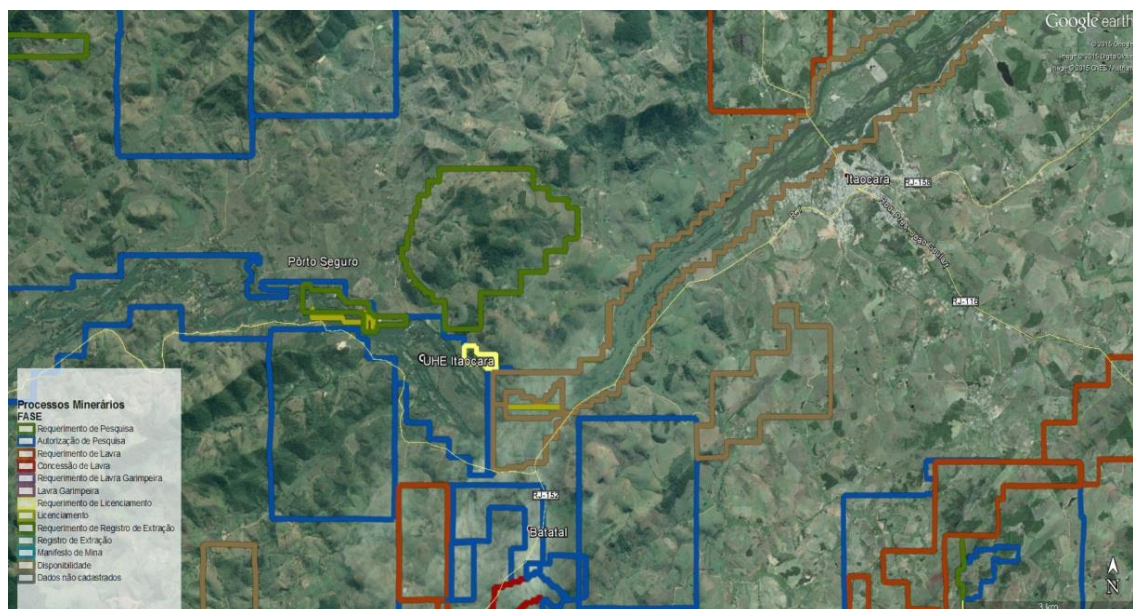


Figura 4.51 – Processos Minerários da Região Próxima a UHE Itaocara (SIGMINE, DNPM – 13 de Outubro de 2015).

4.3.2 Aspectos Geológico-Geotécnicos do Local do Aproveitamento

Nesse item apresentam-se os dados obtidos nos levantamentos geológico-geotécnicos na etapa do Projeto Básico da UHE Itaocara I.

As características geológicas e condicionantes geotécnicos aqui apresentados foram fundamentadas em mapeamento de superfície e nos resultados de investigações de subsuperfície.

4.3.2.1 Mapeamento Geológico-Geotécnico de Superfície

Realizou-se o mapeamento geológico-geotécnico de superfície abrangendo o entorno da área de implantação das estruturas da UHE Itaocara I.

Junto ao levantamento local foram compilados e correlacionados os aspectos da geologia e geomorfologia regional. No documento 1530-IT-B-DE-G28-0004, exibe-se o mapa geológico local, com os principais dados litológicos e estruturais observados.

O mapeamento geológico-geotécnico foi realizado durante visita ao local do empreendimento. A visita objetivou o reconhecimento da área de implantação da usina, bem como a análise dos testemunhos das sondagens realizadas.

A rocha predominante na região de instalação da UHE Itaocara I faz parte da Unidade Itaperuna Paragranulitos, conforme descrito no item de geologia regional. Trata-se de um gnaiss migmatítico, de coloração cinza claro a cinza escuro, de granulação fina a média (Figura 4.52).



Figura 4.52 - Aspecto Geral do Gnaiss Aflorante no Leito do Rio na Área de Implantação do Empreendimento.

Os afloramentos rochosos ocorrem próximo às margens e ao longo do rio Paraíba do Sul, formando travessões, ilhotas e escarpas no alto das encostas (Figura 4.53).



Figura 4.53 - Afloramentos de Gnaiss e Blocos Residuais no Leito e Margens do Rio Paraíba do Sul, Próximo à Região de Implantação das Estruturas de Concreto da UHE Itaocara I.

Horizontes de solo residual do gnaiss, solo coluvionar e aluvião sobrepõem a rocha gnáissica.

As coberturas de solo residual e coluvionar aparecem recobrando o maciço rochoso nas margens direita e esquerda do empreendimento e na ilha Serena. Já os depósitos aluviais, ocorrem ao longo do leito e planícies do rio Paraíba do Sul. Um horizonte de saprolito, embora não aflorante, ocorre também na margem esquerda, conforme demonstrado pelas investigações realizadas (SM-116, por exemplo).

No eixo do barramento, a maior cobertura de solos ocorre nas ombreiras, na região de coroamento da barragem, sendo que a margem esquerda apresenta a maior espessura.

4.3.2.2 Investigações Geológico-Geotécnicas

4.3.2.2.1 Sondagens

Foram realizadas três campanhas de sondagens, abrangendo a execução de sondagens rotativas, a percussão, mistas, a trado e poços de inspeção. Aliado a essas investigações, foram realizados ensaios de resistência à penetração (SPT), ensaios de infiltração em solos (EI) e ensaios de perda d'água sob pressão em rocha (EPA).

As sondagens foram programadas de modo a orientar os diferentes arranjos gerais estudados para o aproveitamento. Para isso, foram locadas ao longo dos eixos principais de forma a permitir a orientação e posicionamento das estruturas da usina, além de auxiliar no conhecimento das características geológicas e condicionantes geotécnicos de suas fundações.

Primeira campanha de sondagens (2001)

A primeira campanha de sondagens foi executada em 2001 e suas caixas de testemunhos foram adequadamente armazenadas, permitindo que fosse elaborada uma nova descrição em abril de 2010 com elaboração de novos perfis individuais de sondagens, a partir da recuperação das informações e registros das caixas de testemunhos armazenadas.

Nessa campanha foram executadas 15 sondagens rotativas, 5 sondagens mistas e 2 poços de inspeção.

Foram realizados ensaios de infiltração, perda d'água sob pressão e de resistência à penetração. Ressalta-se, entretanto, que não foi possível resgatar as informações desses ensaios nessa etapa de projeto.

A Tabela 4.64 apresenta o resumo do quantitativo por furo das sondagens executadas:

Tabela 4.64 - Quadro Resumo da Primeira Campanha de Investigações (2001).

| Sondagens | Local | Coordenadas UTM (m) | | Cota de Topo (m) | Profundidade Perfurada (m) | | |
|-----------|--------------------------|---------------------|------------|------------------|----------------------------|---------------|---------------|
| | | N | E | | Solo | Rocha | Total |
| SM-01 | Barragem M.E | 7.598.496,00 | 795.400,00 | 66,22 | 4,06 | 3,94 | 8,00 |
| SM-02 | Barragem M.E | 7.598.612,98 | 795.410,86 | 80,38 | 12,88 | 4,12 | 17,00 |
| SM-03 | Barragem M.E | 7.598.540,07 | 795.462,05 | 78,33 | 12,92 | 4,20 | 17,12 |
| SM-04 | Acesso | 7.598.460,00 | 795.520,00 | 87,92 | 11,07 | 5,47 | 16,54 |
| SM-05 | Ombreira M.E | 7.598.568,00 | 795.527,00 | 114,63 | 22,59 | 5,56 | 28,15 |
| SR-01 | Ombreira DIR. | 7.597.930,31 | 794.324,88 | 89,10 | 20,14 | 11,26 | 31,40 |
| SR-02 | Ombreira DIR. | 7.597.804,59 | 794.377,24 | 137,02 | 12,48 | 6,20 | 18,68 |
| SR-03 | Ombreira DIR. | 7.597.758,05 | 794.491,81 | 107,40 | 0,46 | 7,07 | 7,53 |
| SR-04 | Ombreira M.D | 7.597.733,95 | 794.574,76 | 75,74 | 8,14 | 6,86 | 15,00 |
| SR-05 | Ombreira M.D | 7.597.821,90 | 794.471,05 | 120,93 | 2,34 | 10,66 | 13,00 |
| SR-06 | Barragem Leito | 7.597.867,98 | 794.529,06 | 79,56 | 0,70 | 10,40 | 11,10 |
| SR-07 | Barragem Leito | 7.597.888,07 | 794.599,69 | 63,83 | 0,00 | 7,05 | 7,05 |
| SR-08 | Ombreira M.D | 7.597.796,10 | 794.532,64 | 91,56 | 1,33 | 6,72 | 8,05 |
| SR-09 | Barragem Leito | 7.597.860,00 | 794.603,00 | 63,50 | 0,00 | 6,38 | 6,38 |
| SR-10 | Barragem Leito | 7.598.089,98 | 794.840,02 | 66,77 | 3,37 | 7,13 | 10,50 |
| SR-11 | Barragem Leito | 7.598.240,83 | 794.910,40 | 71,85 | 6,45 | 7,10 | 13,55 |
| SR-12 | Barragem Leito | 7.598.175,00 | 794.956,02 | 76,27 | 6,00 | 7,04 | 13,04 |
| SR-13 | Barragem Jusante | 7.598.114,97 | 795.000,04 | 67,05 | 7,78 | 7,06 | 14,84 |
| SR-14 | Barragem Leito | 7.598.279,98 | 795.104,01 | 63,08 | 2,30 | 7,00 | 9,30 |
| SR-15 | Canal de Fuga | 7.598.418,04 | 795.297,96 | 66,39 | 3,55 | 7,35 | 10,90 |
| PI-1 | Barragem de Terra - Ilha | 7.598.180,00 | 794.966,00 | 73,20 | 3,40 | 0,00 | 3,40 |
| PI-2 | Eixo - Margem Esquerda | 7.598.646,00 | 795.496,00 | 97,00 | 2,50 | 0,00 | 2,50 |
| | | | | TOTAL | 144,46 | 138,57 | 283,03 |

Segunda campanha de sondagens (2011)

A segunda campanha sondagens foi realizada em novembro de 2011. Ao todo foram executadas 8 furos, sendo 5 sondagens rotativas e 3 sondagens mistas. Foram realizados ensaios de infiltração em solo e de perda d'água sob pressão em rocha.

A Tabela 4.65 apresenta o resumo do quantitativo por furo das sondagens executadas:

Tabela 4.65 - Quadro Resumo da Segunda Campanha de Investigações (2011).

| Sondagens | Local | Coordenadas UTM (m) | | Cota de Topo (m) | Profundidade Perfurada (m) | | | Ensaio de Permeabilidade | |
|-----------|-------------------------|---------------------|------------|------------------|----------------------------|-------|-------|--------------------------|-----|
| | | N | E | | Solo | Rocha | Total | INF | EPA |
| SR-20 | Barragem de Enrocamento | 7.598.372,67 | 795.116,73 | 62,36 | - | 24,9 | 24,9 | - | 8 |
| SR-21 | Descarr. Fundo | 7.598.434,85 | 795.189,87 | 62,69 | - | 29,5 | 29,5 | - | 9 |
| SM-22 | Casa de Força | 7.598.484,10 | 795.247,99 | 64,19 | 3,9 | 21,6 | 25,5 | 4 | 7 |
| SR-23 | Descarr. Fundo | 7.598.365,65 | 795.185,71 | 61,97 | - | 25,4 | 25,4 | - | - |
| SR-24 | Casa de Força | 7.598.420,16 | 795.241,42 | 63,62 | 0,3 | 34,2 | 34,5 | - | - |
| SR-25 | Leito do Rio | 7.598.448,04 | 795.088,45 | 63,42 | - | 14,7 | 14,7 | - | - |
| SM-26 | Leito do Rio M.E | 7.598.497,57 | 795.129,57 | 64,24 | 1,1 | 13,9 | 15 | 1 | - |
| SR-27 | Leito do Rio Jus. | 7.598.299,78 | 795.249,71 | 61,58 | - | 15,2 | 15,2 | - | - |
| | | | | TOTAL | 5,3 | 179,4 | 184,7 | 5 | 24 |

Terceira campanha de sondagens (2015)

A terceira campanha de sondagens foi executada entre os meses de setembro e outubro de 2015. Foram executadas 27 sondagens a percussão, 6 poços de inspeção, 10 sondagens mistas e 14 sondagens rotativas, com a realização de 148 ensaios de infiltração, 100 ensaios de perda d'água e 207 ensaios de resistência à penetração, além de 26 ensaios de lavagem por tempo nas sondagens a percussão.

A Tabela 4.66 apresenta o resumo do quantitativo por furo das sondagens executadas:

Tabela 4.66 - Quadro Resumo das Sondagens da Terceira Campanha de Investigações (2015).

| Sondagens | Local | Coordenadas UTM (m) | | Cota do Topo (m) | Profundidade Perfurada (m) | | | Ensaios | | | |
|--------------|----------------------|---------------------|------------|------------------|----------------------------|---------------|---------------|------------|------------|-------------|-----------|
| | | N | E | | Solo | Rocha | Total | E.J | E.P.A | SPT (unid.) | LVT |
| PI-101 | Barragem M.D. | - | - | - | 1,20 | 0,00 | 1,20 | - | - | - | - |
| PI-101A | Barragem M.D. | - | - | - | 1,00 | 0,00 | 1,00 | - | - | - | - |
| PI-102 | Barragem M.D. | - | - | - | 5,00 | 0,00 | 5,00 | - | - | - | - |
| PI-103 | Barragem M.E. | - | - | - | 4,50 | 0,00 | 4,50 | - | - | - | - |
| PI-104 | Dique | - | - | - | 1,80 | 0,00 | 1,80 | - | - | - | - |
| PI-104A | Dique | - | - | - | 1,50 | 0,00 | 1,50 | - | - | - | - |
| SM-101 | Barragem M.D. | 7.597.865,36 | 794.519,59 | 80,65 | 2,45 | 7,58 | 10,03 | 1 | 2 | 2 | - |
| SM-104 | Barragem M.D. | 7.598.029,39 | 794.712,43 | 64,08 | 0,97 | 9,28 | 10,25 | - | 3 | - | - |
| SM-105 | Barragem M.D. | 7.598.188,19 | 794.899,92 | 76,01 | 7,04 | 10,08 | 17,12 | 6 | 3 | 6 | - |
| SM-106 | Barragem M.D. | 7.598.253,27 | 794.976,11 | 64,68 | 2,63 | 14,91 | 17,54 | 2 | 4 | 2 | - |
| SM-111 | Casa de Força | 7.598.458,52 | 795.217,26 | 63,88 | 3,50 | 30,50 | 34,00 | 4 | 10 | 3 | - |
| SM-114 | Muro M.E. | 7.598.516,13 | 795.285,02 | 65,34 | 3,53 | 13,65 | 17,18 | 3 | 4 | 4 | - |
| SM-115 | Barragem M.E. | 7.598.545,49 | 795.335,38 | 64,23 | 6,09 | 11,18 | 17,27 | 6 | 3 | 6 | - |
| SM-116 | Barragem M.E. | 7.598.582,95 | 795.440,61 | 87,56 | 16,15 | 10,11 | 26,26 | 2 | 3 | 16 | - |
| SM-126 | Ensecadeira Montante | 7.598.517,93 | 794.859,58 | 64,00 | 2,63 | 17,67 | 20,30 | 2 | 0 | 2 | - |
| SM-127 | Ensecadeira Jusante | 7.597.983,61 | 795.177,25 | 68,00 | 3,50 | 16,69 | 20,19 | 3 | 0 | 3 | - |
| SP-101 | Barragem M.D. | 7.597.848,32 | 794.556,78 | 75,00 | 2,54 | 0,00 | 2,54 | 1 | - | 3 | 1 |
| SP-102 | Barragem M.D. | 7.597.906,40 | 794.512,17 | 70,39 | 5,45 | 0,00 | 5,45 | 5 | - | 6 | - |
| SP-103 | Barragem M.D. | 7.598.108,29 | 794.805,94 | 67,36 | 1,73 | 0,00 | 1,73 | 1 | - | 2 | 1 |
| SP-104 | Barragem M.D. | 7.598.118,10 | 794.894,02 | 69,10 | 4,62 | 0,00 | 4,62 | 4 | - | 5 | 1 |
| SP-105 | Canal de Fuga | 7.598.403,85 | 795.320,20 | 64,52 | 4,40 | 0,00 | 4,40 | 3 | - | 5 | 1 |
| SP-106 | Barragem M.E. | 7.598.500,00 | 795.351,51 | 64,10 | 2,54 | 0,00 | 8,00 | 2 | - | 3 | 1 |
| SP-107 | Barragem M.E. | 7.598.607,20 | 795.471,50 | 95,76 | 10,09 | 0,00 | 10,09 | 9 | - | 11 | 1 |
| SP-108 | Subestação | 7.598.334,58 | 795.492,51 | 64,25 | 6,58 | 0,00 | 6,58 | 5 | - | 6 | 1 |
| SP-109 | Subestação | 7.598.284,21 | 795.489,77 | 64,26 | 11,10 | 0,00 | 11,10 | 10 | - | 12 | 1 |
| SP-110 | Subestação | 7.598.300,76 | 795.537,52 | 64,09 | 3,11 | 0,00 | 3,11 | 2 | - | 4 | 1 |
| SP-111 | Dique | 7.599.170,67 | 795.626,39 | 95,00 | 12,20 | 0,00 | 12,20 | 11 | - | 13 | 1 |
| SP-112 | Dique | 7.599.213,61 | 795.851,65 | 85,00 | 11,11 | 0,00 | 11,11 | 10 | - | 12 | 1 |
| SP-113 | Dique | 7.599.256,56 | 795.876,91 | 95,00 | 9,18 | 0,00 | 9,18 | 8 | - | 10 | 1 |
| SP-114 | Ensecadeira Incorp. | 7.598.071,26 | 794.667,03 | 64,12 | 7,05 | 0,00 | 7,05 | 6 | - | 8 | 1 |
| SP-115 | Ensecadeira Jusante | 7.597.814,82 | 794.691,44 | 60,00 | 2,77 | 0,00 | 2,77 | 2 | - | 3 | 1 |
| SP-116 | Ensecadeira Jusante | 7.597.900,87 | 794.805,23 | 60,00 | 3,57 | 0,00 | 3,57 | 2 | - | 4 | 1 |
| SP-117 | Ilha Montante | 7.598.367,99 | 794.890,31 | 63,49 | 0,93 | 0,00 | 0,93 | 1 | - | 1 | 1 |
| SP-118 | Ensecadeira Montante | 7.598.690,20 | 795.295,51 | 65,00 | 7,54 | 0,00 | 7,54 | 6 | - | 8 | 1 |
| SP-119 | Ensecadeira | 7.598.208,80 | 795.210,59 | 62,89 | 2,26 | 0,00 | 2,26 | 2 | - | 3 | 1 |
| SP-120 | Ensecadeira Jusante | 7.598.284,46 | 795.318,32 | 63,00 | 1,18 | 0,00 | 1,18 | 0 | - | 2 | 1 |
| SP-121 | Ombreira M.E. | 7.598.540,32 | 795.092,61 | 65,00 | 3,66 | 0,00 | 3,66 | 2 | - | 4 | 1 |
| SP-122 | Ensecadeira Montante | 7.598.638,00 | 795.043,00 | 65,44 | 4,24 | 0,00 | 4,24 | 3 | - | 5 | 1 |
| SP-123 | Ensecadeira Montante | 7.598.302,00 | 794.756,00 | 69,00 | 5,56 | 0,00 | 5,56 | 4 | - | 6 | 1 |
| SP-124 | Ensecadeira Montante | 7.598.214,06 | 794.794,28 | 67,18 | 8,52 | 0,00 | 8,52 | 7 | - | 9 | 1 |
| SP-125 | Ensecadeira Jusante | 7.598.008,98 | 794.926,17 | 64,00 | 3,52 | 0,00 | 3,52 | 2 | - | 4 | 1 |
| SP-126 | Ensecadeira Jusante | 7.597.847,80 | 795.082,86 | 65,47 | 7,61 | 0,00 | 7,61 | 6 | - | 8 | 1 |
| SP-127 | Ensecadeira Jusante | 7.598.147,91 | 795.219,65 | 63,53 | 5,13 | 0,00 | 5,13 | 4 | - | 6 | 1 |
| SR-102 | Barragem M.D. | 7.597.953,83 | 794.562,29 | 63,99 | 3,33 | 6,76 | 10,09 | - | 2 | - | - |
| SR-103 | Barragem M.D. | 7.597.979,85 | 794.654,15 | 62,42 | 0,00 | 10,03 | 10,03 | - | 3 | - | - |
| SR-107 | Barragem M.D. | 7.598.351,71 | 795.043,05 | 61,75 | 0,00 | 17,48 | 17,48 | - | 6 | - | - |
| SR-108 | Vertedouro | 7.598.398,51 | 795.142,04 | 62,30 | 0,00 | 29,03 | 29,03 | - | 10 | - | - |
| SR-109 | Vertedouro | 7.598.419,59 | 795.169,11 | 62,00 | 0,00 | 29,07 | 29,07 | - | 10 | - | - |
| SR-109A | Vertedouro | 7.598.398,51 | 795.142,04 | 62,30 | 0,00 | 29,05 | 29,05 | - | 10 | - | - |
| SR-110 | Canal Adução | 7.598.490,11 | 795.198,88 | 65,71 | 3,70 | 20,64 | 24,34 | 1 | 7 | - | - |
| SR-112 | Casa de Força | 7.598.436,39 | 795.234,90 | 63,55 | 2,46 | 36,80 | 39,26 | - | 12 | - | - |
| SR-113 | Canal de Fuga | 7.598.366,31 | 795.307,31 | 61,76 | 0,00 | 24,52 | 24,52 | - | 8 | - | - |
| SR-121 | Ensecadeira Incorp. | 7.598.115,54 | 794.725,32 | 64,51 | 3,00 | 6,14 | 9,14 | - | 0 | - | - |
| SR-122 | Ensecadeira Jusante | 7.598.332,77 | 795.388,78 | 60,00 | 3,13 | 6,06 | 9,19 | - | 0 | - | - |
| SR-123 | Pedreira 01 M.E. | 7.598.550,12 | 795.180,94 | 65,00 | 2,92 | 17,74 | 20,66 | - | 0 | - | - |
| SR-124 | Ilha Montante | 7.598.305,80 | 794.818,66 | 70,60 | 8,50 | 11,64 | 20,14 | - | 0 | - | - |
| SR-125 | Ilha Jusante | 7.598.179,72 | 795.076,27 | 65,00 | 3,50 | 16,85 | 20,35 | - | 0 | - | - |
| TOTAL | | | | | 242,22 | 403,46 | 651,14 | 148 | 100 | 207 | 26 |



UHE ITAOCARA I

Sondagens executadas – áreas de empréstimo (2001, 2011)

Para investigação das áreas potenciais para empréstimo de solo, foram executados 19 poços de inspeção e 24 sondagens a trado. Foram 17 poços de inspeção executados na fase de viabilidade, em 2001 e 2 poços de inspeção (PEB-4 e PEB-5) e todas as sondagens a trado executados na fase de projeto básico, em 2011.

A Tabela 4.67 a seguir, apresenta o resumo do quantitativo por furo das investigações executadas:

Tabela 4.67 - Quadro Resumo das Investigações para Áreas Potenciais de Empréstimo.

| Sondagens | Coordenadas UTM (m) | | Profundidade Perfurada (m) |
|-----------|---------------------|------------|----------------------------|
| | N | E | Solo |
| PEA-1 | 7.599.188,00 | 795.146,00 | 5,00 |
| PEA-2 | 7.599.419,00 | 795.326,00 | 5,00 |
| PEB-1 | 7.599.136,00 | 795.423,00 | 5,00 |
| PEB-2 | 7.598.977,00 | 795.621,00 | 5,00 |
| PEB-3 | 7.598.798,00 | 795.846,00 | 5,00 |
| PEC-1 | 7.598.515,00 | 796.074,00 | 5,00 |
| PEC-2 | 7.598.371,00 | 796.254,00 | 5,00 |
| PEC-3 | 7.598.231,00 | 796.429,00 | 5,00 |
| PEC-4 | 7.598.034,00 | 796.675,00 | 5,00 |
| PED-1 | 7.598.896,00 | 796.968,00 | 5,00 |
| PED-2 | 7.598.575,00 | 796.738,00 | 5,00 |
| PEE-1 | 7.598.147,00 | 793.719,00 | 5,00 |
| PEF-1 | 7.597.582,00 | 793.817,00 | 5,00 |
| PEF-2 | 7.597.818,00 | 793.921,00 | 5,00 |
| PEF-3 | 7.598.026,00 | 794.003,00 | 5,00 |
| PEG-1 | 7.597.231,00 | 794.683,00 | 5,00 |
| PEG-2 | 7.597.002,00 | 794.739,00 | 5,00 |
| PEB-4 | 7.598.776,00 | 795.644,00 | 5,00 |
| PEC-5 | 7.598.287,00 | 796.040,00 | 5,00 |
| STA-1 | 7.599.338,00 | 795.169,00 | 4,00 |
| STA-2 | 7.599.232,00 | 795.301,00 | 5,50 |
| STB-1 | 7.598.981,00 | 795.462,00 | 5,00 |
| STB-2 | 7.599.131,00 | 795.582,00 | 5,00 |
| STB-3 | 7.598.962,00 | 795.793,00 | 5,00 |
| STC-1 | 7.598.599,00 | 796.290,00 | 5,00 |
| STC-2 | 7.598.145,00 | 796.217,00 | 4,50 |
| STC-3 | 7.598.458,00 | 796.467,00 | 5,00 |
| STC-4 | 7.597.883,00 | 796.384,00 | 5,00 |
| STC-5 | 7.598.289,00 | 796.677,00 | 5,00 |
| STC-6 | 7.598.105,00 | 796.907,00 | 5,00 |
| STE-1 | 7.598.035,00 | 793.623,00 | 5,00 |
| STF-1 | 7.597.769,00 | 793.714,00 | 5,00 |
| STF-2 | 7.597.648,00 | 793.989,00 | 5,00 |
| STF-3 | 7.597.948,00 | 794.100,00 | 5,00 |
| STG-1 | 7.596.850,00 | 794.550,00 | 5,00 |
| STG-2 | 7.597.050,00 | 794.900,00 | 3,00 |
| STH-1 | 7.599.024,00 | 794.770,00 | 5,00 |
| STH-2 | 7.599.170,00 | 794.847,00 | 5,50 |
| STH-3 | 7.598.938,00 | 794.954,00 | 5,00 |
| STH-4 | 7.599.024,00 | 795.090,00 | 5,00 |
| STI-1 | 7.599.179,00 | 795.825,00 | 5,00 |
| STI-2 | 7.599.215,00 | 795.850,00 | 5,00 |
| STI-3 | 7.599.255,00 | 795.875,00 | 6,70 |
| | | | 214,20 |

Sondagens executadas – áreas de empréstimo - 2015

Conjuntamente com a terceira campanha de sondagens, em 2015, foram executadas 70 sondagens a trado, para complementação dos estudos das áreas de empréstimo.

O resumo quantitativo dessas investigações é apresentado na tabela 4.68 abaixo.

Tabela 4.68 - Quadro Resumo das Sondagens a Trado.

| Sondagens | Local | Profundidade Perfurada (m) | Sondagens | Local | Profundidade Perfurada (m) |
|--------------|----------|----------------------------|-----------|----------|----------------------------|
| | | Solo | | | Solo |
| ST-101 | AE-ME-01 | 5,02 | ST-130 | AE-MD-02 | 1,30 |
| ST-102 | AE-ME-01 | 0,20 | ST-130A | AE-MD-02 | 1,20 |
| ST-102A | AE-ME-01 | 0,40 | ST-130B | AE-MD-02 | 0,80 |
| ST-102B | AE-ME-01 | 0,80 | ST-131 | AE-MD-02 | 5,02 |
| ST-103 | AE-ME-01 | 5,05 | ST-132 | AE-MD-02 | 0,87 |
| ST-104 | AE-ME-01 | 0,68 | ST-132A | AE-MD-02 | 0,87 |
| ST-104A | AE-ME-01 | 0,47 | ST-132B | AE-MD-02 | 0,87 |
| ST-104B | AE-ME-01 | 0,48 | ST-133 | AE-MD-02 | 0,47 |
| ST-105 | AE-ME-01 | 5,02 | ST-133A | AE-MD-02 | 1,10 |
| ST-106 | AE-ME-01 | 5,04 | ST-133B | AE-MD-02 | 1,20 |
| ST-107 | AE-ME-02 | 5,00 | ST-134 | AE-MD-03 | 5,01 |
| ST-108 | AE-ME-02 | 5,01 | ST-135 | AE-MD-03 | 5,00 |
| ST-109 | AE-ME-02 | 5,03 | ST-136 | AE-MD-03 | 5,01 |
| ST-110 | AE-ME-02 | 1,35 | ST-137 | AE-MD-03 | 5,00 |
| ST-110A | AE-ME-03 | 5,00 | ST-138 | AE-MD-03 | 5,00 |
| ST-111 | AE-ME-03 | 5,01 | ST-139 | AE-MD-03 | 2,80 |
| ST-112 | AE-ME-03 | 5,02 | ST-140 | AE-MD-03 | 3,27 |
| ST-113 | AE-ME-03 | 2,10 | ST-141 | AE-IM-01 | 2,40 |
| ST-114 | AE-ME-03 | 5,00 | ST-142 | AE-IM-01 | 1,58 |
| ST-115 | AE-ME-03 | 5,03 | ST-143 | AE-IM-01 | 5,06 |
| ST-116 | AE-ME-03 | 5,03 | ST-144 | AE-IM-01 | 2,03 |
| ST-117 | AE-ME-04 | 5,00 | ST-145 | AE-IM-01 | 4,13 |
| ST-118 | AE-ME-04 | 5,03 | ST-146 | AE-U-01 | 5,03 |
| ST-119 | AE-ME-04 | 4,10 | ST-147 | AE-U-01 | 3,72 |
| ST-120 | AE-ME-04 | 5,02 | ST-148 | AE-U-01 | 5,01 |
| ST-121 | AE-ME-04 | 5,00 | ST-149 | AE-U-01 | 3,91 |
| ST-122 | AE-ME-04 | 5,02 | ST-150 | AE-U-01 | 3,83 |
| ST-123 | AE-ME-04 | 5,00 | ST-151 | AE-U-01 | 2,97 |
| ST-124 | AE-ME-04 | 5,00 | ST-152 | AE-U-01 | 5,02 |
| ST-125 | AE-ME-04 | 5,00 | ST-153 | AE-U-01 | 5,00 |
| ST-127 | AE-MD-01 | 5,02 | ST-154 | AE-U-01 | 4,83 |
| ST-128 | AE-MD-01 | 5,00 | ST-155 | AE-U-01 | 3,10 |
| ST-129 | AE-MD-02 | 1,13 | ST-156 | AE-U-01 | 5,00 |
| ST-129A | AE-MD-02 | 0,85 | ST-156A | AE-U-01 | 5,00 |
| ST-129B | AE-MD-02 | 0,60 | ST-157 | AE-U-01 | 5,00 |
| TOTAL | | | | | 245,92 |

4.3.2.2.2 Geofísica

As investigações geofísicas foram executadas entre os dias 16 e 27 de setembro de 2015. Os métodos utilizados foram o de sísmica de refração e caminhamento elétrico, realizados em conjunto. Ao todo foram executados 4.840 m de linha geofísica para o método de sísmica e 4.750 m para o método elétrico.

A tabela 4.69 a seguir, apresenta o resumo do quantitativo para as investigações geofísicas executadas.

Tabela 4.69 - Quadro Resumo das Investigações Geofísicas Executadas na Área de Implantação da UHE Itaocara I.

| CAMINHAMENTO ELÉTRICO E SÍSMICA DE REFRAÇÃO | | | | |
|---|---------------------|---------|-----------------|----------|
| Nº da Linha | Coordenadas UTM (m) | | Comprimento (m) | |
| | N | E | Sísmica | Elétrica |
| CE/LS-01 | 7.598.444 | 795.228 | 500 | 470 |
| | 7.598.656 | 795.616 | | |
| CE/LS-02 | 7.598.414 | 795.371 | 480 | 470 |
| | 7.598.771 | 795.065 | | |
| CE/LS-03 | 7.598.482 | 795.484 | 240 | 230 |
| | 7.598.686 | 795.402 | | |
| CE/LS-04 | 7.598.371 | 795.341 | 480 | 470 |
| | 7.598.704 | 795.018 | | |
| CE/LS-05 | 7.598.346 | 794.760 | 720 | 710 |
| | 7.597.826 | 795.204 | | |
| CE/LS-06 | 7.597.945 | 794.510 | 170 | 170 |
| | 7.597.812 | 794.594 | | |
| CE/LS-07 | 7.598.077 | 794.769 | 480 | 440 |
| | 7.598.336 | 795.093 | | |
| CE/LS-08 | 7.598.444 | 795.228 | 360 | 390 |
| | 7.598.729 | 794.975 | | |
| CE/LS-09 | 7.598.567 | 795.046 | 240 | 230 |
| | 7.598.729 | 795.198 | | |
| CE/LS-10 | 7.598.160 | 794.644 | 350 | 350 |
| | 7.598.373 | 794.909 | | |
| CE/LS-11 | 7.597.932 | 794.946 | 350 | 350 |
| | 7.598.159 | 795.203 | | |
| CE/LS-12 | 7.597.798 | 794.998 | 470 | 470 |
| | 7.598.086 | 795.357 | | |
| TOTAL | | | 4.840 | 4.750 |

4.3.2.2.3 Televisamento – Perfilagem Geofísica Ótica

Para obter maior nível de detalhes das principais descontinuidades observadas nas sondagens executadas, foi executado serviço de perfilagem geofísica ótica ou televisamento. Para este serviço, foram pré-selecionadas, ao longo do barramento, 5 sondagens do tipo mista, perfazendo um total de 96,05m de trechos analisadas pelo método.

A tabela 4.70 a seguir, apresenta o resumo do quantitativo por furo onde foram executados o televisamento.

Tabela 4.70 - Quadro Resumo das Sondagens com Ensaio de Televisamento.

| Sondagens | Local | Coordenadas UTM (m) | | Cota do Topo (m) | Profundidade Perfilada (m) |
|--------------|---------------|---------------------|------------|------------------|----------------------------|
| | | N | E | | |
| SM-101 | Barragem M.D. | 7.597.865,36 | 794.519,59 | 80,65 | 10,00 |
| SM-104 | Barragem M.D. | 7.598.029,39 | 794.712,43 | 64,08 | 10,00 |
| SM-105 | Barragem M.D. | 7.598.188,19 | 794.899,92 | 76,01 | 17,06 |
| SM-111 | Casa de Força | 7.598.458,52 | 795.217,26 | 63,88 | 32,87 |
| SM-116 | Barragem M.E. | 7.598.582,95 | 795.440,61 | 87,56 | 26,12 |
| TOTAL | | | | | 96,05 |

4.3.3 Aspectos Geológico-Geotécnicos

São descritos, neste tópico, os principais aspectos morfológicos, litológicos, estruturais e geotécnicos dos locais onde serão implantadas as estruturas que compõem o empreendimento.

4.3.3.1 Morfologia Local

O rio Paraíba do Sul possui, na maior parte do seu curso, direção de fluxo para NE, porém no local de implantação do empreendimento o mesmo se curva fortemente para SE. Esta curvatura em torno de 90° é típica dos cursos d'água da região que reflete a importância da componente estrutural no modelo de relevo.

As elevações das ombreiras vão de 160,00 m para a margem esquerda e 140,00 m para a margem direita. A declividade da ombreira esquerda é menor à da direita, e possui ainda uma planície de inundação no pé da encosta.

Ocorrem ilhas ao longo do leito do rio, sendo uma de grande representatividade e dimensões, denominada ilha Serena.

Localmente, os materiais encontrados na região dividem-se em 6 classes: rocha gnáissica sã, rocha gnáissica alterada, solo coluvionar, solo residual de gnaíse, saprolito e aluvião.

4.3.3.2 Caracterização Geológico-Geotécnica dos Materiais

4.3.3.2.1 Maciço Rochoso

O substrato rochoso da área do empreendimento é composto por rocha gnáissica migmatítica, de coloração cinza clara a escuro, granulação fina a média e textura granoblástica a granolepidoblástica.

Essa rocha é composta de quartzo, feldspato/plagioclásio, moscovita, biotita e por vezes piroxênios e anfibólios. Comumente encontram-se cristais milimétricos a centimétricos de granada. Apresenta-se foliada, com veios e neossomas graníticos de coloração branca com minerais centimétricos.

Em termos estruturais, as discontinuidades principais do maciço rochoso são representadas, principalmente, pelos planos do bandamento gnáissico (foliação gnáissica) e, secundariamente, mas não menos importante, pelas discontinuidades relacionadas ao sistema regional de deformação e fraturamento da rocha.

As fraturas e juntas geralmente encontram-se abertas e com oxidação das superfícies, especialmente nos trechos superiores do maciço, onde notam-se abertura e oxidação das superfícies (Figura 4.54).



Figura 4.54 – Detalhe de Fratura Aberta e Oxidada no Maciço Rochoso.

Geotecnicamente, de maneira geral, a rocha gnáissica apresenta-se como um maciço de boa a excelente qualidade geomecânica ($>R5$, ISRM). Sua caracterização varia entre sã (A1) e pouco alterada (A2) já próximo à superfície. Além desse parâmetro,

observa-se que a consistência/coerência do maciço é alta, variando entre resistente (C1) a medianamente resistente (C2).

O fraturamento ocorre de maneira homogênea, sendo ocasionalmente fraturado (F1) na maior parte do maciço, com trechos pouco fraturados (F2) e com algumas poucas passagens localizadas de maior grau de fraturamento (F4/F5).

Apresentam altos valores de RQD e recuperação, confirmando dessa forma, a qualidade geomecânica do maciço.

Ressalta-se, no entanto, que o maciço pode apresentar um horizonte superior de gnaiss alterado de pequena espessura, sobretudo ao longo das ombreiras. Esse horizonte é caracterizado por rocha medianamente a muito alterada (A3/A4), medianamente a extremamente fraturada (F3/F5) e medianamente resistente a branda (C3/C4).

Em relação à permeabilidade, os ensaios de condutividade hidráulica detectaram, em geral, valores baixos para permeabilidade (H1), com exceção de alguns reduzidos trechos, onde notam-se juntas de alívio, que exibiram permeabilidade elevada, chegando inclusive a muito alta (H5) em alguns locais.

4.3.3.2.2 Materiais de Cobertura

4.3.3.2.2.1 Solo residual do gnaiss e saprolito

O solo residual de gnaiss é constituído de argila-siltosa a arenosa de coloração variegada, marrom-avermelhado a amarelo, com presença de minerais micáceos, por vezes sericita.

De maneira geral, possui consistência média a rija, com valores SPT maiores que 15 golpes na grande maioria dos trechos ensaiados. Os ensaios de infiltração executados no material detectaram uma permeabilidade da ordem 10^{-5} cm/s, ou seja, condutividade hidráulica muito baixa.

Em sua maior parte, ocorre sobreposto ao maciço rochoso, mas há trechos em que está acima do saprolito, como na margem esquerda. Apresenta espessura variável, de delgada (0,85 m) a espessa (7,00 m).

O horizonte saprolítico caracteriza-se como sendo um solo de coloração cinza-esbranquiçado, com areia fina a média, pouco a medianamente argiloso, com presença de quartzo e micas, por vezes sericita, e de consistência dura, SPT > 35 golpes/30 cm finais. Os ensaios de infiltração executados no material constataram também baixa permeabilidade ($K < 10^{-5}$ cm/s).

Esse horizonte ocorre na margem esquerda e está bem caracterizado na sondagem SM-116 que amostrou um material proveniente de rocha gnáissica altamente alterada, com presença de quartzo e sericita, além de argila. Sua espessura é de em torno 8,00 m e está em contato brusco com a rocha gnáissica sã.

4.3.3.2.2 Solo coluvionar

O horizonte coluvionar é predominantemente argilo-siltoso, com pouca areia, coloração marrom-avermelhada, com pedregulhos milimétricos de quartzo e raízes, apresentando consistência média (Figura 4.55).

A espessura dessa camada vai de centímetros a alguns metros, predominando camadas mais finas. A maior espessura foi detectada na margem esquerda, onde atingiu 4,00 m.

Geotecnicamente, o solo coluvionar é caracterizado como rijo, uma vez que os ensaios SPT executados no material detectaram valores maiores de 10 golpes/30 cm finais. Já os ensaios de infiltração, também exibiram valores muito baixos para permeabilidade ($K < [10]^{-5} \text{cm/s}$).



Figura 4.55 - Perfil de Material Coluvionar em Corte na Estrada da Margem Esquerda a Montante do Eixo do Barramento.

4.3.3.2.3 Aluvião

A sequência aluvionar exibe granulometria de areia fina a média e silto-argilosa, cor marrom clara, com grânulos de quartzo e opacos, alguma matéria orgânica, compacidade fofa a pouco compacta. Esses depósitos possuem uma espessura reduzida e podem ser observados junto às margens e leito do rio Paraíba do Sul.

Os ensaios de resistência à penetração executados no material o caracterizaram como de compacidade variando entre fofa a medianamente compacta, ensaios SPT realizados variando entre 3 a 10 golpes/30 cm finais.

4.3.3.3 Aspectos Geológico-Geotécnicos das Estruturas e Tratamentos Previstos

Nesse tópico são apresentadas descrições das características geológicas da área de instalação das estruturas e descritos os tratamentos previstos em função dessas características e das condicionantes geológicas das fundações.

Para melhor compreensão das descrições que se seguem, é aconselhável a visualização dos perfis geológicos das seções pelas estruturas e dos logs individuais de sondagens executadas.

4.3.3.3.1 Barramento

4.3.3.3.1.1 Barragem margem direita

A região da Barragem Margem Direita é composta por uma sucessão geológica representada pelo solo coluvionar, aluvião, solo residual e rocha gnáissica, conforme amostrado pelos furos de sondagem e poços de inspeção executados na região: SM-101, SR-06, SR-103, SM-104, SP-103, PI-101, PI-101A, SM-105, PI-102, SM-106 e SR-20.

Os materiais da região do Barramento possuem diferentes distribuições e suas geometrias são apresentadas nas seções geológicas elaboradas para o local, documentos 1530-IT-B-DE-G28-0006, 0007, 0008, 0010 e 0011.

Na região da margem direita do rio e ilha Serena, a sequência pedológica é definida pelo solo coluvionar seguido de solo residual, enquanto nas imediações do rio Paraíba do Sul há alguns depósitos de aluvião. O maciço rochoso apresenta-se sotoposto a esses materiais, sendo aflorante ao longo do leito do rio.

As sondagens executadas nesses locais detectaram que os horizontes de colúvio, aluvião e solo residual apresentam-se, em geral, delgados. As maiores espessuras dos materiais ocorrem na ilha Serena, onde o conjunto solo coluvionar e residual pode ultrapassar 6,00 m de espessura.

A Barragem será posicionada diretamente sobre o topo de gnaisses são ou pouco alterado entre as estacas 1 e 20+2,52, assim os horizontes de colúvio, solo residual e aluvião deverão ser escavados e removidos para assentamento da estrutura.

Já para a região da Ilha Serena, entre as estacas 20+2,52 e 31, a Barragem se posicionará no horizonte coluvionar, que deve ser escavado até a profundidade de 1,00 m para fixação do futuro Barramento. Nesse trecho, considera-se também a instalação de um cut-off, que deverá ser escavado até o topo da rocha.

Ainda na Ilha Serena, entre as estacas 31 e 37+10,00, o assentamento será diretamente em solo residual, também com escavação de 1,00 m do mesmo e cut-off até a rocha gnáissica.

Finalmente, entre as estacas 37+10,00 e 43, o horizonte de aluvião deverá ser totalmente removido e o assentamento da Barragem Margem Direita será realizado no topo de rocha. Os ensaios de perda d'água sobre pressão na rocha apontaram, em geral, baixos valores de permeabilidade (H1/H2), conforme resultados dos ensaios

executados nas sondagens SM-101, SM-104 e SR-103. Ressalta-se, entretanto, que para alguns trechos superficiais, a permeabilidade hidráulica constatada foi alta, como levantado pela investigação SR-103, cujo ensaio realizado no primeiro trecho (0,50 a 3,50 m) apresentou permeabilidade muito alta (H5), associada à presença de juntas e fraturas de alívio.

Os tratamentos superficiais esperados para essa estrutura são os usuais empregados para tratamentos das fundações de barragem, como a remoção de todo material inadequado para a fundação, tais como blocos, fragmentos de rocha solta e decomposta, além de aplicação de concretos dental e de enchimento. Como tratamentos profundos, prevê-se a execução de uma cortina de injeções de calda de cimento de modo a homogeneizar a fundação mediante o critério de permeabilidade hidráulica. Estima-se que a cortina de injeções terá profundidade de 9,00 m.

4.3.3.3.1.2 Estruturas de concreto

Na região de posicionamento do Descarregador de Fundo a rocha gnáissica encontra-se aflorante, enquanto que na Tomada de Água e Casa de Força há uma sequência de solo coluvionar e pequenas ocorrências de lentes de aluvião e solo residual, sobrepostos ao maciço rochoso.

Esses materiais estão representados nas seções geológicas produzidas para o local, desenhos 1530-IT-B-DE-G28-0007 a 0009.

A fundação do Descarregador de Fundo foi investigada pelas sondagem SR-21 e SR-23, que exibiu um substrato rochoso de boa a excelente qualidade geomecânica: pouco a ocasionalmente fraturado (F1/F2), são a pouco alterado (A1/A2), medianamente a muito resistente (C1/C2) e de permeabilidade muito baixa (H1). Os valores de RQD e recuperação também são bem consistentes, configurando a boa qualidade do maciço como fundação da estrutura de concreto.

Os furos de sondagens SM-22, SR-110, SM-111, SR-24, SR-112, SR-113, SM-22 e SR-115 foram executados nos locais previstos para instalação da Tomada de Água e Casa de Força. Essas investigações interceptaram os trechos de solo coluvionar, solo residual e rocha subjacente que servirá de apoio para assentamento das estruturas.

Em semelhança à região do Descarregador de Fundo, o maciço rochoso da região da Tomada de Água e Casa de Força também apresenta excelente competência geomecânica: fraturamento baixo (F1/F2), material são a pouco alterado (A1/A2), muito resistente (C1/C2) e condutividade hidráulica baixa (H1) na maior parte dos trechos ensaiados. Exceção a esse contexto ocorre na sondagem SM-113, localizada no Canal de Fuga, que interceptou algumas passagens de maior grau de fraturamento (F3/F5), alteração (A3/A2), permeabilidade (H4/H5) e de menor consistência (C3), conforme pode ser observado na Figura 4.56.



Figura 4.56 - SR-113 – Passagens de Maior Grau de Fraturamento e Alteração.

As escavações das estruturas de concreto deverão ser executadas interceptando os horizontes de solos, que passará seguidamente para o gnaiss são, sem que haja um horizonte expressivo de transição ou de rochas alteradas, configurando uma transição brusca entre o horizonte solo - rocha.

Após remoção dos materiais até as cotas de assentamento das estruturas de concreto, as superfícies das fundações deverão ser regularizadas e limpas, não sendo previsto tratamentos adicionais de superfície além daqueles usualmente empregados neste tipo de estrutura. Essa normalização abrange tanto o corte e remoção de

irregularidades quanto o preenchimento com concreto de irregularidades bruscas nas superfícies.

Inicialmente executa-se uma limpeza fina da superfície com o uso de jato de ar e água. No caso de juntas de alteração aberta com preenchimento terroso deve-se escavar e remover o material terroso. Rochas alteradas de baixa resistência devem ser exumadas até que se alcance nível de rocha competente. Além disso, está prevista a execução de injeções de impermeabilização das fundações, de modo a eliminar eventuais trechos de maior permeabilidade do maciço rochoso abaixo das fundações. Estas injeções deverão ser tomadas como de caráter exploratório e poderão ser ainda otimizadas durante a etapa de projeto executivo do empreendimento.

4.3.3.3.1.3 Barragem margem esquerda

A região da Barragem da Margem Esquerda é composta pela seguinte sucessão geológica: solo coluvionar, solo residual, saprolito e rocha gnáissica. A estrutura do Barramento será assentada sobre o horizonte de solo residual, com escavação de 1,00 m deste solo entre as estacas 53+10,00 e 57+13,50. Já no trecho entre as estacas 57+13,50 e 63 deve-se proceder com a escavação total do colúvio e posicionamento da Barragem diretamente sobre o solo residual. Prevê-se também a execução de um cut-off, que deverá prosseguir até o topo do horizonte de saprolito, conforme ilustrado nas seções geológicas 1530-IT-B-DE-G28-0007 e 0012.

Essa aptidão do solo residual – em assentar a estrutura em questão foi conferida através dos ensaios de SPT, permeabilidade e de perda d'água sob pressão aos quais esses materiais foram submetidos. Foram analisados os furos de sondagem SM-114, SM-115, SM-116, SP-107, bem como o Poço de Inspeção 103, que detectaram um material geotecnicamente competente para posicionamento da estrutura. Além disso, foi avaliada também a permeabilidade através de ensaios de infiltração executados especialmente no contato entre solo – rocha.

Caso necessário, a superfície de assentamento do futuro Barramento deverá ser regularizada, utilizando-se concreto ou argila compactada. São previstos os mesmos tratamentos discriminados para a Barragem Margem Direita, inclusive uma cortina de injeções com profundidade estimada de 9 m.

4.3.3.3.1.4 Dique

A região do Dique é composta por uma sucessão geológica representada por solo coluvionar, solo residual, saprolito e horizonte gnáissico, conforme ilustrado no desenho 1530-IT-B-DE-G28-0013.

As investigações executadas no local, SP-111, ST-1, SP-112, ST-2, PI-104A, PI-104, ST-3 e SP-113 mostraram, em geral, material resistente. Os valores dos ensaios de resistência à penetração executados, apontaram SPT >15 golpes/30 cm finais, com alguns poucos trechos com valores menores, como apresentado na sondagem SP-113, e ensaios de infiltração na ordem de $K=[10]^{(-6)}\text{cm/s}$. Mesmo tratando-se de horizontes de cobertura, estes apresentam boa resistência a penetração e boa consistência e compactação, variando de rija a dura e medianamente compacta a compacta. Deste modo, foi considerada a remoção de 1,0m do colúvio para assentamento do Dique.

4.3.3.4 *Materiais Naturais de Construção*

O presente tópico diz respeito à identificação de áreas com potencial exploratório para materiais naturais de construção de forma a viabilizar a implantação do empreendimento. Ressalta-se que esse material natural será utilizado em adição àquele, proveniente das escavações obrigatórias, passível de ser utilizado como agregado para os concretos ou como enrocamento nas estruturas de terra/enrocamento.

Os critérios de escolha para essas áreas foram a qualidade dos materiais e a proximidade em relação à área do empreendimento, de forma a diminuir os custos de transporte. Aliado a isso, que o local tenha o volume necessário para atender à demanda da obra e, caso possível, se localize abaixo da linha d'água do futuro reservatório, de modo a eliminar a necessidade de recomposição ambiental das áreas exploradas.

O documento 1530-IT-B-DE-G28-0022 apresenta as regiões especificadas para uso como áreas de empréstimos, jazidas de areia e pedreiras. São previstas 9 áreas para empréstimo de material terroso, 2 areais e 6 locais de exploração de pedreiras destinadas ao empréstimo de material rochoso, localizada a montante do futuro Barramento.

4.3.3.4.1 *Materiais terrosos argilosos*

Na região de implantação do aproveitamento é comum a ocorrência de materiais terrosos argilosos, devido ao tipo de alteração proveniente da litologia predominante, os gnaisses. Os solos coluvionares e residuais possuem, geralmente, características plásticas, pois são constituídos predominantemente de argila, com presença de silte e areia.

Foram pesquisadas 3 áreas de empréstimo na margem direita, 4 na margem esquerda e 2 na região da Ilha Serena. O volume de material útil ultrapassa 4,5 milhões de metros cúbicos, o que demonstra franca aptidão e volumes suficientes para serem utilizados no aterro da Barragem de Terra.

4.3.3.4.2 *Areia para filtros e agregado miúdo*

Depósitos aluvionares arenosos ocorrem no leito, ilhas e nas margens do rio Paraíba do Sul. São previstos dois locais para dragagem de areais naturais, sendo um a montante e outro a jusante do eixo do barramento. O areal 01 localiza-se a montante do eixo, enquanto o areal 02, posiciona-se a jusante.



Figura 4.57 - Areal Existente na Margem Esquerda a Jusante do Barramento.

4.3.3.4.3 *Material pétreo*

Existem na região do aproveitamento algumas opções para exploração de materiais rochosos, sendo possível abrir pedreiras associadas à exposições rochosas na média a alta encosta ou nas regiões baixas, associadas à ocorrência e exposições rochosas do leito e margens do rio.

Serão priorizadas para exploração de materiais pétreos as áreas situadas a montante da região do barramento e estruturas de concreto, junto à margem esquerda do rio Paraíba do Sul e na região da ilha Serena, também a montante da estrutura da Barragem.

Em ambas as regiões espera-se a ocorrência de rocha gnáissica de excelente qualidade geomecânica e bastante adequada para a produção de agregados e de enrocamento, com volume suficiente para atendimento à demanda do empreendimento.



Figura 4.58 - Afloramentos de Rocha na Região da Pedreira 03.

4.3.4 Referências Bibliográficas

- Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro – Escala 1:500.000. CPRM, 2000.
- Mapa de Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio de Janeiro – CPRM, Programa Informações para Gestão Territorial, 2000.
- Caracterização e Descrição Analítica do Mapa Geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro – CPRM, Programa Informações para Gestão Territorial, 2000.
- Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio de Janeiro – CPRM, Programa Informações para Gestão Territorial, 2000
- Silva T.P., Mello C.L. 2011. Reativações Neotectônicas na Zona de Cisalhamento do Rio Paraíba do Sul (Sudeste do Brasil). Rev. do Instituto de Geociências – USP., 11: 95-111.
- SIGMINE – DNPM – Acesso em 13 de outubro de 2015.

4.4 ESTUDOS ENERGÉTICOS

4.4.1 Estudos Realizados pela SPEC

Neste item são apresentados em detalhe os dados, critérios e resultados dos estudos energético-econômicos conduzidos, visando dimensionar a motorização da casa de força e as quedas de referência do AHE Itaipava I.

- Níveis de Água do Reservatório;
- O nível d'água máximo do reservatório definido para o AHE Itaipava I é de 89,6m;
- Série de Vazões.

Seguindo recomendações da Aneel, recebidas através do Ofício 535/2014-SGH/ANEEL, de 28 de março de 2014 (ANEXO 1), foram utilizadas as séries de vazões médias mensais da bacia do rio Paraíba do Sul, constantes da Resolução ANA nº 1404, de 26 de novembro de 2013 (ANEXO 2), que contém a Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica para os aproveitamentos hidrelétricos da bacia.

Na DRDH constam os valores das retiradas e bombeamentos de água existentes nos rios da bacia e que devem ser considerados nas simulações das usinas da bacia.

Obedecendo as orientações da Aneel, foram produzidas as séries de vazões médias mensais artificiais para as usinas de Simplício, Ilha dos Pombos e Itaipava. Estas séries estão apresentadas nas Tabelas 4.71, 4.72 e 4.73.



UHE ITAOCARA I

Tabela 4.74 - Série De Vazões Artificiais Médias Mensais da UHE Simplício
UHE SIMPLICIO - Vazões artificiais médias mensais (m³/s)

| Anos | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
|----------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| 1931 | 704,1 | 1645,0 | 1200,7 | 698,8 | 385,4 | 268,0 | 244,0 | 220,7 | 216,8 | 280,9 | 270,8 | 545,3 |
| 1932 | 1006,5 | 869,5 | 738,7 | 368,0 | 331,7 | 301,3 | 193,4 | 195,8 | 211,8 | 268,4 | 307,9 | 774,3 |
| 1933 | 907,9 | 481,9 | 422,7 | 289,1 | 269,0 | 237,2 | 232,2 | 200,4 | 218,5 | 277,5 | 305,8 | 457,0 |
| 1934 | 972,0 | 375,3 | 442,7 | 283,7 | 230,8 | 196,8 | 191,0 | 171,9 | 171,3 | 185,4 | 193,7 | 431,0 |
| 1935 | 536,8 | 1355,0 | 653,8 | 436,0 | 277,5 | 245,9 | 229,6 | 203,8 | 197,1 | 278,0 | 256,8 | 256,9 |
| 1936 | 229,7 | 321,9 | 1017,2 | 540,6 | 249,9 | 187,3 | 176,4 | 165,5 | 181,9 | 202,5 | 226,4 | 448,1 |
| 1937 | 918,6 | 949,9 | 434,5 | 374,8 | 346,9 | 240,0 | 208,3 | 185,0 | 179,6 | 260,3 | 346,6 | 1062,6 |
| 1938 | 922,5 | 774,6 | 693,5 | 478,5 | 332,1 | 288,4 | 245,4 | 266,2 | 234,9 | 290,6 | 388,9 | 634,6 |
| 1939 | 779,2 | 692,9 | 444,2 | 515,7 | 270,4 | 224,6 | 203,8 | 185,1 | 180,7 | 186,6 | 254,8 | 334,9 |
| 1940 | 663,8 | 934,0 | 800,5 | 364,5 | 258,9 | 227,5 | 204,1 | 182,7 | 186,1 | 226,4 | 386,1 | 502,9 |
| 1941 | 546,4 | 366,6 | 463,7 | 381,8 | 269,0 | 241,2 | 234,8 | 197,1 | 265,1 | 266,5 | 319,4 | 549,5 |
| 1942 | 538,2 | 512,0 | 713,8 | 405,0 | 319,5 | 268,1 | 265,7 | 209,9 | 199,6 | 252,1 | 328,4 | 540,9 |
| 1943 | 1235,8 | 899,9 | 728,1 | 443,4 | 317,0 | 297,9 | 241,4 | 238,9 | 229,4 | 316,2 | 319,9 | 530,4 |
| 1944 | 547,5 | 848,6 | 1152,5 | 507,1 | 330,0 | 269,2 | 242,0 | 216,0 | 200,9 | 208,1 | 232,0 | 330,3 |
| 1945 | 502,5 | 920,4 | 569,1 | 459,3 | 261,8 | 251,5 | 241,7 | 213,9 | 210,4 | 194,8 | 268,9 | 489,7 |
| 1946 | 1237,2 | 580,9 | 695,3 | 472,5 | 266,0 | 241,2 | 225,9 | 200,8 | 183,1 | 226,0 | 287,8 | 305,9 |
| 1947 | 907,2 | 1093,3 | 1902,0 | 779,0 | 454,8 | 269,1 | 322,8 | 280,7 | 285,1 | 299,5 | 407,0 | 783,0 |
| 1948 | 764,1 | 930,3 | 1092,6 | 655,3 | 410,8 | 292,0 | 241,9 | 223,1 | 206,9 | 213,5 | 254,8 | 468,8 |
| 1949 | 723,7 | 960,4 | 559,1 | 369,5 | 256,7 | 259,2 | 236,7 | 218,4 | 186,7 | 210,2 | 241,5 | 353,3 |
| 1950 | 796,4 | 1099,4 | 749,0 | 633,0 | 401,1 | 268,5 | 242,8 | 218,1 | 207,9 | 235,4 | 357,9 | 614,6 |
| 1951 | 713,3 | 859,3 | 997,3 | 677,2 | 339,3 | 280,8 | 264,7 | 251,1 | 218,8 | 212,9 | 200,6 | 322,0 |
| 1952 | 655,3 | 872,3 | 1142,0 | 555,4 | 303,2 | 301,5 | 262,4 | 235,9 | 233,7 | 253,3 | 373,0 | 406,9 |
| 1953 | 303,3 | 362,3 | 339,6 | 384,9 | 284,8 | 244,3 | 219,7 | 200,1 | 205,0 | 192,6 | 294,7 | 375,4 |
| 1954 | 266,0 | 361,6 | 273,3 | 287,5 | 233,9 | 218,8 | 186,9 | 171,2 | 161,4 | 176,1 | 207,5 | 244,2 |
| 1955 | 453,4 | 278,3 | 258,6 | 268,7 | 216,1 | 203,4 | 173,7 | 159,2 | 150,9 | 172,8 | 232,4 | 390,3 |
| 1956 | 366,1 | 252,7 | 357,1 | 268,6 | 239,8 | 225,6 | 210,2 | 207,9 | 189,5 | 186,0 | 221,0 | 402,4 |
| 1957 | 387,8 | 525,2 | 780,7 | 691,0 | 321,9 | 269,5 | 239,0 | 210,3 | 220,7 | 209,1 | 262,8 | 409,8 |
| 1958 | 278,1 | 543,3 | 455,5 | 354,0 | 338,9 | 294,4 | 235,3 | 199,1 | 220,3 | 243,1 | 297,3 | 427,3 |
| 1959 | 811,8 | 393,4 | 614,3 | 499,9 | 262,3 | 226,2 | 202,2 | 208,1 | 180,4 | 194,1 | 343,9 | 314,4 |
| 1960 | 414,4 | 653,6 | 1092,1 | 463,5 | 324,4 | 284,6 | 253,7 | 232,9 | 214,2 | 211,4 | 246,2 | 403,0 |
| 1961 | 1222,6 | 1273,1 | 1287,1 | 659,5 | 446,3 | 333,7 | 286,0 | 251,6 | 219,3 | 204,9 | 243,3 | 311,9 |
| 1962 | 519,3 | 1235,6 | 725,7 | 398,4 | 293,3 | 266,7 | 231,2 | 222,0 | 221,8 | 228,9 | 402,4 | 571,0 |
| 1963 | 639,7 | 692,7 | 449,9 | 274,9 | 236,8 | 220,6 | 205,4 | 192,7 | 173,0 | 171,8 | 230,6 | 194,4 |
| 1964 | 375,5 | 759,1 | 413,1 | 304,4 | 265,6 | 225,9 | 231,7 | 197,7 | 185,5 | 244,4 | 275,0 | 370,6 |
| 1965 | 717,9 | 1136,4 | 831,6 | 431,6 | 448,6 | 332,1 | 298,9 | 268,9 | 235,0 | 313,0 | 376,4 | 465,5 |
| 1966 | 1412,4 | 526,2 | 804,0 | 480,0 | 350,6 | 290,0 | 259,2 | 232,7 | 224,3 | 255,9 | 609,8 | 726,6 |
| 1967 | 1366,3 | 1429,9 | 1328,8 | 739,6 | 452,0 | 364,0 | 302,9 | 262,1 | 244,8 | 245,2 | 392,7 | 585,8 |
| 1968 | 682,2 | 453,2 | 541,5 | 340,1 | 256,0 | 230,8 | 218,1 | 219,1 | 221,5 | 222,9 | 200,8 | 345,9 |
| 1969 | 496,9 | 417,5 | 461,4 | 333,5 | 248,5 | 241,7 | 219,8 | 215,2 | 201,2 | 236,7 | 335,6 | 525,8 |
| 1970 | 495,0 | 460,8 | 536,2 | 289,8 | 245,9 | 211,8 | 220,5 | 200,1 | 248,7 | 256,2 | 282,5 | 293,6 |
| 1971 | 309,9 | 188,3 | 323,0 | 230,1 | 205,1 | 201,5 | 186,4 | 166,7 | 205,8 | 224,8 | 325,1 | 617,5 |
| 1972 | 527,7 | 703,9 | 792,4 | 415,6 | 295,3 | 252,3 | 248,6 | 231,9 | 268,9 | 294,5 | 376,9 | 452,1 |
| 1973 | 730,8 | 820,2 | 483,6 | 520,3 | 340,4 | 282,4 | 258,3 | 239,6 | 219,3 | 270,4 | 419,9 | 518,5 |
| 1974 | 688,6 | 490,6 | 664,4 | 518,4 | 315,1 | 276,7 | 257,4 | 224,4 | 202,0 | 235,8 | 234,4 | 350,4 |
| 1975 | 738,4 | 648,5 | 464,8 | 319,4 | 263,3 | 231,4 | 223,4 | 190,9 | 184,7 | 242,8 | 335,1 | 506,7 |
| 1976 | 490,2 | 521,9 | 530,8 | 420,8 | 288,8 | 321,7 | 325,0 | 231,1 | 294,5 | 353,9 | 427,2 | 611,4 |
| 1977 | 706,5 | 535,4 | 335,7 | 415,0 | 243,0 | 213,3 | 188,2 | 169,7 | 194,3 | 184,7 | 280,1 | 570,0 |
| 1978 | 806,3 | 473,5 | 506,4 | 286,0 | 255,6 | 239,9 | 214,2 | 194,8 | 180,9 | 187,0 | 272,2 | 324,5 |
| 1979 | 378,5 | 926,7 | 554,8 | 346,0 | 297,7 | 254,9 | 231,5 | 223,2 | 239,3 | 189,7 | 359,9 | 473,8 |
| 1980 | 748,8 | 588,3 | 383,2 | 490,6 | 268,9 | 240,0 | 233,5 | 210,9 | 205,7 | 224,5 | 280,2 | 521,1 |
| 1981 | 837,2 | 495,7 | 463,2 | 319,3 | 264,7 | 232,8 | 215,4 | 201,3 | 180,3 | 227,9 | 367,6 | 660,5 |
| 1982 | 777,2 | 492,4 | 1005,4 | 687,8 | 351,6 | 282,7 | 251,7 | 231,8 | 203,1 | 243,7 | 260,2 | 721,4 |
| 1983 | 1121,7 | 851,9 | 868,2 | 771,9 | 513,0 | 994,4 | 500,6 | 321,1 | 721,9 | 635,2 | 677,5 | 905,1 |
| 1984 | 765,2 | 441,1 | 393,9 | 435,8 | 412,0 | 263,0 | 236,6 | 223,5 | 219,4 | 210,7 | 228,9 | 313,7 |
| 1985 | 897,3 | 1073,9 | 1175,2 | 684,0 | 417,5 | 315,9 | 269,0 | 237,3 | 235,1 | 239,8 | 287,2 | 364,0 |
| 1986 | 558,9 | 613,5 | 735,1 | 389,1 | 289,9 | 244,3 | 234,3 | 228,1 | 205,2 | 182,0 | 191,7 | 560,5 |
| 1987 | 643,2 | 733,3 | 494,7 | 627,8 | 444,9 | 385,4 | 225,3 | 195,4 | 202,5 | 205,3 | 220,2 | 430,9 |
| 1988 | 623,7 | 1289,3 | 898,6 | 561,1 | 468,3 | 400,6 | 267,5 | 250,4 | 237,7 | 260,0 | 328,7 | 324,9 |
| 1989 | 778,9 | 912,3 | 877,5 | 571,2 | 326,0 | 303,4 | 263,8 | 255,4 | 248,3 | 254,0 | 269,0 | 374,5 |
| 1990 | 412,7 | 260,5 | 405,7 | 316,0 | 275,6 | 241,1 | 238,7 | 226,7 | 243,3 | 227,2 | 249,6 | 256,2 |
| 1991 | 625,1 | 745,1 | 684,5 | 853,9 | 422,6 | 288,1 | 270,6 | 241,6 | 233,8 | 270,6 | 257,0 | 316,0 |
| 1992 | 854,8 | 466,1 | 403,3 | 328,4 | 301,5 | 254,2 | 246,9 | 228,5 | 286,5 | 329,6 | 437,7 | 497,2 |
| 1993 | 390,5 | 590,3 | 652,6 | 562,1 | 307,8 | 292,4 | 248,9 | 229,4 | 221,5 | 260,1 | 243,7 | 280,5 |
| 1994 | 501,5 | 341,0 | 570,4 | 483,4 | 431,0 | 299,5 | 239,3 | 211,5 | 189,7 | 190,5 | 247,3 | 380,8 |
| 1995 | 324,6 | 1029,1 | 456,4 | 312,7 | 236,7 | 206,8 | 193,5 | 172,0 | 170,6 | 235,3 | 370,4 | 439,2 |
| 1996 | 926,5 | 853,4 | 1230,8 | 623,1 | 364,7 | 266,0 | 235,4 | 222,4 | 331,8 | 247,7 | 669,1 | 677,4 |
| 1997 | 1195,0 | 739,8 | 650,4 | 372,4 | 298,3 | 282,3 | 238,1 | 217,2 | 210,1 | 233,9 | 268,2 | 408,3 |
| 1998 | 453,3 | 663,8 | 452,9 | 298,5 | 243,5 | 235,7 | 203,1 | 197,5 | 181,0 | 247,0 | 301,8 | 325,0 |
| 1999 | 848,8 | 745,5 | 691,8 | 365,9 | 240,4 | 247,1 | 222,0 | 195,1 | 180,4 | 185,1 | 223,3 | 377,1 |
| 2000 | 839,2 | 581,8 | 461,6 | 403,3 | 235,7 | 208,5 | 207,3 | 196,6 | 233,7 | 197,5 | 217,7 | 386,2 |
| 2001 | 460,2 | 514,4 | 323,8 | 284,9 | 213,6 | 187,9 | 169,4 | 157,1 | 160,7 | 174,2 | 217,3 | 268,0 |
| 2002 | 603,2 | 795,8 | 421,0 | 258,2 | 226,8 | 192,0 | 179,2 | 166,7 | 177,5 | 149,9 | 251,8 | 426,2 |
| 2003 | 769,0 | 526,9 | 435,1 | 310,7 | 251,0 | 224,0 | 206,4 | 199,5 | 201,2 | 232,6 | 298,8 | 401,7 |
| 2004 | 533,1 | 652,0 | 668,5 | 610,3 | 362,0 | 322,3 | 293,1 | 251,5 | 212,3 | 246,1 | 284,3 | 555,8 |
| 2005 | 813,2 | 871,1 | 624,8 | 487,4 | 330,6 | 311,7 | 280,3 | 247,9 | 233,2 | 211,9 | 298,1 | 540,9 |
| 2006 | 443,3 | 796,9 | 489,4 | 327,9 | 281,1 | 250,2 | 226,3 | 225,7 | 221,1 | 284,7 | 364,4 | 619,1 |
| 2007 | 1257,5 | 682,5 | 383,6 | 333,9 | 297,7 | 264,6 | 224,6 | 230,9 | 195,4 | 213,0 | 306,8 | 353,2 |
| 2008 | 386,2 | 949,9 | 833,0 | 682,0 | 371,3 | 313,4 | 275,1 | 250,1 | 244,8 | 282,6 | 417,1 | 810,4 |
| 2009 | 988,9 | 1321,9 | 739,9 | 543,3 | 359,1 | 328,9 | 297,2 | 288,0 | 282,0 | 404,2 | 540,2 | 998,0 |
| 2010 | 1200,0 | 656,8 | 967,1 | 743,2 | 388,2 | 312,8 | 302,4 | 262,4 | 248,8 | 295,3 | 469,2 | 986,4 |
| 2011 | 1306,0 | 525,6 | 1122,9 | 713,0 | 379,0 | 325,9 | 294,2 | 267,0 | 237,6 | 282,3 | 332,0 | 647,0 |
| Mínimas | 229,7 | 188,3 | 258,6 | 230,1 | 205,1 | 187,3 | 169,4 | 157,1 | 150,9 | 149,9 | 191,7 | 194,4 |
| Médias | 707,2 | 718,6 | 676,3 | 461,5 | 313,9 | 273,3 | 240,3 | 217,8 | 220,6 | 241,7 | 313,5 | 482,1 |
| Máximas | 1412,4 | 1645,0 | 1902,0 | 853,9 | 513,0 | 994,4 | 500,6 | 321,1 | 721,9 | 635,2 | 677,5 | 1062,6 |

JOSÉ HENRIQUE RODRIGUES LOPES
 Resp. Técnico MG-12545/D

Tabela 4.72 – Série de Vazões Artificiais Médias Mensais da UHE Ilha dos Pombos.

| UHE ILHA DOS POMBOS - Vazões artificiais médias mensais (m³/s) | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| Anos | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
| 1931 | 843,4 | 1931,7 | 1419,3 | 839,4 | 474,7 | 337,3 | 301,7 | 269,0 | 266,7 | 348,4 | 341,5 | 664,0 |
| 1932 | 1193,2 | 1033,2 | 883,6 | 454,5 | 412,3 | 375,7 | 245,0 | 243,6 | 257,8 | 329,1 | 378,3 | 927,8 |
| 1933 | 1083,4 | 585,1 | 516,9 | 354,2 | 327,6 | 285,2 | 240,2 | 204,3 | 220,2 | 334,3 | 370,4 | 668,8 |
| 1934 | 1054,6 | 444,8 | 511,8 | 333,7 | 258,5 | 218,2 | 192,1 | 176,0 | 175,1 | 190,0 | 203,2 | 558,0 |
| 1935 | 664,9 | 1500,6 | 803,8 | 515,0 | 320,0 | 284,3 | 247,2 | 221,4 | 211,3 | 307,0 | 269,6 | 266,4 |
| 1936 | 240,5 | 361,9 | 1106,1 | 632,2 | 293,1 | 211,5 | 183,7 | 179,4 | 208,5 | 210,1 | 245,3 | 528,6 |
| 1937 | 1047,7 | 1085,8 | 533,5 | 444,6 | 407,0 | 269,8 | 222,1 | 192,0 | 182,7 | 294,5 | 396,6 | 1162,2 |
| 1938 | 1046,1 | 891,4 | 804,4 | 561,4 | 377,3 | 311,2 | 268,8 | 284,2 | 244,7 | 304,8 | 417,1 | 661,1 |
| 1939 | 848,6 | 801,8 | 508,8 | 569,8 | 302,7 | 250,3 | 218,1 | 196,5 | 188,0 | 223,1 | 266,1 | 400,5 |
| 1940 | 859,9 | 1129,7 | 969,3 | 447,4 | 309,5 | 287,0 | 222,6 | 201,5 | 211,0 | 293,3 | 496,7 | 607,1 |
| 1941 | 661,2 | 443,6 | 553,0 | 460,6 | 332,5 | 287,9 | 276,6 | 203,0 | 323,6 | 336,4 | 378,5 | 718,2 |
| 1942 | 697,1 | 616,1 | 878,7 | 475,3 | 380,2 | 318,7 | 316,1 | 221,1 | 255,9 | 305,1 | 399,8 | 689,3 |
| 1943 | 1535,3 | 1160,3 | 905,2 | 538,7 | 405,5 | 347,6 | 285,9 | 265,2 | 260,3 | 391,8 | 402,0 | 657,8 |
| 1944 | 663,7 | 1083,0 | 1377,7 | 636,3 | 405,3 | 319,3 | 281,1 | 244,6 | 220,4 | 249,8 | 274,2 | 399,8 |
| 1945 | 637,0 | 1109,2 | 652,4 | 585,0 | 370,7 | 302,6 | 316,3 | 233,5 | 212,1 | 200,6 | 328,7 | 623,2 |
| 1946 | 1399,6 | 651,0 | 719,0 | 554,1 | 348,3 | 288,2 | 255,1 | 221,6 | 194,4 | 269,1 | 350,5 | 363,8 |
| 1947 | 1098,7 | 1304,4 | 2243,2 | 932,4 | 563,7 | 342,1 | 443,0 | 369,0 | 385,8 | 411,3 | 513,7 | 968,3 |
| 1948 | 915,6 | 1193,7 | 1385,9 | 814,5 | 479,4 | 363,6 | 286,0 | 280,3 | 244,9 | 320,2 | 383,9 | 734,4 |
| 1949 | 970,8 | 1322,9 | 803,7 | 530,3 | 381,4 | 344,9 | 276,0 | 244,0 | 224,8 | 290,4 | 338,0 | 497,3 |
| 1950 | 1110,4 | 1417,0 | 1053,2 | 831,1 | 536,9 | 375,5 | 300,7 | 253,1 | 234,7 | 295,6 | 506,3 | 822,1 |
| 1951 | 899,8 | 1125,8 | 1337,5 | 882,3 | 422,0 | 327,8 | 331,6 | 263,4 | 250,8 | 260,6 | 268,7 | 457,5 |
| 1952 | 888,5 | 1128,2 | 1498,9 | 765,1 | 368,7 | 466,9 | 348,3 | 324,2 | 344,9 | 360,5 | 460,1 | 604,5 |
| 1953 | 429,6 | 506,8 | 425,7 | 436,2 | 338,4 | 256,3 | 290,7 | 267,6 | 229,1 | 304,8 | 390,0 | 452,9 |
| 1954 | 318,0 | 426,4 | 332,4 | 343,1 | 273,0 | 251,2 | 208,5 | 190,2 | 176,6 | 192,2 | 231,2 | 273,2 |
| 1955 | 536,7 | 329,3 | 301,3 | 307,5 | 240,0 | 224,5 | 190,1 | 173,0 | 163,4 | 187,5 | 257,4 | 447,3 |
| 1956 | 432,9 | 287,1 | 441,6 | 314,8 | 270,9 | 259,7 | 232,5 | 238,0 | 209,5 | 208,8 | 248,0 | 468,2 |
| 1957 | 464,3 | 620,5 | 912,4 | 837,4 | 384,2 | 305,4 | 269,2 | 236,0 | 256,0 | 235,5 | 312,9 | 486,4 |
| 1958 | 320,7 | 649,7 | 536,1 | 428,2 | 408,4 | 351,1 | 271,0 | 224,7 | 251,4 | 276,5 | 352,5 | 513,3 |
| 1959 | 953,8 | 470,4 | 722,6 | 601,3 | 306,8 | 255,4 | 226,5 | 230,5 | 199,0 | 214,4 | 393,5 | 361,0 |
| 1960 | 480,0 | 746,5 | 1287,4 | 545,0 | 375,1 | 323,7 | 286,7 | 262,1 | 240,9 | 236,5 | 277,2 | 474,9 |
| 1961 | 1416,6 | 1482,8 | 1513,4 | 782,4 | 530,8 | 383,8 | 323,6 | 284,1 | 246,7 | 229,4 | 271,7 | 358,5 |
| 1962 | 592,4 | 1437,8 | 850,5 | 472,1 | 341,8 | 299,6 | 257,6 | 248,0 | 253,4 | 271,4 | 474,7 | 656,3 |
| 1963 | 749,1 | 797,7 | 534,2 | 318,5 | 262,1 | 242,1 | 224,5 | 209,5 | 187,0 | 184,4 | 258,8 | 211,8 |
| 1964 | 424,3 | 881,3 | 486,6 | 341,2 | 297,0 | 248,4 | 256,3 | 215,6 | 201,6 | 269,9 | 305,9 | 427,5 |
| 1965 | 846,0 | 1321,6 | 974,7 | 501,8 | 526,6 | 378,4 | 339,9 | 301,5 | 261,0 | 360,8 | 443,3 | 540,9 |
| 1966 | 1648,2 | 615,3 | 939,9 | 576,5 | 413,0 | 329,6 | 291,7 | 262,5 | 255,8 | 294,8 | 721,4 | 825,0 |
| 1967 | 1609,8 | 1717,6 | 1593,1 | 897,2 | 537,2 | 423,7 | 350,6 | 297,8 | 276,3 | 276,4 | 459,7 | 678,3 |
| 1968 | 796,8 | 522,8 | 622,1 | 396,9 | 291,3 | 259,3 | 245,3 | 247,7 | 249,9 | 249,1 | 223,2 | 401,5 |
| 1969 | 575,0 | 479,4 | 537,5 | 386,6 | 277,3 | 268,8 | 243,9 | 238,3 | 222,1 | 260,8 | 382,9 | 606,1 |
| 1970 | 552,9 | 530,9 | 623,5 | 336,2 | 276,4 | 237,2 | 248,1 | 223,3 | 283,4 | 289,8 | 325,4 | 336,2 |
| 1971 | 355,6 | 212,7 | 360,8 | 260,3 | 230,7 | 224,7 | 209,9 | 184,8 | 231,2 | 254,9 | 368,6 | 700,8 |
| 1972 | 611,4 | 801,5 | 929,6 | 484,1 | 335,0 | 285,8 | 280,2 | 262,3 | 303,9 | 342,6 | 440,2 | 526,2 |
| 1973 | 834,7 | 951,9 | 551,8 | 595,7 | 393,4 | 320,7 | 292,0 | 270,9 | 247,5 | 307,1 | 483,7 | 586,1 |
| 1974 | 789,8 | 570,7 | 745,5 | 609,8 | 359,0 | 313,5 | 292,2 | 252,8 | 228,9 | 266,1 | 264,4 | 397,2 |
| 1975 | 834,1 | 725,5 | 538,4 | 366,1 | 297,7 | 259,7 | 251,7 | 214,1 | 205,8 | 272,6 | 380,3 | 571,4 |
| 1976 | 562,2 | 597,7 | 605,1 | 481,4 | 328,0 | 368,0 | 369,6 | 272,2 | 335,8 | 406,9 | 489,3 | 697,3 |
| 1977 | 782,8 | 632,5 | 378,1 | 467,0 | 281,7 | 241,8 | 216,6 | 193,5 | 225,9 | 217,7 | 329,8 | 649,3 |
| 1978 | 927,3 | 562,3 | 597,1 | 339,2 | 290,1 | 271,2 | 242,8 | 220,2 | 205,3 | 211,7 | 307,9 | 373,7 |
| 1979 | 431,6 | 1056,9 | 640,5 | 396,7 | 339,2 | 288,5 | 261,4 | 251,4 | 270,9 | 214,4 | 409,2 | 533,1 |
| 1980 | 864,6 | 670,8 | 437,7 | 559,5 | 312,8 | 278,4 | 272,0 | 244,6 | 239,9 | 261,8 | 326,7 | 593,1 |
| 1981 | 940,6 | 572,5 | 525,7 | 374,8 | 308,9 | 273,5 | 252,8 | 235,3 | 210,8 | 264,4 | 425,5 | 755,0 |
| 1982 | 877,1 | 567,7 | 1129,6 | 803,5 | 408,9 | 327,4 | 294,6 | 272,5 | 241,0 | 284,7 | 306,2 | 814,7 |
| 1983 | 1374,3 | 1030,0 | 973,6 | 858,0 | 582,3 | 1165,1 | 560,9 | 353,4 | 823,6 | 763,6 | 842,2 | 1133,2 |
| 1984 | 918,3 | 498,9 | 439,3 | 474,5 | 455,4 | 294,7 | 260,1 | 248,2 | 240,3 | 227,1 | 249,0 | 346,9 |
| 1985 | 1077,6 | 1306,5 | 1372,6 | 724,3 | 456,8 | 344,1 | 307,5 | 272,1 | 260,3 | 254,1 | 294,3 | 411,3 |
| 1986 | 629,1 | 678,2 | 817,5 | 401,9 | 296,1 | 283,8 | 238,7 | 265,4 | 241,0 | 210,7 | 222,8 | 615,7 |
| 1987 | 697,9 | 806,2 | 523,8 | 711,3 | 481,2 | 403,3 | 237,4 | 202,7 | 235,3 | 210,1 | 237,5 | 515,1 |
| 1988 | 667,2 | 1488,2 | 993,1 | 580,1 | 500,1 | 433,6 | 282,3 | 292,0 | 278,0 | 270,0 | 349,8 | 377,0 |
| 1989 | 854,3 | 996,3 | 990,1 | 607,4 | 357,5 | 333,1 | 283,8 | 272,1 | 259,9 | 263,1 | 287,6 | 414,0 |
| 1990 | 459,9 | 272,0 | 439,6 | 355,4 | 291,0 | 279,0 | 276,6 | 261,4 | 280,9 | 265,1 | 288,4 | 296,3 |
| 1991 | 728,3 | 859,6 | 730,5 | 950,7 | 462,6 | 291,1 | 317,3 | 284,4 | 270,9 | 314,4 | 297,6 | 338,0 |
| 1992 | 963,8 | 522,9 | 435,3 | 337,5 | 307,5 | 294,7 | 285,1 | 263,9 | 329,1 | 345,5 | 480,0 | 553,3 |
| 1993 | 415,1 | 625,8 | 708,8 | 614,5 | 360,3 | 339,4 | 289,3 | 266,8 | 255,3 | 277,9 | 286,4 | 326,1 |
| 1994 | 587,3 | 351,9 | 648,5 | 535,3 | 459,9 | 303,3 | 246,2 | 230,3 | 196,6 | 193,2 | 263,2 | 424,9 |
| 1995 | 353,6 | 1122,6 | 496,6 | 332,5 | 247,3 | 215,1 | 208,3 | 186,5 | 179,2 | 264,3 | 408,2 | 502,7 |
| 1996 | 1024,7 | 887,5 | 1300,5 | 677,2 | 399,5 | 290,9 | 253,9 | 237,4 | 389,9 | 273,0 | 757,3 | 727,4 |
| 1997 | 1351,6 | 809,8 | 722,6 | 416,7 | 338,4 | 318,4 | 277,5 | 254,9 | 220,2 | 264,8 | 282,2 | 449,4 |
| 1998 | 463,9 | 710,3 | 497,5 | 329,9 | 258,8 | 250,8 | 218,0 | 213,5 | 188,0 | 273,5 | 347,1 | 368,6 |
| 1999 | 913,9 | 821,6 | 770,1 | 401,9 | 266,7 | 282,9 | 258,5 | 226,0 | 208,6 | 213,7 | 256,2 | 439,2 |
| 2000 | 953,1 | 662,0 | 531,4 | 464,3 | 274,1 | 242,0 | 240,2 | 228,0 | 270,5 | 230,1 | 246,2 | 438,0 |
| 2001 | 528,7 | 583,9 | 378,6 | 334,5 | 245,9 | 216,2 | 193,7 | 179,7 | 185,0 | 199,7 | 249,3 | 302,9 |
| 2002 | 676,9 | 914,6 | 486,2 | 299,4 | 260,2 | 220,7 | 205,2 | 190,6 | 202,3 | 172,0 | 286,4 | 493,0 |
| 2003 | 857,9 | 623,5 | 499,7 | 363,7 | 288,0 | 256,9 | 236,2 | 226,4 | 227,3 | 262,6 | 349,2 | 453,6 |
| 2004 | 618,4 | 735,0 | 783,8 | 695,3 | 420,6 | 373,3 | 336,4 | 289,9 | 243,5 | 282,7 | 329,5 | 635,4 |
| 2005 | 913,1 | 1013,0 | 713,1 | 557,3 | 381,7 | 363,4 | 324,8 | 287,9 | 268,5 | 242,0 | 343,6 | 614,4 |
| 2006 | 485,5 | 856,0 | 538,5 | 364,6 | 309,9 | 274,0 | 246,1 | 245,8 | 240,0 | 312,2 | 403,5 | 683,2 |
| 2007 | 1369,1 | 742,5 | 418,8 | 364,1 | 323,7 | 286,0 | 240,4 | 248,5 | 207,6 | 226,0 | 332,0 | 384,1 |
| 2008 | 426,6 | 1028,5 | 905,5 | 747,9 | 412,4 | 345,2 | 301,2 | 272,9 | 266,1 | 308,5 | 457,3 | 890,8 |
| 2009 | 1083,1 | 1430,3 | 808,7 | 601,7 | 398,0 | 363,4 | 326,2 | 317,5 | 309,8 | 448,8 | 601,9 | 1088,1 |
| 2010 | 1293,2 | 714,4 | 1046,0 | 808,2 | 434,1 | 346,5 | 334,7 | 288,9 | 272,8 | 326,3 | 525,7 | 1084,6 |
| 2011 | 1428,2 | 577,9 | 1214,1 | 773,0 | 422,0 | 360,2 | 323,9 | 292,9 | 259,1 | 310,4 | 367,0 | 727,7 |
| Mínimas | 240,5 | 212,7 | 301,3 | 260,3 | 230,7 | 211,5 | 183,7 | 173,0 | 163,4 | 172,0 | 203,2 | 211,8 |
| Médias | 820,2 | 836,3 | 786,7 | 535,8 | 363,0 | 314,0 | 273,6 | 245,9 | 249,9 | 278,7 | 364,1 | 564,6 |
| Máximas | 1648,2 | 1931,7 | 2243,2 | 950,7 | 582,3 | 1165,1 | 560,9 | 369,0 | 823,6 | 763,6 | 842,2 | 1162,2 |



UHE ITAOCARA I

Tabela 4.73 – Série de Vazões Artificiais Médias Mensais da UHE Itaocara I.

| UHE ITAOCARA I - Vazões artificiais médias mensais (m ³ /s) | | | | | | | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Anos | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
| 1931 | 888,9 | 2018,2 | 1525,7 | 905,3 | 511,1 | 366,3 | 326,7 | 288,6 | 285,4 | 371,9 | 361,1 | 709,7 |
| 1932 | 1264,7 | 1082,7 | 953,6 | 491,0 | 443,9 | 407,4 | 266,0 | 261,6 | 276,0 | 352,0 | 395,6 | 976,7 |
| 1933 | 1162,3 | 627,6 | 557,3 | 379,4 | 351,8 | 305,0 | 257,1 | 218,2 | 234,6 | 354,7 | 393,7 | 697,4 |
| 1934 | 1134,8 | 479,0 | 554,1 | 361,9 | 280,6 | 234,0 | 205,9 | 187,6 | 185,5 | 205,0 | 214,0 | 589,6 |
| 1935 | 701,5 | 1598,2 | 869,7 | 553,0 | 350,2 | 306,7 | 264,3 | 237,9 | 224,1 | 329,3 | 294,2 | 286,9 |
| 1936 | 261,4 | 367,1 | 1177,8 | 698,0 | 323,0 | 230,2 | 200,9 | 191,5 | 227,2 | 226,3 | 261,0 | 548,1 |
| 1937 | 1117,9 | 1159,2 | 575,3 | 476,5 | 441,9 | 293,0 | 239,3 | 205,5 | 194,8 | 312,8 | 418,4 | 1223,1 |
| 1938 | 1126,0 | 942,8 | 864,0 | 604,2 | 409,0 | 337,3 | 289,1 | 306,1 | 262,8 | 325,8 | 450,3 | 691,2 |
| 1939 | 902,7 | 867,8 | 540,8 | 617,2 | 330,2 | 270,7 | 234,0 | 211,4 | 200,3 | 237,6 | 279,6 | 427,0 |
| 1940 | 908,5 | 1205,3 | 1039,3 | 486,4 | 335,4 | 308,8 | 238,0 | 214,2 | 221,2 | 309,3 | 526,1 | 647,3 |
| 1941 | 708,7 | 473,2 | 594,0 | 499,3 | 353,6 | 306,2 | 295,2 | 215,6 | 338,9 | 368,9 | 401,0 | 764,0 |
| 1942 | 751,2 | 655,2 | 939,8 | 512,6 | 411,7 | 341,7 | 338,6 | 236,7 | 269,5 | 321,6 | 427,0 | 728,9 |
| 1943 | 1622,1 | 1237,7 | 967,9 | 582,7 | 434,6 | 370,7 | 305,0 | 281,9 | 274,9 | 413,1 | 434,1 | 693,5 |
| 1944 | 708,0 | 1147,3 | 1472,4 | 687,2 | 438,2 | 344,8 | 301,7 | 261,0 | 234,1 | 259,9 | 292,4 | 426,3 |
| 1945 | 672,1 | 1189,0 | 698,3 | 630,8 | 400,9 | 323,4 | 346,7 | 249,6 | 226,6 | 213,2 | 345,5 | 366,2 |
| 1946 | 1509,7 | 696,4 | 768,0 | 597,4 | 376,9 | 310,5 | 272,6 | 236,6 | 205,0 | 286,0 | 372,5 | 382,1 |
| 1947 | 1159,4 | 1390,4 | 2372,3 | 1006,9 | 608,3 | 371,1 | 476,2 | 393,9 | 416,4 | 440,3 | 545,7 | 1009,1 |
| 1948 | 992,9 | 1253,9 | 1476,2 | 878,4 | 515,3 | 393,5 | 308,6 | 302,7 | 263,3 | 341,1 | 404,7 | 783,3 |
| 1949 | 1010,1 | 1408,7 | 867,2 | 571,7 | 411,6 | 368,7 | 296,4 | 259,6 | 240,2 | 303,2 | 364,3 | 527,1 |
| 1950 | 1161,9 | 1517,2 | 1127,0 | 885,3 | 584,0 | 405,9 | 323,8 | 270,6 | 249,7 | 316,0 | 532,4 | 882,5 |
| 1951 | 947,5 | 1187,1 | 1418,7 | 950,9 | 454,3 | 356,3 | 356,4 | 282,0 | 268,0 | 276,2 | 282,3 | 490,9 |
| 1952 | 938,0 | 1193,8 | 1593,3 | 824,6 | 399,3 | 498,7 | 375,1 | 345,2 | 367,4 | 380,1 | 492,2 | 645,0 |
| 1953 | 460,1 | 536,1 | 453,2 | 478,0 | 364,2 | 274,2 | 308,5 | 283,5 | 243,5 | 318,6 | 419,9 | 486,1 |
| 1954 | 346,2 | 452,8 | 362,2 | 372,7 | 295,2 | 274,1 | 223,4 | 202,1 | 186,2 | 204,8 | 247,1 | 286,9 |
| 1955 | 575,6 | 361,7 | 326,7 | 330,8 | 257,4 | 239,8 | 201,5 | 182,0 | 173,0 | 196,5 | 272,4 | 467,4 |
| 1956 | 476,5 | 303,0 | 485,5 | 343,8 | 291,1 | 282,8 | 248,9 | 256,6 | 223,2 | 219,5 | 261,1 | 500,3 |
| 1957 | 504,0 | 665,2 | 966,2 | 904,4 | 417,6 | 328,8 | 288,2 | 252,3 | 274,2 | 251,9 | 337,3 | 522,3 |
| 1958 | 338,2 | 703,2 | 574,1 | 463,4 | 441,3 | 380,4 | 294,4 | 241,7 | 268,8 | 290,0 | 382,1 | 554,5 |
| 1959 | 1014,7 | 507,9 | 766,9 | 654,1 | 333,6 | 275,6 | 242,0 | 246,0 | 211,8 | 226,9 | 415,3 | 388,9 |
| 1960 | 511,3 | 791,3 | 1373,8 | 592,4 | 403,9 | 347,6 | 307,2 | 279,5 | 255,9 | 249,3 | 297,5 | 503,9 |
| 1961 | 1489,0 | 1580,7 | 1614,6 | 840,3 | 576,6 | 413,0 | 345,8 | 304,0 | 262,6 | 242,7 | 288,2 | 383,1 |
| 1962 | 623,8 | 1526,7 | 915,3 | 512,1 | 370,2 | 321,5 | 274,9 | 263,2 | 270,7 | 288,5 | 513,0 | 688,1 |
| 1963 | 811,4 | 845,7 | 578,5 | 347,5 | 280,7 | 257,9 | 238,2 | 221,5 | 197,3 | 193,0 | 277,5 | 226,1 |
| 1964 | 443,8 | 935,4 | 536,9 | 366,6 | 318,9 | 264,1 | 272,7 | 228,5 | 212,9 | 285,3 | 325,5 | 453,4 |
| 1965 | 897,1 | 1394,8 | 1053,7 | 541,4 | 567,8 | 406,3 | 364,2 | 321,0 | 274,2 | 382,4 | 473,4 | 581,9 |
| 1966 | 1749,4 | 662,2 | 1002,4 | 626,4 | 447,3 | 354,6 | 312,0 | 279,4 | 274,1 | 310,1 | 772,4 | 854,3 |
| 1967 | 1716,9 | 1843,2 | 1693,6 | 973,3 | 579,2 | 455,7 | 377,9 | 319,7 | 294,3 | 290,6 | 489,8 | 718,6 |
| 1968 | 857,1 | 555,4 | 669,2 | 430,6 | 313,8 | 277,8 | 261,2 | 263,6 | 266,1 | 263,4 | 237,3 | 427,5 |
| 1969 | 607,0 | 518,5 | 579,3 | 422,3 | 297,1 | 286,3 | 259,4 | 252,5 | 234,5 | 273,5 | 411,4 | 652,3 |
| 1970 | 590,2 | 570,5 | 676,0 | 366,0 | 298,9 | 252,8 | 265,6 | 234,3 | 309,2 | 309,0 | 350,8 | 362,6 |
| 1971 | 384,5 | 221,3 | 395,8 | 285,0 | 249,0 | 242,1 | 226,9 | 195,5 | 246,9 | 276,4 | 389,0 | 747,1 |
| 1972 | 655,7 | 846,9 | 1003,4 | 525,8 | 360,0 | 306,2 | 298,4 | 280,2 | 320,9 | 368,0 | 468,8 | 560,5 |
| 1973 | 882,8 | 1027,3 | 591,2 | 639,3 | 425,6 | 343,2 | 312,4 | 289,1 | 262,5 | 323,4 | 518,7 | 620,4 |
| 1974 | 848,3 | 622,6 | 785,0 | 661,9 | 387,5 | 334,5 | 315,4 | 268,9 | 242,8 | 275,4 | 285,0 | 422,6 |
| 1975 | 895,8 | 775,6 | 589,2 | 400,1 | 319,1 | 277,2 | 268,3 | 227,0 | 214,9 | 291,1 | 388,7 | 626,9 |
| 1976 | 609,8 | 637,4 | 648,0 | 527,1 | 354,4 | 402,6 | 399,6 | 296,2 | 359,1 | 438,4 | 522,7 | 738,0 |
| 1977 | 829,7 | 698,2 | 403,6 | 501,8 | 308,0 | 261,1 | 232,3 | 206,0 | 240,5 | 234,8 | 342,0 | 700,7 |
| 1978 | 989,7 | 601,8 | 641,3 | 367,9 | 310,9 | 293,1 | 259,6 | 234,8 | 217,6 | 222,6 | 323,4 | 403,0 |
| 1979 | 462,0 | 1120,8 | 689,4 | 428,9 | 364,0 | 308,7 | 279,0 | 266,8 | 292,5 | 232,1 | 436,5 | 564,9 |
| 1980 | 921,8 | 721,5 | 478,0 | 599,6 | 337,0 | 296,0 | 293,1 | 259,3 | 256,6 | 280,9 | 349,2 | 626,1 |
| 1981 | 1003,4 | 622,9 | 559,8 | 408,6 | 333,7 | 294,5 | 269,7 | 251,4 | 223,0 | 281,3 | 457,9 | 803,3 |
| 1982 | 928,7 | 606,8 | 1193,1 | 872,8 | 441,9 | 351,9 | 320,1 | 293,8 | 258,8 | 300,6 | 333,1 | 848,4 |
| 1983 | 1466,4 | 1101,6 | 1031,7 | 913,3 | 619,7 | 1237,8 | 603,3 | 384,2 | 861,3 | 817,1 | 898,8 | 1186,4 |
| 1984 | 982,0 | 544,9 | 468,9 | 505,7 | 492,6 | 317,4 | 278,2 | 264,4 | 257,9 | 243,8 | 262,2 | 370,0 |
| 1985 | 1112,6 | 1411,2 | 1465,3 | 777,3 | 492,1 | 371,6 | 329,2 | 289,7 | 278,1 | 271,7 | 311,5 | 431,9 |
| 1986 | 681,3 | 720,7 | 875,2 | 438,3 | 322,1 | 305,0 | 256,2 | 283,4 | 257,9 | 226,4 | 237,1 | 640,0 |
| 1987 | 754,4 | 873,1 | 564,0 | 757,3 | 514,3 | 435,8 | 261,3 | 220,1 | 253,3 | 226,3 | 256,9 | 546,4 |
| 1988 | 709,3 | 1568,2 | 1063,2 | 619,4 | 537,8 | 469,3 | 306,4 | 312,4 | 296,2 | 286,0 | 381,2 | 397,7 |
| 1989 | 914,5 | 1047,6 | 1056,0 | 653,2 | 388,0 | 359,4 | 305,0 | 295,9 | 278,3 | 284,7 | 306,5 | 443,5 |
| 1990 | 496,5 | 288,0 | 472,1 | 386,1 | 315,0 | 296,8 | 294,3 | 278,1 | 299,8 | 285,8 | 305,9 | 316,6 |
| 1991 | 765,5 | 926,1 | 760,3 | 1027,4 | 507,9 | 313,7 | 341,0 | 303,6 | 285,8 | 343,7 | 317,3 | 351,4 |
| 1992 | 1019,1 | 571,9 | 470,1 | 363,1 | 333,3 | 313,5 | 303,3 | 280,0 | 345,1 | 376,7 | 510,3 | 600,1 |
| 1993 | 445,2 | 659,2 | 758,6 | 667,3 | 389,3 | 365,9 | 309,6 | 284,2 | 270,2 | 300,3 | 306,3 | 346,0 |
| 1994 | 626,0 | 387,9 | 680,2 | 586,2 | 494,0 | 327,1 | 263,8 | 245,2 | 209,0 | 200,6 | 281,5 | 453,2 |
| 1995 | 381,9 | 1198,0 | 540,4 | 364,6 | 268,9 | 232,1 | 224,9 | 200,1 | 187,4 | 285,5 | 440,5 | 522,7 |
| 1996 | 1103,3 | 943,3 | 1378,6 | 731,1 | 432,1 | 315,9 | 274,9 | 255,6 | 419,4 | 292,7 | 798,9 | 772,2 |
| 1997 | 1420,8 | 869,5 | 779,1 | 448,8 | 361,9 | 345,4 | 297,1 | 271,4 | 232,8 | 283,4 | 301,8 | 486,8 |
| 1998 | 501,0 | 748,4 | 541,0 | 363,1 | 279,3 | 271,5 | 232,9 | 227,4 | 200,7 | 297,0 | 371,6 | 393,6 |
| 1999 | 967,6 | 875,4 | 829,7 | 437,2 | 288,9 | 302,7 | 277,8 | 241,7 | 222,4 | 227,3 | 271,6 | 468,7 |
| 2000 | 1011,7 | 710,5 | 568,8 | 507,4 | 295,1 | 259,2 | 255,8 | 242,8 | 291,5 | 244,9 | 259,3 | 469,2 |
| 2001 | 573,1 | 629,3 | 400,8 | 373,2 | 263,6 | 231,7 | 205,9 | 190,0 | 199,1 | 215,5 | 267,1 | 321,2 |
| 2002 | 720,0 | 980,8 | 523,9 | 331,7 | 280,2 | 236,5 | 219,7 | 203,7 | 214,3 | 181,8 | 306,7 | 531,5 |
| 2003 | 888,6 | 698,2 | 534,8 | 392,1 | 307,4 | 273,1 | 250,0 | 238,0 | 241,4 | 277,8 | 364,6 | 491,0 |
| 2004 | 665,0 | 760,4 | 858,9 | 742,4 | 456,6 | 405,5 | 361,4 | 311,6 | 259,5 | 300,1 | 349,4 | 677,0 |
| 2005 | 962,5 | 1091,7 | 760,0 | 600,5 | 412,7 | 394,2 | 347,1 | 307,3 | 283,4 | 259,8 | 367,7 | 657,2 |
| 2006 | 508,3 | 899,0 | 566,1 | 378,0 | 317,8 | 278,1 | 247,4 | 244,4 | 240,9 | 323,7 | 424,7 | 719,1 |
| 2007 | 1442,3 | 781,6 | 440,1 | 375,8 | 333,3 | 291,8 | 244,4 | 248,6 | 206,5 | 231,3 | 350,9 | 403,9 |
| 2008 | 452,6 | 1087,1 | 957,1 | 787,2 | 431,9 | 358,3 | 306,6 | 276,8 | 269,7 | 320,8 | 485,3 | 938,8 |
| 2009 | 1141,2 | 1506,8 | 853,8 | 630,7 | 415,2 | 376,2 | 336,4 | 324,9 | 319,9 | 475,1 | 635,2 | 1151,2 |
| 2010 | 1367,5 | 752,1 | 1099,9 | 846,2 | 452,8 | 357,5 | 345,1 | 291,3 | 275,7 | 337,0 | 551,0 | 1144,4 |
| 2011 | 1503,4 | 608,0 | 1275,4 | 807,8 | 439,7 | 371,8 | 330,8 | 294,8 | 261,3 | 321,1 | 383,2 | 765,9 |
| Mínimas | 261,4 | 221,3 | 326,7 | 285,0 | 249,0 | 230,2 | 200,9 | 182,0 | 173,0 | 181,8 | 214,0 | 226,1 |
| Médias | 872,3 | 891,3 | 841,1 | 577,8 | 390,8 | 336,7 | 292,4 | 261,4 | 264,9 | 296,3 | 387,4 | 598,6 |
| Máximas | 1749,4 | 2018,2 | 2372,3 | 1027,4 | 619,7 | 1237,8 | 603,3 | 393,9 | 861,3 | 817,1 | 898,8 | 1223,1 |

JOSÉ HENRIQUE RODRIGUES LOPES
Resp. Técnico MG-12545/D

UHE ITAOCARA I

- Vazão Sanitária

A vazão sanitária foi considerada nula, já que a Casa de Força é localizada no pé da barragem, não havendo, portanto, derivação de vazão.

- Evaporação Líquida

Foram consideradas as alturas de evaporação líquida média de cada mês do ano no reservatório, isto é, o saldo entre a evaporação de superfície líquida e a evapotranspiração na sua bacia hidráulica. Sua estimativa, foi realizada com o emprego do programa SisEvapo, adotado pelo ONS, considerando-se as seguintes estações: Itaperuna - RJ (2141045), Vassouras - RJ (2243151), Cordeiro - RJ (2242074), Cataguases- MG (2142050).

Tabela 4.74 – Alturas de Evaporação Líquida no Reservatório.

| Mês | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Evap. (mm) | -15 | 0 | 47 | 75 | 77 | 58 | 35 | -5 | -6 | -7 | -16 | -15 |

- Curva-Chave do Canal de Fuga

A curva-chave definida no Projeto Básico (SPEC, 2014) e utilizada como premissa para os estudos energéticos, para o canal de fuga da UHE Itaipocara I esta apresentada na Figura 4.53.

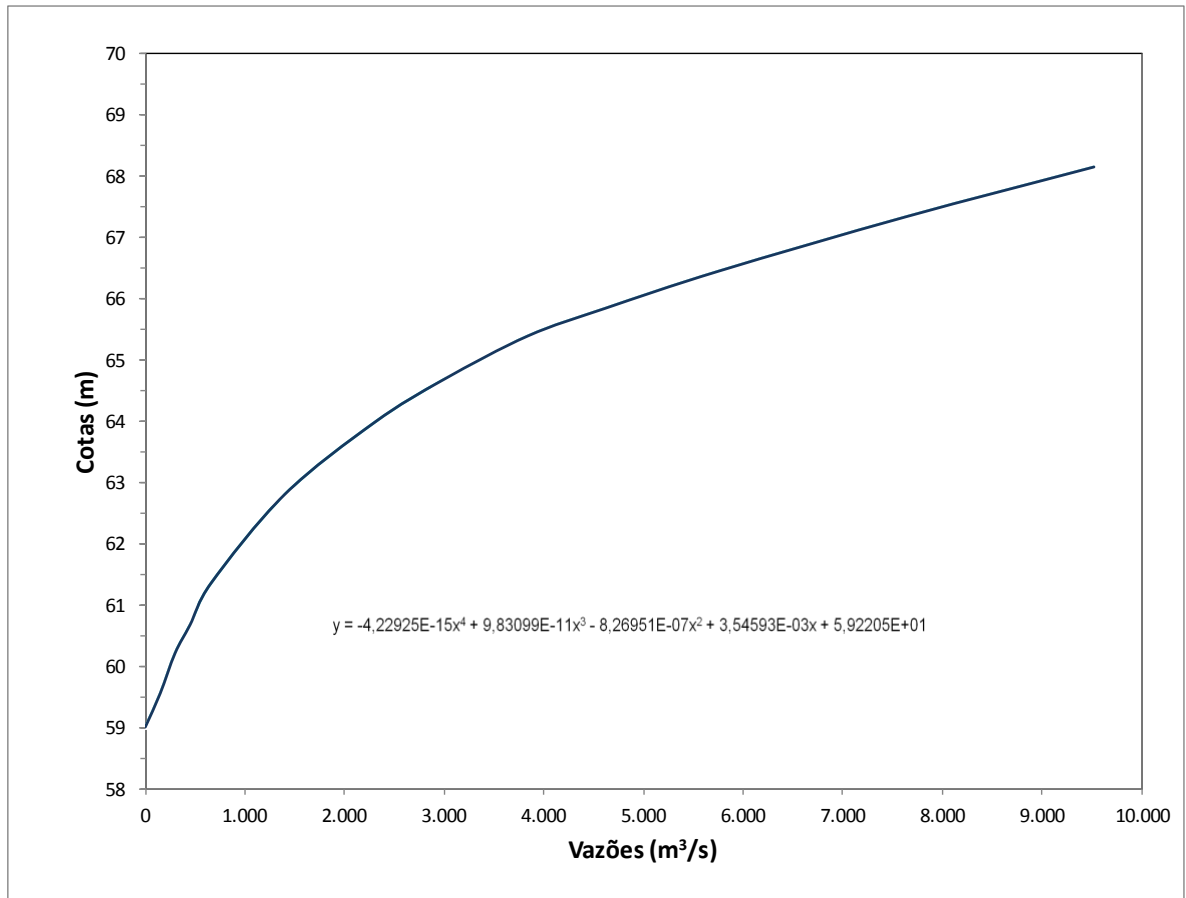


Figura 4.59 – Curva-Chave do Canal de Fuga da UHE Itaocara I.

Os coeficientes da respectiva equação, utilizados no desenvolvimento dos estudos energéticos estão apresentados na Tabela 4..

Tabela 4.78 - Coeficientes do Polinômio da Curva-Chave do Canal de Fuga.

| Coeficiente | Independente | 1º Grau | 2º Grau | 3º Grau | 4º Grau |
|-------------|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| Valor | 5.9220500E+01 | 3.5459300E-03 | -8.2695100E-07 | 9.8309900E-11 | -4.2292500E-15 |

Nota: Nível d'água (m) em função da vazão (m³/s).

- Representação do Reservatório

O reservatório do AHE Itaocara I foi representado nos estudos energéticos pelos polinômios Volume x Cota (PVC) e Cota x Área (PCA), obtidos a partir das respectivas curvas Cota x Área x Volume. Os coeficientes dos polinômios Volume x Cota e Cota x Área estão, respectivamente, nas Tabela 4.79 e Tabela 4.80.

Tabela 4.79 - Coeficientes do Polinômio da Volume x Cota.

| Independente | 1º Grau | 2º Grau | 3º Grau | 4º Grau |
|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| $6,8940421 \cdot 10^{+01}$ | $1,1524476 \cdot 10^{-01}$ | $-2,9049205 \cdot 10^{-04}$ | $4,1348927 \cdot 10^{-07}$ | $-2,2447236 \cdot 10^{-10}$ |

Tabela 4.80 - Coeficientes do Polinômio da Cota x Área.

| Independente | 1º Grau | 2º Grau | 3º Grau | 4º Grau |
|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| $3,8314418 \cdot 10^{+03}$ | $-1,9350569 \cdot 10^{+02}$ | $3,6389389 \cdot 10^{+00}$ | $-3,0332551 \cdot 10^{-02}$ | $9,5451335 \cdot 10^{-05}$ |

- Tipo de Turbina

Em face da queda disponível e da potência unitária prevista para o AHE Itaocara I, considerou-se a utilização de turbinas do tipo Kaplan com uma vazão turbinada mínima equivalente a 30% da vazão plena na queda considerada. Foram definidas 2 unidades geradoras para o aproveitamento.

- Rendimento do Conjunto Turbina-Gerador

Adotou-se um rendimento para o conjunto turbina-gerador de 91%, valor esse resultante da estimativa de 98,5% de rendimento médio do gerador e de 93,33% para o rendimento médio da turbina, ambos trabalhando de modo ponderado na faixa prevista de operação, embora se espere para o ponto nominal de operação, ou seja, para potência e queda de referência, um rendimento turbina-gerador superior, da ordem de 92%, compatível com a utilização de turbinas do tipo Kaplan com regulação dupla.

- Perda Hidráulica

A perda hidráulica total máxima calculada e adotada nas simulações de operação da usina foi de 0,35 m.

Como a nova versão do modelo de simulação MSUI 3.3, permite o uso de curvas de perdas, elas foram utilizadas para a UHE Itaocara, em todas as alternativas analisadas.

- Taxas de Indisponibilidade

Os valores de taxa de indisponibilidade forçada e programada (TEIF e IP) são aqueles recomendados pelo Comitê Brasileiro da CIER – BRACIER e utilizados pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE nos cálculos da garantia física de usinas hidrelétricas. A Tabela 4.81 reproduz essas taxas adotadas tanto para as alternativas de potência unitária do empreendimento em estudo como para as potências unitárias das usinas que compõem o sistema de referência. Para o AHE Itaocara I, as taxas de indisponibilidade forçada e programada são respectivamente, 2,533% e 8,091%.

Tabela 4.81 –Taxas de Indisponibilidade.

| Pot. Unitária (MW) | TEIF (%) | IP (%) |
|--------------------|----------|--------|
| até 29 | 2,333 | 6,861 |
| 30 – 59 | 1,672 | 5,403 |
| 60 – 199 | 2,533 | 8,091 |
| 200 – 500 | 2,917 | 12,122 |
| 501 – 699 | 6,000 | 8,000 |
| 700 – 1300 | 0,210 | 10,000 |

- **Período Crítico**

O período crítico conforme critério em vigor, situa-se entre junho de 1949 e novembro de 1956, abrangendo, portanto, um total de 90 meses.

- **Sistema de Referência**

Por recomendação da Aneel, contida no Ofício nº 535, de 28/03/2014, depois de produzidas as séries de vazões artificiais, as usinas de Simplício, Ilha dos Pombos e Itaipocara, foram simuladas isoladas e inseridas no sistema de referência utilizado pela EPE para o cálculo das garantias físicas para o 2º leilão de energia A-5 de 2013.

- **Data de Referência dos Investimentos**

As estimativas de custos de investimentos incrementais com juros durante a construção, empregadas nos estudos de dimensionamento do AHE Itaipocara I, têm como data de referência maio de 2014, também por recomendação da Aneel.

- **Custo de Operação e Manutenção (O&M)**

Para a estimativa do CO&M foi utilizada a curva apresentada no Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas – edição 2007 do Ministério de Minas e Energia (MME), com data de referência em dezembro de 2006, atualizado pela variação do IGP-DI para a data de referência dos orçamentos. A equação adotada é apresentada a seguir:

$$CO\&M = 143,615 * Potência^{-0,3716} \quad (R\$/kW/ano)$$

- **Custo Marginal de Expansão**

Nas análises energético-econômicas, a energia firme foi valorada pelo Custo Marginal de Expansão informado no Ofício 535 da Aneel, no valor de 145 R\$/MWh.

- **Taxa de Desconto e Vida Útil**

Adotou-se uma taxa de desconto de 10% ao ano e uma vida útil de 50 anos.

- Simulações Energéticas

As avaliações energéticas foram efetuadas com base no informado no item □ e utilizando-se o Modelo de Simulação de Usinas Individualizadas – MSUI (versão 3.3), desenvolvido pela Eletrobrás.

- Determinação da Motorização

O estudo de motorização consiste em analisar os incrementos de energia firme decorrentes do aumento da potência instalada do aproveitamento, para diferentes alternativas de motorização, os quais foram calibrados com o MSUI.

Na Tabela 4.82 é apresentada a análise energético-econômica para a determinação da potência instalada do AHE Itaipava I.

Tabela 4.82 – Análise Energético-Econômica para Determinação da Potência Instalada.

| Potência instalada (MW) | Energia firme (MW-médios) | Energia firme incremental (MW-médios) | Custo total c/ JDC (10 ⁶ R\$/ano) | Custo anual c/ JDC (10 ⁶ R\$/ano) | Custo anual de O&M (10 ⁶ R\$/ano) | Custo anual c/JDC + Custo de O&M (10 ⁶ R\$/ano) | Custo anual incremental (10 ⁶ R\$/ano) | Benefício anual incremental (10 ⁶ R\$/ano) | Relação Custo / Benefício |
|-------------------------|---------------------------|---------------------------------------|--|--|--|--|---|---|---------------------------|
| 135 | 86,76 | - | 1.027,38 | 103,62 | 3,133 | 106,75 | - | - | - |
| 140 | 87,71 | 0,95 | 1.037,26 | 104,62 | 3,205 | 107,82 | 1,07 | 1,21 | 0,885 |
| 145 | 88,64 | 0,93 | 1.046,42 | 105,54 | 3,276 | 108,82 | 1,00 | 1,18 | 0,843 |
| 150 | 89,44 | 0,80 | 1.055,76 | 106,48 | 3,347 | 109,83 | 1,01 | 1,02 | 0,997 |
| 155 | 90,22 | 0,78 | 1.065,29 | 107,44 | 3,417 | 110,86 | 1,03 | 0,99 | 1,040 |
| 160 | 90,93 | 0,71 | 1.074,99 | 108,42 | 3,486 | 111,91 | 1,05 | 0,90 | 1,162 |
| 165 | 91,59 | 0,66 | 1.083,88 | 109,32 | 3,554 | 112,87 | 0,96 | 0,84 | 1,151 |
| 170 | 92,28 | 0,69 | 1.092,92 | 110,23 | 3,621 | 113,85 | 0,98 | 0,88 | 1,117 |
| 175 | 92,95 | 0,67 | 1.103,14 | 111,26 | 3,687 | 114,95 | 1,10 | 0,85 | 1,289 |
| 180 | 93,58 | 0,63 | 1.112,49 | 112,21 | 3,753 | 115,96 | 1,01 | 0,80 | 1,262 |

Como pode ser observado, a potência ótima a ser instalada é de 150 MW, uma vez que o custo incremental ao se passar para uma alternativa de maior potência, é superior ao benefício incremental.

A usina foi contemplada com duas unidades geradoras, pois o uso de três unidades não conduziria a qualquer ganho energético, em face do fato da bacia do rio Paraíba do Sul ser bem regularizada pelos reservatórios existentes.

- Determinação das Quedas Características

Foram determinadas as quedas líquidas referentes ao período da série de vazões médias mensais empregada.

A Tabela 4.83 e a Figura 4.60 apresentam a permanência das quedas líquidas obtidas para o aproveitamento em estudo.

Tabela 4.83 – Permanências das Quedas Líquidas Médias Mensais.

| Permanência (%) | Queda Líquida (m) | Permanência (%) | Queda Líquida (m) |
|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| 5 | 29,53 | 55 | 28,69 |
| 10 | 29,51 | 60 | 28,51 |
| 15 | 29,44 | 65 | 28,29 |
| 20 | 29,39 | 70 | 28,04 |
| 25 | 29,33 | 75 | 27,97 |
| 30 | 29,27 | 80 | 27,97 |
| 35 | 29,1 | 85 | 27,65 |
| 40 | 29,01 | 90 | 27,38 |
| 45 | 29,01 | 95 | 26,92 |
| 50 | 28,87 | 100 | 25,11 |

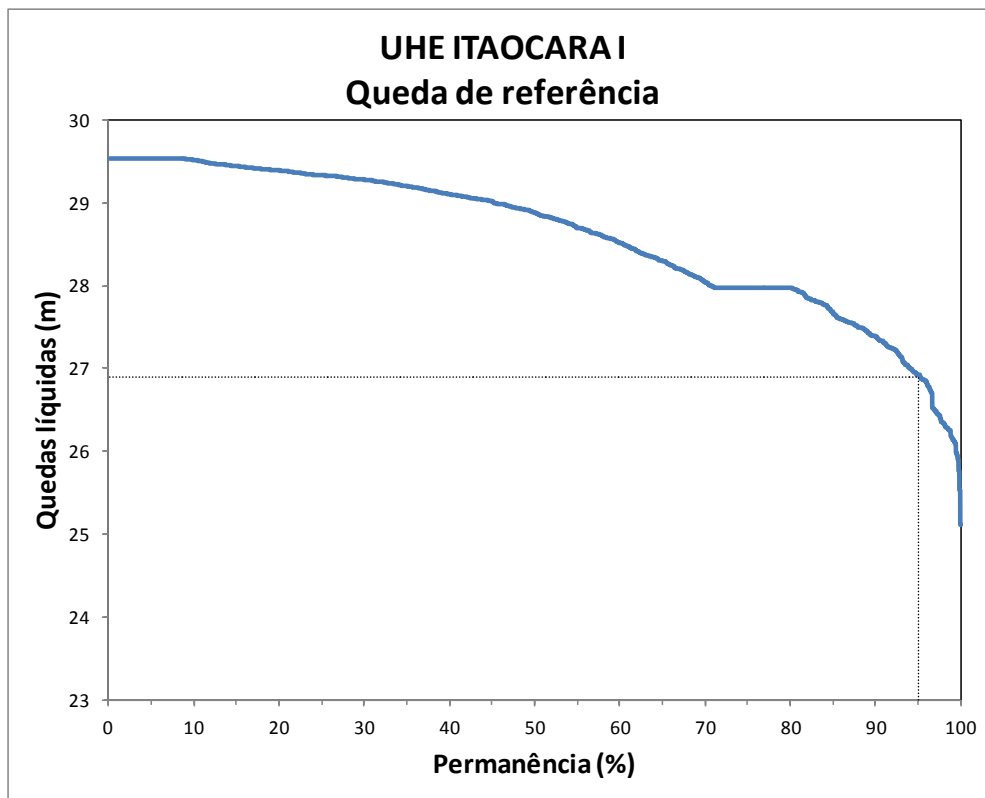


Figura 4.60 - Curva de Permanência de Quedas Líquidas Médias Mensais.

A queda de referência, que é definida como a queda para a qual a turbina, com abertura máxima do distribuidor, faz com que o gerador forneça a sua máxima potência, pode ser considerada como sendo a queda líquida com 95% de permanência. Assim sendo, para o AHE Itaipava I, essa queda é de 26,9 m.

4.4.2 Estudos Realizados Pela VLB

4.4.2.1 Introdução

A exploração da UHE Itaocara I, conforme o EDITAL DE LEILÃO Nº. 03/2015-ANEEL, deverá ser realizada de acordo com as características técnicas e operacionais da usina definidas no Projeto Básico da usina, aprovadas por meio do Despacho ANEEL nº 3.629, 04 de setembro de 2014. Qualquer alteração no projeto será por conta e risco da concessionária.

O presente estudo teve como objetivo verificar a energia firme apresentada no edital de licitação da usina, estabelecendo a base de dados da usina a serem utilizadas nas futuras simulações energéticas para eventuais refinamentos no desenvolvimento do Projeto Básico Consolidado.

4.4.2.2 Base de Dados e Configuração de Referência

A base de dados a serem utilizados devem ser aquelas definidas nos estudos do Projeto Básico referido anteriormente. Verifica-se entretanto que, na ocasião do leilão a Empresa de Pesquisa Energética – EPE (Relatório No EPE-DEE-RE-062/2015-r0, de 25 de março de 2015) utilizaram novas taxas de Indisponibilidade Forçada e Programada das usinas hidrelétricas, em relação àquelas utilizadas no Projeto Básico.

Tabela 4.84 – Valores de TEIF e IP Utilizados no Projeto Básico.

| Potência Unitária (MW) | TEIF (%) | IP (%) |
|------------------------|----------|--------|
| até 29 | 2,333 | 6,861 |
| 30 – 59 | 1,672 | 5,403 |
| 60 – 199 | 2,533 | 8,091 |
| 200 – 500 | 2,917 | 12,122 |
| 501 – 699 | 6,000 | 8,000 |
| 700 – 1300 | 0,210 | 10,000 |

Tabela 4.85 – Valores de TEIF e IP Estabelecidos na Portaria nº 484/2014.

| Limites (MW) | TEIF (%) | IP (%) |
|------------------------------------|----------|--------|
| Potência Unitária <= 29 MW | 2,068 | 4,660 |
| 29 < Potência Unitária <= 59 MW | 1,982 | 5,292 |
| 59 < Potência Unitária <= 199 MW | 1,638 | 6,141 |
| 199 < Potência Unitária <= 499 MW | 2,196 | 3,840 |
| 499 < Potência Unitária <= 699 MW | 1,251 | 1,556 |
| 699 < Potência Unitária <= 1300 MW | 3,115 | 8,263 |

Para o desenvolvimento do presente estudo foi considerado a mesma base de dados utilizados pela EPE.

Embora não seja relevante neste trabalho, é interessante alertar que o ONS – Operador Nacional do Sistema Interligado publicou uma nova série de vazões para essa usina, recomenda-se que continue utilizando a mesma série fornecida pela EPE.

4.4.2.3 Resultados e Conclusão

Para a potência de 150 MW, considerando duas unidades geradoras, resultou em um valor de energia firme de 91,23 MWmédio contra 89,44 MWmédio e 90,44 MWmédio apresentados respectivamente no Projeto Básico e pela EPE.

A diferença na energia firme entre os valores apresentados no Projeto Básico e pela EPE deve ser devido às taxas de indisponibilidade utilizadas, conforme se observa nas tabelas 2.1 e 2.2 e, também, pode ser atribuída às configurações do sistema interligado utilizadas nas simulações energéticas.

A diferença na energia firme do presente estudo e do Projeto Básico pode ser decorrente, além das taxas de indisponibilidade e da configuração do sistema interligado, da versão do Modelo MSUI utilizada em cada estudo. No presente estudo foi utilizada a versão 3.0 que considera uma perda hidráulica constante (valor médio) e nos estudos do Projeto Básico foi utilizada a versão 3.3 que permite considerar uma curva para perdas hidráulicas.

A diferença nos valores de energia firme do presente estudo e da EPE, sendo a mesma configuração e as mesmas taxas de indisponibilidade, pode ser atribuída às considerações de perdas hidráulicas.

Como conclusão, considerando que diferença nos resultados é menor que 1%, entre os dois últimos resultados analisados, e que as duas abordagens nas perdas hidráulicas são aproximações do despacho que ocorrerá na operação real da usina, podemos considerar que os resultados são perfeitamente válidos.

4.5 INTEGRAÇÃO DA USINA AO SISTEMA DE TRANSMISSÃO

Uma linha de transmissão curta será construída para interligar os Transformadores Elevadores da Casa de Força da UHE Itaipava I às respectivas entradas na Subestação Seccionadora. Esta linha terá cerca de 200,00 m de extensão, será trifásica e irá operar na tensão de 138 kV.

Também será construída uma linha de transmissão para interligar a Subestação da UHE Itaipava I à Subestação da UHE Ilha dos Pombos, usina já em fase de operação. A linha de transmissão terá cerca de 46,0 km de extensão, será trifásica e irá operar na tensão de 138 kV.

A subestação será do tipo convencional, externa, localizada próxima do Canal de Fuga e à jusante da Barragem de Terra Margem esquerda.

O arranjo da subestação será do tipo barra principal e barra de transferência, com disjuntor "by-pass" na tensão de 138 kV.

A subestação será constituída por: dois vãos/bays de geradores, dois vãos de saída de linha de transmissão para SE UHE Ilha dos Pombos, um vão de interligação de barras e possuirá uma Casa de Controle.

5. DESCRIÇÃO DAS ESTRUTURAS DO APROVEITAMENTO

5.1 CONCEPÇÃO GERAL DO PROJETO

O Arranjo Geral do Projeto de Referência da UHE Itaocara I preparado pelo Consórcio, e visualizado no desenho DE-G11-001 consiste na implantação das estruturas do Barramento, Vertedouro e Circuito Geração alinhadas ao longo do eixo situado na extremidade montante da ilha Serena, com extensão total de cerca de 1.225,00 m.

O Barramento do rio Paraíba do Sul, no sítio do Aproveitamento, forma um reservatório com área de 40,40 km² na El. 89,60 m, correspondente ao NA Máximo Normal (NAMN), estabelecido nos Estudos do Projeto Básico (SPEC).

Essa elevação estabelecida para o NAMN elimina a necessidade de realocação dos núcleos populacionais de São Sebastião do Paraíba e de Formiga, sem que haja perda energética para o Complexo das UHEs Itaocara I e II, em relação à energia que foi objeto de concessão para o aproveitamento único da UHE Itaocara.

As estruturas de concreto Vertedouro e Tomada de Água/Casa de Força, separadas por Muro de Estocagem/Divisor, estão posicionadas no Canal Esquerdo da Ilha Serena e situam-se no alinhamento do eixo. A Barragem de Terra Margem Esquerda, com o eixo ligeiramente defletido para jusante, está posicionada adjacente à Casa de Força que serve de encosto no primeiro trecho que é constituída de Terra/Enrocamento que se transiciona em Barragem de Terra Homogênea fechando a ombreira esquerda. A Barragem de Terra do Leito do Rio/Fechamento na Ombreira Direita tem início no pilar da extremidade direita hidráulica do Vertedouro, que serve de encosto para o primeiro trecho da Barragem que é constituída de Terra/Enrocamento que se transiciona em Barragem de Terra Homogênea que se desenvolve no trecho Leito do Rio e Margem Direita até o fechamento da sua ombreira. A partir do Pilar Direito do Vertedouro, a Barragem se desenvolve numa extensão total de 839,00 m até o encontro com a Ombreira Direita.

Na margem esquerda, a aproximadamente 270 m a montante do eixo, está um Dique que possibilitará o fechamento do reservatório.

A crista das Barragens de Terra e do Dique está na elevação 91,10 m, e a partir desta elevação será construída uma Mureta de Concreto Armado com topo na El. 92,60 m, ou seja, apresenta uma borda livre de 3,00 m em relação ao NA Normal do Reservatório que está estabelecido na El.89,60 m.

5.2 DESVIO DO RIO

O Desvio do Rio Paraíba do Sul será executado em duas fases distintas, como descrito a seguir e apresentado nos desenhos D20-0001 a 0006.

Na Primeira Fase, o rio permanecerá escoando pelo seu leito natural no Canal Direito da Ilha Serena, fechado por um anel de ensecadeiras de Primeira Fase que permitirá a vedação do Canal Esquerdo da Ilha e da Ombreira Esquerda para construção do Descarregador de Fundo, Canais de Adução e Restituição, Muros de Concreto, escavações dos Canais de Fuga e Adução e ainda obras da Tomada de Água, Casa de Força e Barragem de Terra Margem Esquerda.

Na Segunda Fase o rio será desviado através dos vãos do Descarregador de Fundo e o canal direito da Ilha Serena será fechado através das Ensecadeiras de 2ª Fase, permitindo a construção da Barragem de Terra Margem Direita e Leito do Rio.

- Ensecadeiras de 1ª Fase

A montante do eixo do Barramento, antes da construção das Ensecadeiras de 1ª Fase, será construída uma pré-ensecadeira com material lançado, a fim de permitir a

remoção da camada de aluvião para construção da ensecadeira com material compactado.

A Pré-Ensecadeira de Montante de 1ª Fase foi calculada para a QMLT (vazão média de longo termo), com nível d'água de 63,43m e crista na elevação 64,40m. A velocidade de fluxo ao lado da ensecadeira longitudinal foi obtida pela aplicação do nível e vazão na seção topobatimétrica do braço direito, resultando em 0,75 m/s. De acordo com o critério Eletrobrás, apresentado a seguir, o diâmetro de bloco necessário é menor do que 0,1 m.

$$V = 6,8\sqrt{D}$$

A construção da Pré-Ensecadeira de Montante se iniciará pela dragagem da camada de aluvião (estimada em 2,0m de profundidade). Em seguida, será realizado o lançamento dos cordões de enrocamento com taludes de 1V:1,5H até a El. 64,40m. Nas faces externas, serão lançadas as camadas de transição única com taludes com inclinação de 1V:1,6H e solo com taludes com inclinação de 1V:3H. Posteriormente, a pré-ensecadeira será alteada com solo compactado até a elevação 71,50m.

As Ensecadeiras de 1ª Fase foram dimensionadas para a vazão de projeto de 5.293 m³/s correspondente a TR= 50 anos período completo, resultando em níveis d'água nas elevações 70,32m a montante e 66,03m a jusante e cristas nas elevações 71,50m e 67,30m, respectivamente. A velocidade média estimada na ensecadeira longitudinal é de 2,25 m/s, o que resulta em um bloco de 0,1 m de diâmetro.

A Ensecadeira de Jusante, no trecho sobre o leito do rio, será construída de forma semelhante à Pré-Ensecadeira de Montante, exceto pela restrição da dragagem do aluvião à região sob a transição e solo lançados. Nos trechos a serem construídos a seco, a seção será de solo compactado, com taludes com inclinação 1V:1,8H a jusante e 1V:2,0H a montante, sobre o qual haverá proteção com uma camada de transição e enrocamento.

As seções das Ensecadeiras de Montante e Jusante de 1ª Fase estão apresentadas no desenho DE-D20-0002.

- Ensecadeiras de 2ª Fase

As Ensecadeiras de 2ª Fase foram dimensionadas para a vazão de projeto de 5.293 m³/s, TR= 50 anos e período hidrológico anual. Para esta condição, os níveis de água de montante e jusante são, respectivamente, 77,12 m e 66,03 m. Desta forma, as ensecadeiras transversais ao Canal Direito da Ilha foram definidas com cristas na El. 78,10 m a montante e 67,00 m a jusante, ambas com borda livre.

Para realização do desvio do rio Paraíba do Sul através dos vãos do Descarregador de Fundo, serão removidas as ensecadeiras de montante e jusante do braço esquerdo da Ilha e, em seguida, serão executadas 02 (duas) ensecadeiras transversais no braço direito da Ilha Serena, a montante e a jusante da Barragem do Leito do Rio e Margem Direita, ressaltando que a Ensecadeira de Montante será incorporada ao aterro compactado da Barragem de Terra Margem Direita.

Para a construção da Pré-Ensecadeira de Montante, será lançado sobre o leito do rio, após a remoção do aluvião e blocos de rocha soltos, um cordão de enrocamento com taludes de 1V:1,5H até a El. 64,70 m. Na Ensecadeira de Jusante, cuja crista estará na EL. 67,00 m, o cordão de enrocamento será lançado diretamente sobre o terreno natural. Após a dragagem do aluvião, será feita a cobertura do enrocamento com

material de transição única, com taludes de 1V:1,6H e será lançado, sobre esta camada, solo argiloso com talude final aproximado de 1V:3H.

A Pré-Ensecadeira de Montante será alteada até a El.78,10m para complementação da Ensecadeira de Montante, que será incorporada à Barragem de Terra.

O desenho D20-DE-0004 apresenta as seções das Ensecadeiras de Montante e Jusante do braço direito da Ilha Serena.

- Ensecadeiras da Casa de Força

No caso das obras civis da Casa de Força não estarem concluídas à época do desvio do rio, a fim de não atrasar o cronograma da obra, foi prevista uma ensecadeira a jusante da mesma. O dimensionamento foi realizado para a TR = 200 anos, com nível de água na El. 66,70 m e crista na El. 67,70 m.

A Ensecadeira de Jusante da Casa de Força, no trecho sobre o canal de fuga, será construída em solo compactado com proteção de enrocamento a montante. Os taludes terão inclinação de 1V:1,8H a jusante (solo compactado) e 1V:2,0H a montante (proteção de enrocamento).

No trecho paralelo ao eixo, será feito o alteamento, em material compactado, do trecho remanescente da Ensecadeira de 1ª Fase de Jusante até a El.67,70 m.

5.3 BARRAGEM

A Barragem da UHE Itaocara I é composta por três partes: Barragem Margem Direita (Leito do Rio e Ilha) e Barragem Margem Esquerda, além de contemplar o Dique.

- Barragem de Terra Margem Direita e Margem Esquerda

A Barragem de Terra possui seção homogênea de solo compactado proveniente das áreas de empréstimo e escavação obrigatória.

Os espaldares de montante possuem inclinação de 1V:1,5H da crista na El. 91,10 até o nível do rip-rap, El.86,60. Nesse ponto há uma berma de 1,0m de largura e a inclinação do talude passa a ser de 1V:2H até a fundação. Entre as Estacas 3 a 20+2,52, localizados no leito do rio, a Ensecadeira de 2ª Fase Montante será incorporada à Barragem.

Os espaldares de jusante possuem inclinação de 1V:1,5H da crista na El. 91,10 até a elevação 86,60. Desse ponto até a cota de fundação a inclinação passa a ser de 1V:2H com bermas de 3m de largura nas elevações 81,10m e 71,10m.

A Barragem será assentada sobre o topo de gnaisses são ou pouco alterado entre as estacas 1 e 20+2,52. Na região da Ilha Serena, entre as estacas 20+2,52 e 31, a Barragem se posicionará no horizonte coluvionar, que deve ser escavado até a profundidade de 1,00 m para fixação do futuro Barramento. Nesse trecho, considera-se também a instalação de um cut-off, que deverá ser escavado até o topo da rocha.

Ainda na Ilha Serena, entre as estacas 31 e 37+10,00, o assentamento será diretamente em solo residual, também com escavação de 1,00 m do mesmo e cut-off até a rocha gnáissica.

Finalmente, entre as estacas 37+10,00 e 43, o horizonte de aluvião deverá ser totalmente removido e o assentamento da Barragem Margem Direita será realizado no topo de rocha.

Na margem esquerda, a barragem será assentada sobre o horizonte de solo residual, com escavação de 1,00 m deste solo entre as estacas 53+10,00 e 57+13,50. Já no trecho entre as estacas 57+13,50 e 63, deve-se proceder com a escavação total do colúvio e posicionamento da Barragem diretamente sobre o solo residual. Prevê-se também a execução de um cut-off, que deverá prosseguir até o topo do horizonte de saprolito.

Caso necessário, a superfície de assentamento do futuro Barramento deverá ser regularizada, utilizando-se concreto ou argila compactada.

O sistema de drenagem interna é constituído de filtro vertical e tapete drenante tipo sanduíche. Na margem direita e leito do rio, o tapete é constituído de três camadas sobrepostas de transição grossa (brita), transição fina (pedrisco) e areia. Na margem esquerda o tapete é composto de duas camadas de areia e uma de transição fina (pedrisco).

- Barragem de Enrocamento com Núcleo de Argila

Na região de fechamento junto às Estruturas de Concreto, entre as estacas 40+10 a 43+00 e 51+11,50 a 53+10 propõe-se uma seção com crista de 7,25m de largura, núcleo de solo argiloso compactado e espaldares de enrocamento compactado.

- Dique

A aproximadamente 270 m a montante do eixo da Barragem, foi previsto um dique para fazer o fechamento do ponto de fuga do reservatório.

A seção proposta é de solo compactado, com crista na El. 91,10m e 7,25m de largura. O espaldar de montante possui inclinação de 1V:1,5H da crista até a base do riprap na elevação 86,60m e deste ponto até a fundação de 1V:1,8H. O espaldar de jusante possui inclinação de 1V:1,8H.

Na região do dique a fundação é composta por colúvio, aluvião e solo residual. Para o assentamento do dique foi considerada a remoção de 1,0m do colúvio.

A drenagem interna é composta de filtro vertical e tapete drenante desaguando no dreno de pé de enrocamento.

5.4 VERTEDOURO

O Vertedouro do tipo Descarregador de Fundo, está previsto com soleira El. 60,00 m, é constituído por 1 (um) Bloco, tipo gravidade, com comprimento total de 63,00 m, 5 (cinco) vãos de 9,00 m separados por pilares de espessura 3,00 m e controlados por comportas do tipo segmento de 9,00 m de largura e 12,00 m de altura.

A jusante da estrutura de controle de fluxo do Vertedouro será construída uma ponte em concreto armado, que permitirá o trânsito entre as duas margens do rio. Tal ponte também servirá para a movimentação do guindaste rolante que efetuará a movimentação das comportas ensecadeiras de jusante.

Os vãos do Vertedouro estão previstos com comportas ensecadeiras a montante e a jusante de forma que seja possível o ensecamento completo entre estas comportas e assim permitir eventuais manutenções nas ranhuras da comporta segmento e também da soleira e faces laterais dos pilares neste trecho.

O Vertedouro está dimensionado para passagem da cheia decamilenar igual à 9.530 m³/s com NA do Reservatório na El. 90,90 m.

O reservatório atinge o nível Máximo Maximorum na El. 90,90 m, significando uma sobre-elevação de 1,30m em relação ao NA Normal que é igual à El. 89,60 m.

A Bacia de Dissipação está prevista em uma laje horizontal em concreto, ancorada na rocha, com 59,00 m de extensão, 57,00 m de largura e com o topo na El. 51,80 m e Muros Laterais com o coroamento na El. 68,40 m, seguida por uma rampa já em rocha sã e daí no leito do rio.

Em toda a Plataforma Superior do Vertedouro está prevista a construção de uma Mureta de Concreto Armado com cota de coroamento na El. 92,10 m.

A movimentação da comporta ensecadeira de jusante será efetuada mediante a utilização de uma monovia que se deslocará na ponte de jusante do Vertedouro.

Tendo em conta a alta velocidade do fluxo de água nas passagens de água do Vertedouro, tanto na face superior da laje da base como nas faces dos pilares será aplicada uma camada de concreto com resistência característica à compressão fck igual 50 MPa e espessura mínima de 0,40 m.

5.5 CIRCUITO HIDRÁULICO DE GERAÇÃO

A Tomada de Água da Casa de Força está prevista com 2 (duas) unidades dispostas em 1 (um) bloco monolítico de concreto armado adjacente à estrutura da Casa de Força, com cerca de 44,20 m de altura a partir da fundação e 41,56 m de largura e cerca de 14,88 m de comprimento (direção do fluxo).

Cada Unidade da Tomada de Água terá 3 (três) vãos que correspondem a cada uma das unidades geradoras. Estes vãos possuem seção 4,44 m de largura e altura variável com a soleira na El. 52,60 m. A Plataforma superior do Bloco da Tomada de Água está prevista para ficar na El. 91,10 m. Em toda a Plataforma da Tomada de Água está prevista a construção de uma Mureta de Concreto Armado com cota de coroamento na El. 92,10 m.

A movimentação das grades e da comporta ensecadeira será efetuada por um pórtico rolante em estrutura metálica.

Os 3 (três) vãos de cada uma das unidades da Tomada de Água são dotados de grades metálicas instaladas na extremidade de montante e comportas ensecadeiras imediatamente a montante da caixa semi-espiral.

O controle do fluxo será efetuada por comportas de emergência a serem instaladas nos 4 (quatro) vãos do Tubo de Sucção.

5.6 CASA DE FORÇA

A Casa de Força está prevista com 2 (duas) unidades geradoras dispostas em 1 (um) bloco monolítico de concreto armado adjacente à estrutura da Tomada de Água, com cerca de 54,00 m de altura a partir da fundação e 48,70 m de largura e cerca de 37,00

m de comprimento (direção do fluxo). A nave da Casa de Força abrigará duas unidades geradoras, que serão equipadas com 2 (duas) turbinas do tipo Kaplan, de eixo vertical, com potência unitária de 75 MW, perfazendo um total de 150 MW de potência instalada.

Imediatamente a jusante do Hall das unidades estão previstas as Galerias Mecânica e Elétrica nas El. 56,60 m e El. 63,23 m respectivamente.

A Galeria Mecânica se estende por toda a largura do Bloco das Unidades enquanto a Galeria Elétrica tem início no Bloco das unidades e estende a por toda a largura das Áreas de Montagem e de Descarga.

O Tubo de Sucção de cada unidade geradora está previsto com 2 (dois) vãos com 8,51 m de largura, altura variável com a geratriz inferior na El. 36,42 m e a geratriz na saída na El. 41,90 m. Cada vão do Tubo de Sucção está previsto para ser equipado com uma comporta de emergência acionada por cilindro hidráulico.

A movimentação dos equipamentos, turbinas, geradores e assemelhados, será efetuada por uma ponte rolante que atenderá a nave da Casa de Força e as Áreas de Descarga e de Montagem.

A movimentação das comportas de emergência do Tubo de Sucção será efetuada mediante um pórtico rolante em estrutura metálica que se desloca na Plataforma superior do Tubo de Sucção.

O Transformador Elevador está previsto para ser instalado na Plataforma superior do Tubo de Sucção.

- Área de Montagem e de Descarga

As Áreas de Montagem estão previstas para ser construída imediatamente a esquerda da Casa de Força e será construída de 2 (dois) Blocos com largura de 21,30 m e 27,20 m, 31,00 m de altura e 46,60 m de comprimento (direção do fluxo).

A laje da base da Área de Montagem está prevista para ficar na El. 63,23 m.

A Área de Descarga está prevista para ser instalada na extremidade esquerda da Área de Montagem. Terá o topo da laje na El. 70,40 m e o comprimento igual a 46,60 m.

As estruturas da Área de Montagem têm comportamento de Barragem e, portanto, são constituídos de grandes maciços de concreto.

Nestes maciços estão previstos dois poços para estocagem de comportas ensecadeiras.

- Poços de Esgotamento e Drenagem

Os Poços de Esgotamento e Drenagem estão previstos para serem construídos na lateral direita da Casa de Força segundo a projeção do Muro de Estocagem/Divisor.

5.7 ACESSOS INTERNOS PERMANENTES, ÁREAS DE ESTACIONAMENTO, CERCAS E DEFENSAS

- **Acessos Internos Permanentes e Áreas de Estacionamento**

Os acessos internos permanentes, pátios de manobra e áreas de estacionamento serão construídos conforme estabelecido nas Especificações Técnicas para Construção das Obras Civas, nas normas aplicáveis da ABNT, DER e/ou DNIT.

Nos trechos onde são previstos cortes, em material comum e em rocha, deverão ser atendidas as prescrições estabelecidas nas Especificações Técnicas para Construção das Obras Civas - ET-1 e DER/ DNIT.

Os taludes deverão ser protegidos conforme prescritos nas normas da ABNT, do DER e/ou DNIT, no item 8 e no PCA.

Nos acessos internos permanentes, no pátio de manobra e nas áreas de estacionamento, o revestimento será em TSD – Tratamento Superficial Duplo, conforme previsto nas normas do DER e/ou DNIT.

Todos os dispositivos correspondentes as obras correntes, tais como sarjetas, bueiros, descidas de água e canaletas de crista, conforme especificações do DNIT ou DER serão empregados na construção dos acessos.

- **Cercas**

Serão implantadas cercas na área industrial, interligando as portarias, portões de acesso à usina, estradas, acessos públicos e limites de confrontações com todas as propriedades vizinhas.

Também deverão ser implantados cercamento em torno das áreas de empréstimo, bem como áreas, fora da área industrial, para impedir a utilização da área por terceiros a fim de propiciar a consolidação da recuperação vegetal.

Será efetuada limpeza de 2,00 m de cada lado da faixa de implantação das cercas e cravar os mourões de concreto no terreno à profundidade de 1,00 m e com a parte inclinada voltada para fora.

A cerca da área industrial será de dezoito fios de arame farpado e com espaçamento entre mourões intermediários de 2,50 m e mourões de amarração nos ângulos a cada 25,00 m.

Na área da Subestação, no trecho vertical do mourão, será utilizada tela de aço galvanizado.

Os materiais a serem empregados para implantação estão descritos nas referências conforme quadro a seguir:

| Descrição | Referência |
|-----------------------------------|---|
| Arame farpado zincado, classe 350 | NBR 6317 |
| Arame de aço zincado, Ø 2,8 mm | NBR 6331 |
| Tela de aço galvanizado | ET 141/74, malha 15 x 15 cm, bitola 3,04 x 3,04 |

Para as áreas de empréstimo, bem como áreas por ele utilizadas, fora da área industrial será utilizada cerca com cinco fios e postes de madeira ou de concreto.

A área em torno dos instrumentos (piezômetro, estação total e outros) instalados fora da área industrial deverá ser protegida por cerca de no mínimo 1,50 m de altura, construída com tubos metálicos e tela de aço galvanizada, com portão.

- Defensas

As defensas serão executadas em concreto armado, na crista da Barragem e Diques conforme as normas da ABNT, DER e/ou DNIT.

Nos acessos internos de interligação entre as estruturas e nos taludes de jusante poderão ser utilizadas defensas metálicas conforme normas da ABNT, DER e/ou DNIT.

Quando forem utilizadas chapas, as chapas serão perfiladas em aço galvanizado, e montadas e fixadas nos suportes por meio de parafusos galvanizados. As chapas deverão atender as normas da ABNT, DER e/ou DNIT.

- Urbanização

Os acessos para pedestres terão acabamento em concreto.

O projeto de urbanização contemplará passeio de no mínimo 1,00 m de largura no entorno de todas as edificações e acessos para as estruturas. Deverá ser elaborado de forma a atender aspectos de acessibilidade.

Os pátios de manobras e estacionamento serão demarcados, definindo vagas de estacionamento e fluxo de trânsito para ônibus, veículos leves e pesados e independentes das áreas de manobras de equipamentos de manuseio de peças pesadas.

Os pátios de manobras e estacionamento serão protegidos com defensas em concreto analogamente às utilizadas na Barragem, no perímetro de interface com o Reservatório, Canal de Fuga, conforme estabelecido nas normas do DER/DNIT.

Os projetos de paisagismo contemplarão áreas de ajardinamento e arborização de sombreamento providas de irrigação, envolvendo conforme aplicável, pátios de manobras e áreas de estacionamento, portaria principal e Subestação.

O projeto contemplará a implantação de uma guarita na portaria principal, contendo sistema de comunicação com as salas de controle da Casa de Força e da Subestação. Nesta portaria serão instalados portões independentes para veículos e para pedestres, além de cancela automática. O portão para veículos deve ser motorizado.

O projeto contemplará a instalação de porteiros e mata-burros nas estradas e acessos às propriedades rurais em sua área de interferência, relocação e melhoramento.

O projeto contemplará sinalização horizontal e vertical para todos os acessos definitivos, internos e públicos em sua área de interferência, relocação e melhoramento.

Nos locais onde haverá acesso ao público terão proteção adequada, tais como cercas e portões para impedir o acesso de terceiros à instrumentação da usina, estruturas, cabines, equipamentos e demais instalações.

Os projetos de urbanização deverão atender aos requisitos básicos de funcionalidade das instalações, conforto ambiental, aspectos estéticos, durabilidade e facilidade de manutenção.

- Drenagens

O Projeto contemplará um sistema de drenagem superficial incluindo sarjetas, valetas, caixas coletoras, entradas e descidas d'água e demais dispositivos necessários para o escoamento das águas superficiais nos acessos internos permanentes, áreas de manobra e estacionamentos.

Os projetos serão elaborados de forma que atendam às prescrições das normas específicas do DER e DNIT.

Os dispositivos de drenagem a serem empregados serão constituídos de:

- Tubos de concreto simples;
- Tubos de concreto Classe CA-2 ou CA-3;
- Tubos de concreto poroso;
- Calhas tipo meia-cana de concreto;
- Poços de Visita de tubos de concreto pré-moldado;
- Descidas de Água, Dissipadores de Energia de concreto armado;
- Caixas Coletoras e Bocas de Lobo de concreto armado ou pré-moldado;
- Sarjetas de concreto simples;
- Bueiros Tubulares de concreto armado;
- Meios-Fios de concreto simples.

5.8 EQUIPAMENTOS E SISTEMAS ELETROMECÂNICOS

5.8.1 Turbinas e Reguladores de Velocidade

As turbinas serão do tipo Kaplan de dupla regulação, eixo vertical com caixa semi-espiral em concreto. O rotor da turbina será do tipo Kaplan com pás em aço inoxidável fundido conforme especificação ASTM A743 CA6NM.

As características básicas da turbina são:

| | |
|--|-------------------------|
| Quantidade | 2 unidades |
| Potência Instalada (Total) | 153,4 MW |
| Potência Nominal (Unitária no eixo)..... | 76,7 MW |
| Queda Bruta Máxima | 30,10 m |
| Queda Líquida de Referência | 26,9 m |
| Vazão de Engolimento Unitário..... | 314,4 m ³ /s |
| Rotação Nominal | 144,0 rpm |
| Elevação da Linha de Centro do Distribuidor da Turbina | 53,16 msnm |

| | |
|--|------------|
| Nível Máximo Normal de Montante | 89,60 msnm |
| Nível Máximo Normal de Jusante | 62,30 msnm |
| Nível Max. Maximorum de Montante | 90,90 msnm |
| Nível Max. Maximorum de Jusante | 68,40 msnm |

O tubo de sucção será do tipo cotovelo, com um septo central.

Será previsto um regulador de velocidade do tipo eletro-hidráulico digital para cada turbina, com ação Proporcional, Integral e Derivativa (PID), dotado de canal de regulação de potência independente do canal de regulação de velocidade.

Os sistemas óleo hidráulicos para controle e regulação de cada turbina compreendem, basicamente, três motobombas, programadas para operação escalonada, dois acumulador ar-óleo e demais dispositivos convencionais. Para a reposição de ar comprimido, foi prevista uma central dotada de dois compressores e um acumulador independente, que responderá pelo atendimento dos sistemas das duas turbinas. Opcionalmente, os acumuladores dos reguladores poderão ser pressurizados com gás inerte (nitrogênio), dispensando a central de ar comprimido. As garantias de regulação devem limitar a sobrepressão máxima a 35% da máxima pressão estática, e a sobrevelocidade máxima a 50% da rotação nominal.

5.8.2 Grade da Tomada de Água

As grades metálicas deverão impedir que corpos com dimensões prejudiciais às turbinas penetrem no circuito hidráulico.

As grades deverão ser dimensionadas para uma perda de carga mínima possível.

Os painéis das grades e a viga pescadora serão guiados e apoiados em peças fixas embutidas no concreto de segundo estágio da Tomada d'Água. Os painéis deverão ser constituídos de barras verticais igualmente espaçadas, suportadas por um quadro estrutural formado por dois montantes em cada extremidade e vigas horizontais apoiadas nos montantes, que transmitem às peças fixas a carga aplicada no painel.

Os painéis serão do tipo removível, sendo manobrados através do pórtico rolante da tomada d'água com o auxílio de uma viga pescadora.

A viga pescadora suspenderá o painel da grade por dois ganchos que se acoplarão aos dispositivos de suspensão e será manobrada pelo gancho do pórtico rolante da tomada d'água.

Sua movimentação deverá ser feita sem fluxo de água, com a comporta da tomada d'água fechada. Os ganchos da viga pescadora deverão ser acionados por contrapeso.

Os painéis das grades serão de construção soldada, constituídos por barras verticais contínuas apoiadas sobre uma estrutura composta por vigas horizontais, convenientemente espaçadas de modo a evitar a ressonância e vigas verticais que transmitirão todas as reações ao concreto. Deverão ser capazes de suportar sem danos até 3,0 m de diferencial de pressão e de forma que a frequência de vibração das barras deverá diferir da frequência de vibração do turbilhão formado imediatamente atrás das barras para que não entrem em ressonância.

Possuirão batentes laterais revestidos com material anti-fricção, com possibilidade de regulagem de folga com as peças fixas na obra.

As peças fixas de segundo estágio serão constituídas basicamente por soleira e guias laterais, embutidas, em recessos deixados na concretagem primária, posicionadas e reguladas por meio de chumbadores soldados nas peças fixas de primeiro estágio.

Cada bloco de tomada d'água será dividido em 03 (três) aduções por pilares verticais de concreto.

Os painéis superiores serão providos de uma transição na sua parte superior, que permitirá a passagem do rastelo do dispositivo limpa-grades e de suas guias para as barras dos painéis das grades.

As características básicas da grade da tomada d'água são:

| | |
|--|------------|
| Forma Construtiva | Removível |
| Quantidade de Emboques | 6 |
| Quantidade de Grades por Emboque | 1 |
| Quantidade de Painéis por Grade..... | 7 |
| Quantidade de Peças Fixas por Emboque..... | 1 conjunto |
| Largura do Vão..... | 4,438 m |
| Altura vertical do vão | 17,0 m |
| Inclinação da Grade..... | 1V – 0,13H |
| Nível Max. Maximorum de Montante | 90,90 msnm |
| Elevação do piso de Operação/Manobra | 91,10 msnm |
| Elevação da Soleira da Grade | 52,60 msnm |
| Altura Total das Peças Fixas | 38,0 m |
| Espaçamento Mínimo das Barras Verticais..... | 150 mm |

5.8.3 Comporta Ensecadeira da Tomada de Água

A comporta ensecadeira terá por função possibilitar a manutenção da tomada d'água e da câmara de adução de qualquer das duas unidades geradoras. A movimentação da comporta ensecadeira será efetuada através de uma viga pescadora, provida de mecanismo de engate e desengate automáticos, acionada por meio do mecanismo de elevação do pórtico rolante da tomada d'água.

Sua movimentação será sempre feita com equilíbrio de pressões. O painel superior deverá ser provido de sistema by-pass acionado pelo peso próprio da viga pescadora com o objetivo de permitir o equilíbrio de pressões entre montante e jusante da comporta.

A comporta ensecadeira e a viga pescadora serão guiadas por peças fixas embutidas nos pilares de concreto, as quais servirão também para transmitir as reações ao concreto.

A comporta ensecadeira será de construção soldada, constituída por paramento e vedação à jusante reforçado por vigas horizontais e verticais.

A comporta ensecadeira possuirá duas sapatas de guia lateral de cada lado, alinhadas com os olhais de acoplamento com a viga pescadora. As sapatas permitirão regulagem no campo.

As vedações serão de borracha revestida com teflon (apenas para perfil nota musical), projetadas e instaladas de modo a permitir a estanqueidade total. O quadro de vedação será formado por vedações laterais e superior com seção tipo nota musical simples com as quinas vulcanizadas em uma única peça e vedação inferior com seção retangular.

As peças fixas de segundo estágio serão constituídas basicamente por soleira, peças verticais de apoio e vedação e guias laterais, embutidas em recessos deixados na concretagem primária, posicionadas e reguladas por meio de chumbadores soldados nas peças fixas de primeiro estágio. Haverá prolongamentos laterais nas peças fixas da soleira no sentido de jusante, a fim de possibilitar o apoio das chapas de cabeceira da comporta.

As guias laterais serão constituídas por um perfil laminado ou de construção soldada, com resistência suficiente para guiar a comporta ensecadeira lateralmente e no sentido montante-jusante, estendendo-se desde a soleira até os dispositivos de calagem no topo das ranhuras. Possuirão um alargamento na extremidade superior, para facilitar a introdução e retirada da comporta ensecadeira e da viga pescadora.

A viga pescadora para manobra da comporta, será em estrutura de construção soldada, dimensionada para movimentar a comporta ensecadeira, sem torções ou deflexões excessivas.

Os painéis das comportas ensecadeiras serão armazenadas em poço de estocagem localizado na tomada d'água. A viga pescadora será estocada em cavalete no topo da ranhura de operação.

As características básicas da comporta ensecadeira da tomada d'água são:

| | |
|--|-----------------------------------|
| Forma Construtiva | Vedação a Jusante |
| Quantidade de Emboques | 6 |
| Quantidade de Comportas por Emboque..... | 1 |
| Quantidade de Painéis por Comporta | 5 |
| Quantidade de Comportas | 6 (3 provisórias + 3 definitivas) |
| Quantidade de Peças Fixas por Emboque..... | 1 conjunto (total de 6) |
| Largura do Vão..... | 4,438 m |
| Altura do Vão..... | 11,28 m |
| Nível Max. Maximorum de Montante | 90,90 msnm |
| Elevação do piso de Operação/Manobra | 91,10 msnm |
| Elevação da Soleira..... | 50,10 msnm |
| Altura Total das Peças Fixas | 41,8 m |
| Carga Hidrostática da Comporta..... | 37,13 m.c.a. |

5.8.4 Comporta Vagão do Tubo de Sucção

As duas unidades geradoras serão protegidas cada uma por duas comportas vagão para fechamento de emergência do tubo de sucção sob quaisquer condições de operação da turbina. A comporta será projetada com vedação do lado de montante. O

esforço de manobra da comporta será baseado na sua movimentação com pressões não equalizadas e seu fechamento através do seu peso próprio.

Cada comporta será manobrada por um cilindro hidráulico de simples efeito fixado em uma estrutura de apoio instalada em plataforma abaixo do piso de manobra e ligado a comporta através de hastes de acoplamento. O cilindro hidráulico será controlado por unidade hidráulica localizada no piso de manobra da casa de força controlado remotamente através da sala de comando da Usina.

A comporta será de construção soldada, constituída por paramento e vedação, reforçadas por vigas horizontais e verticais.

As rodas principais, rodas de guia e de contra-guia possuirão mancais autolubrificantes. As rodas principais deverão ser forjadas conforme especificação ASTM A-668 Grau C ou superior.

As vedações serão de borracha com revestimento de teflon (apenas nos perfis tipo nota musical), projetadas e instaladas de modo a permitir a máxima estanqueidade. O quadro de vedação será formado por vedações superior e laterais com seção tipo nota musical simples e vedação inferior com seção retangular.

As peças fixas de segundo estágio serão constituídas basicamente por soleira, frontal, peças verticais de apoio e vedação e guias laterais. Serão embutidas em recessos deixados na concretagem primária, posicionadas e reguladas por meio de chumbadores soldados nas peças fixas de primeiro estágio. Haverá prolongamentos laterais nas peças fixas da soleira no sentido do paramento para o vigeamento, a fim de possibilitar o apoio das chapas de cabeceira da comporta.

As guias laterais serão constituídas por um perfil laminado ou de construção soldada, com resistência suficiente para guiar a comporta vagão lateralmente e no sentido montante-jusante, devendo estender-se desde a soleira até os dispositivos de calagem no topo das ranhuras.

As características básicas da comporta vagão do tubo de sucção são:

| | |
|--|--------------------|
| Forma Construtiva | Vedação a Montante |
| Quantidade de Emboques | 4 |
| Quantidade de Comportas por Emboque..... | 1 |
| Quantidade de elementos por Comporta | 3 |
| Quantidade de Peças Fixas por Emboque..... | 1 conjunto |
| Quantidade de Comportas..... | 4 |
| Largura do Vão..... | 8,505 m |
| Altura do Vão..... | 6,200 m |
| Nível Max. Maximorum de Jusante..... | 68,40 msnm |
| Elevação do piso de Operação/Manobra | 70,40 msnm |
| Elevação da Soleira..... | 38,7 msnm |
| Altura Total das Peças Fixas | 31,6 m |
| Carga Hidrostática da Comporta..... | 27,63 m.c.a. |

5.8.5 Comporta Ensecadeira de Montante do Vertedouro

A comporta ensecadeira terá por função possibilitar a manutenção da comporta de segmento e ogiva do vertedouro de qualquer uma de suas cinco calhas. A movimentação da comporta ensecadeira será efetuada através de uma viga pescadora, provida de mecanismo de engate e desengate automáticos, acionada por meio do mecanismo de elevação do pórtico rolante do vertedouro.

Sua movimentação será sempre feita com equilíbrio de pressões. O painel superior deverá ser provido de sistema by-pass acionado pelo peso próprio da viga pescadora com o objetivo de permitir o equilíbrio de pressões entre montante e jusante da comporta.

A comporta ensecadeira e a viga pescadora serão guiadas por peças fixas embutidas nos pilares de concreto, as quais servirão também para transmitir as reações ao concreto.

A comporta ensecadeira será de construção soldada, constituída por paramento e vedação à jusante reforçado por vigas horizontais e verticais.

A comporta ensecadeira possuirá duas sapatas de guia lateral de cada lado, alinhadas com os olhais de acoplamento com a viga pescadora. As sapatas permitirão regulagem no campo.

As vedações serão de borracha revestida com teflon (apenas para perfil nota musical), projetadas e instaladas de modo a permitir a estanqueidade total. O quadro de vedação será formado por vedações laterais com seção tipo nota musical simples e vedação inferior com seção retangular.

As peças fixas de segundo estágio serão constituídas basicamente por soleira, peças verticais de apoio e vedação e guias laterais, embutidas em recessos deixados na concretagem primária, posicionadas e reguladas por meio de chumbadores soldados nas peças fixas de primeiro estágio. Haverá prolongamentos laterais nas peças fixas da soleira no sentido de jusante, a fim de possibilitar o apoio das chapas de cabeceira da comporta.

As guias laterais serão constituídas por um perfil laminado ou de construção soldada, com resistência suficiente para guiar a comporta ensecadeira lateralmente e no sentido montante-jusante, estendendo-se desde a soleira até os dispositivos de calagem no topo das ranhuras. Possuirão um alargamento na extremidade superior, para facilitar a introdução e retirada da comporta ensecadeira e da viga pescadora.

A viga pescadora para manobra da comporta, será em estrutura de construção soldada, dimensionada para movimentar a comporta ensecadeira, sem torções ou deflexões excessivas.

A movimentação dos painéis da comporta ensecadeira será realizada através do pórtico rolante da tomada d'água e vertedouro.

Os painéis da comporta ensecadeira serão armazenadas em poço de estocagem localizado no vertedouro. A viga pescadora será estocada em cavalete no topo da ranhura de operação.

As características básicas da comporta ensecadeira do vertedouro são:

| | |
|------------------------------|-------------------|
| Forma Construtiva | Vedação a Jusante |
| Quantidade de Emboques | 5 |

| | |
|--|--------------|
| Quantidade de Comportas por Emboque..... | 1 |
| Quantidade de elementos por Comporta | 9 |
| Quantidade total de Comportas | 1 |
| Quantidade de Peças Fixas por Emboque..... | 1 conjunto |
| Largura do Vão..... | 9,00 m |
| Altura do Vão..... | 20,00 m |
| Nível Max. Maximorum de Montante | 90,90 msnm |
| Elevação do piso de Operação/Manobra | 91,10 msnm |
| Elevação da Soleira..... | 60,00 msnm |
| Altura Total das Peças Fixas | 32,10 m |
| Carga Hidrostática da Comporta..... | 24,23 m.c.a. |

5.8.6 Comporta Ensecadeira de Jusante do Vertedouro

A comporta ensecadeira terá por função possibilitar a manutenção da comporta de segmento e ogiva do vertedouro de qualquer uma de suas cinco calhas. A movimentação da comporta ensecadeira será efetuada através de uma viga pescadora, provida de mecanismo de engate e desengate automáticos, acionada por meio do mecanismo de elevação de monovia do vertedouro.

Sua movimentação será sempre feita com equilíbrio de pressões. O painel superior deverá ser provido de sistema by-pass acionado pelo peso próprio da viga pescadora com o objetivo de permitir o equilíbrio de pressões entre montante e jusante da comporta.

A comporta ensecadeira e a viga pescadora serão guiadas por peças fixas embutidas nos pilares de concreto, as quais servirão também para transmitir as reações ao concreto.

A comporta ensecadeira será de construção soldada, constituída por paramento e vedação à jusante reforçado por vigas horizontais e verticais.

A comporta ensecadeira possuirá duas sapatas de guia lateral de cada lado, alinhadas com os olhais de acoplamento com a viga pescadora. As sapatas permitirão regulagem no campo.

As vedações serão de borracha revestida com teflon (apenas para perfil nota musical), projetadas e instaladas de modo a permitir a estanqueidade total. O quadro de vedação será formado por vedações laterais com seção tipo nota musical simples e vedação inferior com seção retangular.

As peças fixas de segundo estágio serão constituídas basicamente por soleira, peças verticais de apoio e vedação e guias laterais, embutidas em recessos deixados na concretagem primária, posicionadas e reguladas por meio de chumbadores soldados nas peças fixas de primeiro estágio. Haverá prolongamentos laterais nas peças fixas da soleira no sentido de jusante, a fim de possibilitar o apoio das chapas de cabeceira da comporta.

As guias laterais serão constituídas por um perfil laminado ou de construção soldada, com resistência suficiente para guiar a comporta ensecadeira lateralmente e no

sentido montante-jusante, estendendo-se desde a soleira até os dispositivos de calagem no topo das ranhuras. Possuirão um alargamento na extremidade superior, para facilitar a introdução e retirada da comporta ensecadeira e da viga pescadora.

A viga pescadora para manobra da comporta, será em estrutura de construção soldada, dimensionada para movimentar a comporta ensecadeira, sem torções ou deflexões excessivas.

A movimentação dos painéis da comporta ensecadeira será realizada através a monovia do vertedouro.

A viga pescadora será estocada em cavalete no topo da ranhura de operação.

As características básicas da comporta ensecadeira do vertedouro são:

| | |
|--|-------------------|
| Forma Construtiva | Vedação a Jusante |
| Quantidade de Emboques | 5 |
| Quantidade de Comportas por Emboque..... | 1 |
| Quantidade de elementos por Comporta | 4 |
| Quantidade total de Comportas | 1 |
| Quantidade de Peças Fixas por Emboque..... | 1 conjunto |
| Largura do Vão..... | 9,00 m |
| Altura do Vão..... | 9,00 m |
| Nível Max. Maximorum de Jusante..... | 68,40 msnm |
| Elevação do piso de Operação/Manobra | 70,40 msnm |
| Elevação da Soleira..... | 60,00 msnm |
| Altura Total das Peças Fixas | 10,40 m |
| Carga Hidrostática da Comporta..... | 5,40 m.c.a. |

5.8.7 Comporta Segmento do Descarregador de Fundo

As comportas de segmento do vertedouro serão utilizadas para controle de níveis e vazões do reservatório.

As comportas segmento deverão operar em qualquer grau de abertura e deverão fechar sob a ação do seu peso próprio. Os mancais principais deverão ser dotados de buchas autolubrificantes e serão ancorados às vigas transversais de concreto por meio de tirantes de ancoragem.

A comporta deverá ser projetada com sistema de vedação padronizado de mercado e apresentando o menor vazamento possível.

As peças fixas de segundo estágio serão constituídas basicamente por soleira, peças verticais de apoio e pista de vedação laterais em aço inoxidável, embutidas em recessos deixados na concretagem primária, posicionadas e reguladas por meio de chumbadores soldados nas peças fixas de primeiro estágio.

Cada comporta será manobrada por dois cilindros hidráulicos de simples efeito, acionados por uma central óleo-hidráulica provida de dispositivo de reposição da

posição da comporta devido às fugas do sistema hidráulico. Tal central será instalada em sala onde estarão também os indicadores de posição das comportas.

No caso de falta de alimentação elétrica, existirá 1 (um) grupo de bombeamento de emergência completo com motor de combustão interna, bomba, válvulas e manômetro para acionamento da central óleo-hidráulica.

Os cilindros hidráulicos deverão ser conectados, pela parte superior, às vigas metálicas convenientemente posicionadas e ancoradas nos pilares e, na parte inferior, à viga horizontal do tabuleiro que se apóia nos braços inferiores da comporta. As articulações de ligação à comporta e às vigas metálicas dos pilares deverão ser dotadas de rótulas (juntas esféricas), providas de buchas autolubrificantes.

Deverão ser previstos dispositivos de calagem para as comportas na posição de abertura total para fins de manutenção, liberando-se os cilindros óleo-hidráulicos dos esforços de acionamento.

As comportas serão projetadas para abrir e fechar em desequilíbrio de pressões para qualquer situação de vazão.

As características básicas da comporta de segmento do vertedouro são:

| | |
|--|---------------------|
| Forma Construtiva | Segmento de fundo |
| Acionamento..... | Cilindro hidráulico |
| Quantidade de Emboques | 5 |
| Quantidade de Comportas por Emboque..... | 1 |
| Quantidade de Painéis por Comporta | 1 |
| Quantidade de Comportas..... | 5 |
| Quantidade de Peças Fixas por Emboque..... | 1 conjunto |
| Largura do Vão..... | 9,00 m |
| Altura vertical do Vão..... | 12,00 m |
| Nível Max. Maximorum de Montante | 90,90 msnm |
| Elevação do piso de Operação/Manobra | 91,10 msnm |
| Elevação da Soleira..... | 60,00 msnm |
| Altura Total das Peças Fixas | 12,00 m |

5.8.8 Ponte Rolante da Casa de Força

A Ponte Rolante deve ser utilizada nas diversas montagens dos equipamentos contidos na Casa de Força, destacando-se o içamento e transporte dos conjuntos montados mais pesados das turbinas e geradores, bem como as montagens parciais desses equipamentos.

A ponte será comandada por comandos instalados na cabine de comando.

A ponte rolante deve ser equipada com um carro, do tipo sem cobertura, para operar em ambiente fechado.

Neste carro devem ser instalados os mecanismos de elevação principal e auxiliar, bem como o mecanismo de direção conduzido sobre o caminho de rolamento montado ao longo das vigas principais da Ponte Rolante.

A Ponte Rolante deslocar-se-á sobre trilhos, instalados sobre as vigas de concreto, permitindo a movimentação das mesmas por sobre toda a área de descarga/montagem e unidades geradoras.

A alimentação elétrica da Ponte Rolante se fará através de um sistema de barramento rígido, fixado às vigas de montante do caminho de rolamento, ao longo de toda extensão da Casa de Força. O suprimento de força para este barramento se fará através de uma caixa de ligação a ser instalada nas proximidades do meio do caminho de rolamento, essa caixa de ligação será alimentada pelo painel CCM (Centro de Comando de Motores).

Lateralmente a cada uma das vigas principais deve ser prevista uma plataforma, constituída de chapas antiderrapantes, parapeitos e rodapés. Esta plataforma deve servir de suporte aos armários dos equipamentos elétricos.

Devem ser montadas em cada lado da ponte rolante e nos redutores de velocidade placas de identificação permanente, de projeto e dizeres em português e aprovados, indicando o nome e endereço do fabricante, número de série, data de fabricação e a capacidade nominal.

As rodas devem ser monobloco de aço forjado ou fundido, com qualidades mínimas iguais às exigidas nas normas ABNT-NBR-8401 ou similar (FEM), com tratamento térmico na banda de rodagem. Não devem ser usadas rodas em ferro fundido nodular.

As polias para cabo de aço devem ser fabricadas em aço fundido, qualidade ASTM A27 Grau 70-36 ou de construção soldada em aço laminado ASTM A36 ou equivalente ou de construção usinada em aço forjado ASTM A668 –B, ASTM A504-C ou equivalente. Não devem ser utilizadas polias de ferro fundido.

As características básicas da ponte rolante da casa de força são:

| | |
|---|-------------------|
| Quantidade | 1 |
| Tipo | Bi-viga |
| Capacidade Nominal (Principal)..... | 235 Ton (2350 kN) |
| Capacidade Nominal (Auxiliar)..... | 3 Ton (30 kN) |
| Grupo (Principal/Auxiliar) | 1Am(FEM) |
| Classe de Funcionamento | V 0,5 |
| Vão da Ponte Rolante..... | 16,12 m |
| Acionamento..... | remoto |
| Curso do Gancho | 47,0 m |
| Elevação dos Trilhos da Ponte Rolante | 79,50 msnm |
| Elevação da Área de Montagem..... | 70,40 msnm |
| Elevação do Piso Inferior da Casa de Força..... | 56,60 msnm |
| Comprimento do Caminho de Rolamento | 97,50 m |

5.8.9 Pórtico Rolante da Tomada de Água e Descarregador de Fundo

A Tomada D'Água e o Descarregador de Fundo serão atendidos por (um) pórtico rolante. Este pórtico rolante também será equipado com um mecanismo completo capaz de fazer a limpeza das grades de proteção da tomada d'água.

O gancho do mecanismo de elevação principal do pórtico será utilizado para realizar as seguintes operações:

- Colocação e retirada dos painéis de grade da tomada d'água, com auxílio de uma viga pescadora;
- Colocação e retirada dos painéis da comporta ensecadeira da tomada d'água, com o auxílio de uma viga pescadora.
- Colocação e retirada dos painéis das comportas ensecadeiras do vertedouro, com auxílio de uma viga pescadora;
- Colocação e retirada das grelhas e tampas metálicas que fecham as ranhuras e os poços de armazenagem na tomada d'água e no vertedouro;

Para permitir o acoplamento das vigas pescadoras, que auxiliarão na colocação e retirada das comportas e grades, o gancho previsto para o mecanismo de elevação principal deverá ser do tipo duplo e furado. O gancho auxiliar poderá ser do tipo simples.

Para abrigar os mecanismos de elevação e de direção instalados sobre a sua estrutura, o carro-guincho deverá ser do tipo totalmente coberto, próprio para operação ao tempo.

Todos os movimentos serão realizados com comando elétrico, definidos a partir da cabine.

O mecanismo completo para limpeza das grades será adaptado à estrutura do pórtico rolante e os detritos serão recolhidos em uma vagoneta basculante.

O pórtico rolante deslocar-se-á sobre trilhos, permitindo sua movimentação em linha reta ao longo da Tomada D'Água e Descarregador de Fundo.

A alimentação elétrica do pórtico rolante será constituída de uma tomada de força do tipo embutida no concreto, situada aproximadamente no meio do caminho de rolamento, e um cabo elétrico flexível, enrolado em um tambor motorizado do tipo tensão constante, enrolando nos dois sentidos.

As características básicas do pórtico rolante são:

| | |
|--------------------------------------|------------------|
| Quantidade | 1 conjunto |
| Capacidade Nominal (Principal) | 19 Ton (190 kN) |
| Capacidade Nominal (Auxiliar) | 5 Ton (50 kN) |
| Grupo | 1Am(FEM) |
| Classe de Funcionamento | V 0,5 |
| Acionamento..... | cabine tripulada |
| Curso do Gancho | 50,0 m |
| Elevação do Piso de Manobra | 91,10 msnm |
| Curso do Pórtico..... | 160,0 m |

Vão do Pórtico 5,00 m

5.8.10 Pórtico Rolante do Tubo de Sucção

O Tubo de Sucção atendido por (um) pórtico rolante. O gancho do mecanismo de elevação principal do pórtico será utilizado para realizar as seguintes operações:

- Colocação e retirada dos painéis da comporta vagão do tubo de sucção, com o auxílio de uma viga pescadora.
- Colocação e retirada das grelhas e tampas metálicas que fecham as ranhuras e os poços de armazenagem no tubo de sucção;

Para permitir o acoplamento das vigas pescadoras, que auxiliarão na colocação e retirada das comportas e grades, o gancho previsto para o mecanismo de elevação principal deverá ser do tipo duplo e furado. O gancho auxiliar poderá ser do tipo simples.

Para abrigar os mecanismos de elevação e de direção instalados sobre a sua estrutura, o carro-guincho deverá ser do tipo totalmente coberto, próprio para operação ao tempo.

Todos os movimentos serão realizados com comando elétrico, definidos a partir da cabine.

O mecanismo completo para limpeza das grades será adaptado à estrutura do pórtico rolante e os detritos serão recolhidos em uma vagoneta basculante.

O pórtico rolante deslocar-se-á sobre trilhos, permitindo sua movimentação em linha reta ao longo da Tomada D'Água e Vertedouro.

A alimentação elétrica do pórtico rolante será constituída de uma tomada de força do tipo embutida no concreto, situada aproximadamente no meio do caminho de rolamento, e um cabo elétrico flexível, enrolado em um tambor motorizado do tipo tensão constante, enrolando nos dois sentidos.

As características básicas do pórtico rolante são:

Quantidade 1 conjunto
Capacidade Nominal (Principal) 50 Ton (500 kN)
Grupo 1Am(FEM)
Classe de Funcionamento V 0,5
Acionamento..... cabine tripulada
Curso do Gancho 50,0 m
Elevação do Piso de Manobra 91,10 msnm
Curso do Pórtico 160,0 m
Vão do Pórtico 3,00 m

5.8.11 Talha e Monovia de Jusante do Descarregador de Fundo

A talha e monovia destinam-se basicamente, aos serviços de montagem, manutenção, colocação e retirada dos painéis da comporta ensecadeira de jusante do Vertedouro bem como seu acionamento nas respectivas ranhuras de operação.

Para a realização desses serviços, a talha deve ser dotada de um mecanismo de elevação e de translação, resistentes às intempéries locais, comandada por botoeira pendente.

A talha terá movimento de translação sob a monovia, percorrendo em linha reta toda a extensão das ranhuras das comportas até o local de descarga dos equipamentos.

A alimentação elétrica deve ser feita através de um cabo flexível enrolado em um tambor motorizado, do tipo tensão constante. A tomada de força será instalada em um dos pilares de concreto de suporte da monovia e será alimentada pelo painel Centro de Comando de Motores.

A monovia será instalada no vertedouro em estrutura fixa de concreto, ou alternativa em estrutura fixa metálica.

A operação de movimentação dos painéis da comporta ensecadeira serão realizadas com auxílio viga pescadora. O semipórtico de estrutura fixa será dimensionado com altura suficiente para permitir a remoção dos painéis das comportas, para alcance de caminhão no piso de manobra.

As características básicas da talha e monovia do Descarregador de Fundo são:

| | |
|-----------------------------------|--------------|
| Quantidade | 1 conjunto |
| Capacidade Nominal da Talha..... | 7 Ton (70kN) |
| Grupo | 1Am(FEM) |
| Classe de Funcionamento | V 0,5 |
| Acionamento..... | remoto |
| Curso do Gancho | 15,00 m |
| Elevação do Piso de Manobra | 70,40 msnm |
| Curso da Talha na Monovia..... | 85,0 m |

5.8.12 Sistemas Auxiliares Mecânicos

5.8.12.1 Sistema de Água de Resfriamento

O Sistema de Água de Resfriamento tem por finalidade a captação de água do circuito hidráulico, filtragem e distribuição para os locais/ equipamentos da Usina, tais como: os trocadores de calor dos geradores, trocadores de calor das unidades hidráulicas do sistema de regulação das turbinas, trocadores de calor do óleo dos mancais guias superiores dos geradores, trocadores de calor do óleo dos mancais de escora das turbinas, trocadores de calor do óleo dos mancais guia das turbinas e vedação de eixo das turbinas, trocador de calor dos compressores de ar e trocador de calor dos radiadores dos geradores, além de fornecer água para os sistemas de água de serviço, água de vedação e de água tratada.

A captação de água bruta é feita na semi-espiral de cada turbina, dotadas de grelha para retenção de detritos. Após a captação, a água é conduzida até a galeria mecânica e conectada aos filtros retrolaváveis instalados em paralelo. Os filtros descarregam a água em um coletor principal que distribui a água aos locais/equipamentos a serem atendidos pelo sistema de água de resfriamento. Durante o projeto executivo será avaliada a necessidade de incorporação de bombas de pressurização para o sistema de resfriamento.

Do mesmo coletor principal partem os ramais que atendem aos sistemas de água de serviço, de vedação da turbina e de água tratada.

Os filtros são do tipo cesta autolimpante por retrolavagem e sendo que demanda total da usina deverá ser suprida por apenas um dos filtros. A retrolavagem dos filtros será feita de tal forma que não seja interrompido o fluxo de água filtrada para os pontos necessários.

O sistema está representado no fluxograma 1530-IT-B-DE-G35-0001 Sistema de Água Industrial.

5.8.12.2 Sistema de água de serviço

O Sistema de Água de Serviço consiste em uma rede de tubulações que tem a finalidade de fornecer água filtrada, proveniente do sistema de água de resfriamento, para todas as tomadas de serviço instaladas nos pontos de utilização da Casa de Força, para irrigação de jardins, alimentação do sistema de água tratada. Além de suprir água para a manutenção do nível mínimo de água para o bom funcionamento dos poços separadores de água e óleo da Usina.

O sistema de água de serviço é iniciado a partir de uma tomada do sistema de água de serviço e está representado no fluxograma 1530-IT-B-DE-G35-0002 Sistema de Água de Serviço.

5.8.12.3 Sistema de Água de Vedação

O Sistema será responsável pela captação, tratamento e alimentação de água para as vedações de eixo das turbinas hidráulicas.

A captação será junto ao fornecimento de água do Sistema Auxiliar de Água de Resfriamento e seguirá por uma tubulação metálica até os filtros hidrociclones com grau de filtragem conforme especificado pelo fabricante da turbina e posteriormente para as vedações dos eixos das turbinas hidráulicas.

5.8.12.4 Sistema de Água Tratada

O Sistema de Água Tratada tem a finalidade de receber, tratar e distribuir água para os sanitários, tanques, pias e lavatórios da Usina. Será composto basicamente por um ponto de abastecimento, duas caixas de água na Casa de Força e uma caixa de água na sala de reles da Subestação, rede de tubulação, conexões, aparelhos sanitários, válvulas e acessórios.

O sistema é suprido por um ramal que parte do sistema de Água de Serviço e conduz a água até a Estação Compacta de Tratamento de Água (ETA) e desta para os reservatórios de água tratada.

A água potável será conduzida pela pressão remanescente da ETA até os reservatórios principais. A partir daí a água será então conduzida por gravidade para os pontos de consumo na Casa de Força.

Os reservatórios localizados sobre o edifício administrativo, em posição elevada, são compostos por duas unidades independentes para permitir autonomia de fornecimento de água e parada para manutenção sem interrupção no abastecimento de água para os pontos de consumo. O nível de água dos reservatórios é controlado por meio de sensores de nível.

O Sistema está representado no fluxograma 1530-IT-B-DE-G37-0001 Sistema de Água Potável.

5.8.12.5 Sistema de Ar Comprimido de Serviço

O Sistema de Ar comprimido de Serviço tem a finalidade de produzir, armazenar e fornecer ar seco e filtrado sob pressão para o suprimento de válvulas de controle e ferramentas pneumáticas, sistema de frenagem dos geradores, operação de equipamentos, limpeza e desobstrução de tubulações.

O sistema é composto basicamente de uma central de ar comprimido e uma rede de distribuição de ar para a casa de força e área de montagem.

A central de ar comprimido é composta de dois compressores rotativos do tipo parafuso resfriados a ar, secador de ar por refrigeração e um reservatório cilíndrico vertical.

As unidades compressoras são do tipo "Pack" (confinadas em uma cabine acústica com painel de controle incorporado). Um dos compressores atua como principal e o outro como reserva, podendo ambos operar simultaneamente em caso de maior demanda de ar.

A rede de distribuição consiste de um tronco principal, ramais e sub-ramais que distribuem ar para os pontos de consumo e tomadas de serviço da Usina.

O Sistema está representado no fluxograma 1530-IT-B-DE-G40-0001 - Sistema de Ar Comprimido de serviço.

5.8.12.6 Sistema de Drenagem

O Sistema de Drenagem tem a finalidade de coletar e conduzir até o poço de drenagem toda a água proveniente de percolação, água de vedação dos eixos das turbinas, descarga de equipamentos, vazamentos de tubulações e limpeza de pisos, em todos os ambientes internos da Casa de Força. O sistema contará com dois poços de drenagem a saber: um localizado na galeria da tomada d'água, que será responsável pela coleta e recalque de toda a percolação das galerias de montante da Casa de Força e Vertedouro e outro no bloco lateral da Casa de Força.

A rede de drenagem da Casa de Força é composta basicamente por uma série de canaletas e tubulações que conduzem a água coletada até o poço de drenagem através de um coletor, duas bombas centrífugas submersíveis, tubulações de recalque que conduzem a água até o canal de fuga. Este poço será dotado de sensores de nível e quadro de controle das bombas e tubulações de interligação com o poço de esgotamento.

Nas galerias de montante, o sistema de drenagem é composto por uma série de canaletas e tubulações que conduzem a água coletada até o poço de drenagem na galeria da tomada d'água, onde duas bombas centrífugas submersíveis e tubulações de recalque conduzirão o volume captado até o nível de jusante da casa de força. Este poço também será dotado de sensores de nível e quadro de controle das bombas.

Para os locais onde há risco de contaminação da água com óleo lubrificante, a água é primeiramente conduzida para um separador água/óleo e então conduzida para o poço de drenagem. O óleo separado ficará armazenado em um compartimento cujo nível será monitorado por sensor que enviará o sinal ao Sistema Digital de Supervisão e Controle (SDSC), indicando a necessidade de esvaziamento deste compartimento.

O controle de partida e parada das bombas e anúncio de alarmes será realizado por controladores e transmissores de nível, cuja função será o controle e a supervisão das bombas.

No caso de nível alto, o excesso de água será desviado automaticamente para o poço de esgotamento através da tubulação de interligação entre os poços (provida de válvula de retenção), cuja válvula superior fica normalmente aberta. Nas operações de esgotamento, essa válvula deverá ser fechada, por segurança.

O Sistema está representado no fluxograma 1530-IT-B-DE-G33-0001 Sistema de Drenagem da Casa de Força e 1530-IT-B-DE-G33-0002 Sistema de Drenagem das galerias da tomada d'água e vertedouro.

5.8.12.7 Sistema de Esgotamento e Enchimento

O Sistema de Esgotamento e Enchimento tem a finalidade de encher e esvaziar, total ou parcialmente, a caixa semi-espiral, o tubo de sucção e a tomada de adução das unidades geradoras.

O sistema é composto basicamente de uma rede de tubulação, salas de válvulas, um poço coletor de esgotamento, três bombas centrífugas de eixo horizontal, sensores e transmissores de nível e quadro de controle das bombas.

Uma rede de tubulações em cada unidade fará a interligação da extremidade inferior da caixa semi-espiral com o tubo de sucção, enquanto que a parte mais baixa do tubo de sucção será provida de uma tubulação para o esgotamento total da unidade. Na galeria do tubo de sucção de cada unidade haverá válvulas de bloqueio para realizar as operações de esgotamento parcial e enchimento. Para a operação de esgotamento total as válvulas estarão posicionadas no poço de bombas de esgotamento.

Haverá uma interligação do poço de drenagem com o poço de esgotamento, que permitirá a extravasão do poço de drenagem para o poço de esgotamento. Esta interligação será dotada de válvula de bloqueio, situadas no piso de instalação das bombas de drenagem e que deverão ser obrigatoriamente fechadas quando uma unidade estiver em operação de esgotamento. Além disso, contam com válvulas de retenção de forma a impedir o fluxo de água do poço de esgotamento para o poço de drenagem.

O poço possuirá uma tubulação de aeração, assim como o tubo de sucção, para quando o circuito estiver em estágio de enchimento.

O poço dos sensores de nível e as escotilhas de acesso ao poço de esgotamento são do tipo estanque. As bombas de esgotamento serão instaladas em um poço de bombas a seco.

Para esgotamento total do poço é previsto a colocação de uma bomba de limpeza do tipo submersível, comum ao poço drenagem.

O Sistema está representado no fluxograma 1530-IT-B-DE-G34-0001 Sistema de Esgotamento e Enchimento.

5.8.12.8 Sistema de Esgoto Sanitário

O Sistema de Esgoto Sanitário tem por finalidade coletar o esgoto bruto oriundo das instalações hidro sanitárias da casa de Força e conduzi-lo por bombeamento até uma estação de tratamento de esgoto (ETE), despejando na sequência o efluente tratado no canal de fuga.

O sistema será composto de uma rede de tubulações coletoras, uma estação de bombeamento e uma estação de tratamento de esgotos composta de caixa de gradeamento, tanque séptico, filtro anaeróbico e tanque clorador.

A água drenada da Sala de Baterias (piso, pias de lavagem e lava-olhos) será direcionada a uma caixa neutralizadora, de forma a reter e neutralizar possíveis contaminantes, tais como ácidos e metais pesados antes de sua descarga na estação de tratamento de esgoto.

O Sistema está representado no fluxograma 1530-IT-B-DE-G39-0001 Sistema de Esgoto Sanitário.

5.8.12.9 Sistemas de Proteção Contra Incêndio

Os sistemas de proteção contra incêndio têm a finalidade combater incêndios em equipamentos e ambientes da Casa de Força sujeitos à ocorrência de sinistro.

O Sistema está representado no fluxograma 1530-IT-B-DE-G36-0001 Sistema de Proteção Contra Incêndio.

A Usina disporá dos seguintes sistemas de proteção contra incêndio:

Hidrantes

O sistema de hidrantes tem por finalidade proteger a área de montagem e a área externa da Casa de Força. É constituído por uma rede de hidrantes estrategicamente localizados e interligados por meio de tubulação e um coletor principal para os sistemas de combate a incêndio.

O sistema é do tipo fixo pressurizado e entra em funcionamento abrindo-se manualmente qualquer hidrante.

A água será captada diretamente no reservatório e posteriormente filtrada pelos filtros de duplo cesto antes de alimentar os sistemas de hidrantes e de água nebulizada.

Água Nebulizada

O sistema fixo automático de água nebulizada tem por finalidade proteger os transformadores elevadores da Usina. É constituído por redes de bicos nebulizadores em cada transformador, interligados através de válvula dilúvio e coletor principal.

Cada transformador possui um sistema independente de detecção e combate a incêndio.

O combate a incêndio é feito por uma rede de projetores que circundam o transformador de forma a distribuir a água uniformemente pela sua superfície. Cada rede possui: válvula dilúvio com sinalização de posição, válvulas de bloqueio tipo esfera, alarme hidráulico, válvula de teste parcial e chave de pressão. A rede de detecção que acionará a válvula de dilúvio será por água pressurizada.

Abaixo de cada transformador haverá uma bacia de drenagem e contenção com pedra britada, para captação de água de incêndio e do óleo que for derramado. Estas bacias drenam seu volume para um separador de água-óleo dos transformadores.

Paredes corta-fogo situadas ao lado e atrás de cada transformador fazem o isolamento em caso de incêndio.

A pressurização dos sistemas de hidrantes e de água nebulizada é feita por meio de duas bombas "booster" (uma principal e outra reserva) cada uma delas alimentada por um circuito elétrico independente, assim como uma bomba pressurizadora (jockey) para manter a pressão constante no sistema.

Extintores

O sistema de extintores tem por finalidade a proteção interna da Casa de Força e Subestação e é constituído por extintores portáteis de CO₂ e de pó químico seco estrategicamente localizados nos ambientes protegidos em função da classe de risco.

5.8.12.10 Sistema de Coleta e Separação de Água e Óleo

O sistema tem a finalidade de drenar e tratar a mistura de água e óleo provenientes do sistema de drenagem da Casa de Força e o óleo isolante eventualmente derramado no caso de um sinistro do transformador elevador, de forma a não permitir a descarga de óleo no meio-ambiente.

Será dividido em dois subsistemas: Sistema separador para óleo isolante do transformador e sistema separador de óleo lubrificante para as drenagens da Casa de Força.

O primeiro será constituído basicamente por bacia coletora, em concreto, localizada sob o transformador, que conduzirá a mistura por gravidade para um separador acoplado à mesma para posterior bombeamento do óleo acumulado. A bacia coletora possuirá, em sua parte superior, uma grelha metálica suspensa para permitir a estocagem de pedra britada e, na sua parte inferior, um volume útil destinado a armazenar parte do óleo que venha a ser derramado, no caso de sinistro. A finalidade da camada de pedras britadas é abafar o fogo proveniente do óleo incandescente, quando este é forçado a infiltrar-se pelas mesmas.

Para o sistema da Casa de Força, as drenagens serão conduzidas através de tubulações até o tanque separador água e óleo localizado no ponto mais baixo da mesma; onde o óleo será separado e a água encaminhada por gravidade para o poço de drenagem. Após a separação, o óleo ficará armazenado em um tanque apropriado com uma chave de nível para sinalizar a necessidade de coleta deste óleo e uma abertura para utilização de bomba portátil.

Os Sistemas estão representados nos fluxogramas 1530-IT-B-DE-G38-0001 Sistema de Separação Água e Óleo e 1530-IT-B-DE-G33-0001 Sistema de Drenagem.

O tanque separador água/óleo possuirá os seguintes componentes:

Câmara de Entrada – Esta câmara é dotada de um desarenador removível e possui a função de reduzir a turbulência na entrada da mistura de água/óleo.

Câmara de Separação – Esta câmara tem a função de separar a mistura água/óleo através da sua diferença de densidade, ela é dimensionada de acordo com os critérios da norma API que levam em consideração fatores de turbulência e curto-circuito do sistema, além dos demais critérios de projeto.

Câmara Armazenadora de Óleo – Tanque onde fica armazenado o óleo separado para posterior coleta.

Câmara Niveladora e de Saída de Água – Nesta câmara sairá a água separada do óleo. Esta câmara conta com um vertedouro e uma válvula com bóia, que tem a finalidade de manter um selo de água dentro do tanque separador, para que a mistura de água/óleo não passe diretamente pela câmara separadora (na ausência do selo de água) e seja descarregada a jusante.

5.8.12.11 Sistema de Ar Condicionado

O sistema de ar condicionado terá o objetivo de assegurar condições adequadas aos ocupantes e equipamentos locados no interior da sala de comando e controle da Casa de Força, através do controle da temperatura, distribuição e renovação do ar. O sistema será composto por condicionador de ar tipo “split” com unidade evaporadora de teto e unidade condensadora de parede instalada na área externa adjacente. Por se tratar de uma unidade isolada, a renovação de ar se processará pela instalação de um renovador de ar controlado por relê temporizador para assegurar os níveis de renovação de ar requeridos pelo Ministério da Saúde.

O Sistema está representado no fluxograma 1530-IT-B-DE-G41-0001 Sistema de Ar Condicionado.

Não haverá nenhum tipo de supervisão sobre este sistema, além da disponível no aparelho de ar condicionado.

5.8.12.12 Sistema de Ventilação

O Sistema de Ventilação tem a finalidade de assegurar aos ambientes e locais atendidos da Casa de Força e Área de Montagem, através de renovação de ar, níveis de temperatura e de qualidade do ar adequados às condições requeridas por pessoas e equipamentos.

O Sistema de Ventilação é do tipo forçado.

A Casa de Força é levemente pressurizada, sendo o insuflamento do ar feito através de um “plenum” na parede de jusante estendendo-se pela galeria elétrica até e sendo então distribuído para os diversos ambientes através de dutos metálicos;

As saídas de ar para o exterior ocorrem através de aberturas ao longo da cobertura da Casa de Força.

Alguns ambientes específicos, como poço do gerador, poço da turbina e sala de baterias possuirão exaustão forçada.

A vazão de ar para cada ambiente será determinada considerando como critérios a carga térmica com um diferencial de temperatura admissível de 5°C. Para a renovação

mínima de ar ou a dissolução de poluentes, deverá ser adotado o valor mais conservador para cada caso.

O Sistema está representado no fluxograma 1530-IT-B-DE-G43-0001 Sistema de Ventilação.

5.8.12.13 Medições Hidráulicas

O sistema tem por finalidade executar as medições hidráulicas necessárias para a operação da usina e monitoração de seus níveis.

O sistema está representado no fluxograma 1530-IT-B-DE-G44-0001 Sistema de Medições Hidráulicas.

Este sistema será composto por transdutores de pressão tipo sonda piezométrica que serão instalados a montante da grade da tomada d'água, montante e jusante da comporta ensecadeira da tomada d'água, a montante e jusante das comportas vagão do tubo de sucção e no canal de fuga. Estes transdutores serão utilizados para medição das seguintes grandezas:

- Nível do reservatório;
- Nível do canal de fuga;
- Perda de carga nas grades da tomada d'água;
- Equilíbrio de pressão nas comportas da tomada d'água;
- Obtenção da queda bruta.

Para medição dos níveis do reservatório, do canal de fuga e queda bruta, serão utilizados sensores de pressão com transmissor do tipo piezométrico.

Cada um dos níveis será medido de forma independente, sendo que a medida do nível do reservatório será feita a montante da grade e o nível do canal de fuga a jusante da comporta do tubo de sucção.

Os sinais dos instrumentos serão convertidos para níveis d'água, em metros, relativos ao nível do mar, com indicação no quadro de comando local e na sala de controle.

A medição da perda de carga nas grades da tomada d'água, será realizada por meio de comparação do sinal do medidor de nível do reservatório e um medidor a jusante da comporta.

O Sistema Digital de Supervisão e Controle (SDSC) processará estes níveis e indicará a diferença no Painel de Supervisão e Controle da tomada d'água e na tela do Sistema Supervisório em centímetros de coluna d'água, correspondente à perda de carga na grade.

O controle do equilíbrio de pressões nas comportas da tomada d'água será realizado através das comparações dos sinais dos medidores de nível localizados a montante e jusante das respectivas comportas.

Adicionalmente, produzirá uma sinalização visual no Painel de Supervisão e Controle e alarmes para indicação/habilitação da abertura segura das comportas. Este sinal deverá ser utilizado para intertravamento da partida das turbinas.

Para o sistema de supervisão e controle, os dados obtidos pelos transdutores de pressão tipo piezométrico serão transmitidos para um painel de medição de perda de carga nas grades.

5.8.13 Subestação e Linhas Transmissão

A Subestação da Usina está prevista para ser implantada na margem esquerda do Rio. Será inteiramente construída sobre aterro compactado cuja cota da Plataforma foi estabelecida na El. 70,40 m.

A subestação de manobra que interligará a UHE Itaocara à SE de Ilha dos Pombos, será do tipo convencional, que elevará a tensão de 13,8kV para 138 kV, com esquema de arranjo barra principal e transferência, com disjuntor de transferência conforme diagrama unifilar apresentado no desenho 1530-IT-B-DE-G78-0002.

A subestação terá dois vãos de entrada, advindos dos transformadores da casa de força, que se conectarão à SE da usina. A Subestação terá dois circuitos de saída para as linhas de transmissão que interligará à SE de Ilha dos Pombos.

A LT será em 138 kV, a ser construída, em circuito duplo, por meio de duas linhas de transmissão, com aproximadamente 22 km de extensão até a SE Ilha dos Pombos.

As estruturas da linha de transmissão serão metálicas, treliçadas, autoportantes, adequadas para circuito simples e serão de uma série padronizada.

Entre a UHE Itaocara e a SE Ilha dos Pombos, cada fase será composta de um (01) cabo CAA, 795 kcmil, código DRAKE.

Como cabo pára-raios, está previsto a utilização de cabo OPGW, e que será próprio para transmissão de dados.

O traçado preliminar da LT pode ser observado no desenho 1530-IT-B-DE-G68-0001.

O arranjo e corte da SE Itaocara pode ser observado no desenho nº 1530-IT-B-DE-G61-0001 e 1530-IT-B-DE-G61-0001.

5.8.14 Geradores e Equipamentos Associados

Deverão ser fornecidos 2 (dois) geradores em corrente alternada, síncrono, trifásico, ligação em estrela, com neutro aterrado através de transformador de aterramento, eixo vertical, com arranjo de mancais para acoplamento direto à turbina hidráulica, tipo Kaplan, com carenagem fixada ao concreto, com sistema de resfriamento água/ ar em circuito com descarga de água a jusante da UHE e sistema de excitação do tipo "estático".

O projeto, a fabricação e o desempenho dos geradores e equipamentos associados atenderão aos requisitos do submódulo 3.6 do módulo 3, em sua última revisão, dos Procedimentos de Rede do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

A linha de eixo do conjunto turbina/gerador será constituída de um mancal de escora e dois mancais de guia. O mancal de escora da turbina estará situado e apoiado sobre a tampa da turbina. O mancal guia do gerador estará situado acima do rotor do gerador apoiado na cruzeta superior e o mancal guia inferior da turbina estará situado o mais próximo possível do rotor da turbina.

O gerador e seus equipamentos associados deverão ser projetados para um ciclo diário de partida e parada. Os geradores e todos os seus componentes e acessórios deverão ser idênticos entre si e suas partes deverão ser intercambiáveis.

Cada gerador e equipamentos associados deverão ser constituídos basicamente de:

UHE ITAOCARA I

- Sistema de frenagem e levantamento do rotor;
- Equipamentos de aterramento do neutro do gerador;
- Equipamentos de proteção contra surtos e transformadores de potencial instalados em cubículo do tipo “Metal-Clad”.
- Transformadores de corrente para proteção, controle e supervisão;
- Sistema de excitação completo tipo estático com transformador de excitação;
- Instrumentos, sensores e dispositivos de supervisão dos equipamentos associados;
- Sistema de monitoramento contínuo de temperatura dos geradores com todas as interfaces necessárias a supervisão remota;
- Sistema de monitoramento de oscilação do eixo;
- O sistema de excitação deverá ser do tipo estático com os retificadores alimentados através de um transformador trifásico para a função de excitação, conectado diretamente aos terminais do gerador;
- Por questões de confiabilidade operativa, o conversor de potência deverá ser dotado de, pelo menos, três pontes em paralelo, das quais uma é reserva;
- Cubículos e painéis de interface e de comandos locais.

Segue abaixo as características principais de cada gerador:

- Quantidade..... 2
- Potência unitária nominal84,145 MVA
- Tensão nominal..... 13800 Vef
- Frequência nominal..... 60 Hz
- Fator de potência0,90 (indutivo)
- Faixa de variação de tensão - 10% / + 5%
- Tipo de ligação..... Estrela aterrada
- Rotação nominal 144 rpm
- Número de polos..... 50
- Distorção harmônica máxima 5%
- Rendimento nominal mínimo (FP nominal)..... 98%
- Sobrecarga de longa duração (1h) 1,1
- Sobrecarga momentânea (600 s) 1,5
- Classe de isolamento do estator / rotor F
- Temperatura ambiente máxima..... 40 °C
- Elevação de temperatura no enrolamento do estator (ponto mais quente)..... 93° C
- Elevação de temperatura no enrolamento do rotor (temperatura média)..... 100° C
- Elevação de temperatura no núcleo do estator e partes em contato (ponto mais quente)..... 68° C

- Elevação de temperatura nos anéis coletores 68° C
- Temperatura no metal do mancal guia 80° C
- Temperatura no óleo do mancal guia 65° C
- Forma construtiva..... Eixo vertical
- Grau de proteção da carcaça IP 21
- Nível máximo de ruído..... 85 dB(A)
- Enrolamento amortecedor Sim
- Efeito de inércia (GD2) $\geq 8240 \text{ tm}^2$
- Reatância síncrona de eixo direta não saturada..... $\leq 1,05 \text{ pu}$
- Tipo de acoplamento Direto
- Sentido de rotação Conf. Fabricante Turbina

As perdas nos geradores serão medidas pelo método calorimétrico, em conformidade com a Norma IEC60034-2 e deverão ser informadas pelo fabricante em sua documentação definitiva de fornecimento.

Capacidade de suportar curto-circuito e desequilíbrio permanente de corrente de acordo com os requisitos da IEC 60034-1.

Os geradores isolados em classe F deverão operar nas condições de potência, fator de potência e tensão nominais, utilizando como limite a elevação de temperatura referida para classe B, de acordo com os valores apresentados na norma IEC 60034-1.

Deverão ser computadas as frequências naturais relativas aos diversos estados de carga considerados, discriminando a flexional direta de 1ª ordem, a torcional e as correspondentes composições paramétricas.

A velocidade crítica da parte girante deverá se situar acima da velocidade máxima de rejeição de carga, com afastamento igual ou maior que 30% dessa velocidade e da velocidade de disparo da unidade.

Todas as peças e componentes do gerador deverão ser projetados e construídos para suportar com segurança as tensões e temperaturas resultantes da operação na velocidade de disparo durante um período de pelo menos 30 (trinta) minutos, sem necessidade de qualquer serviço subsequente de reparo.

A partida de uma unidade geradora não deverá exigir nenhuma fonte de energia auxiliar além da alimentação de 380 Vca para excitação inicial e 125Vcc para comando.

A unidade geradora deverá poder ser operada localmente, em emergência, através de controle local e em condições normais, operadas remotamente através do sistema de controle digital, instalado na Sala de Controle Central.

No final do período de garantia, antes do seu término, o fornecedor deverá executar medidas das dimensões registradas no controle durante a montagem na obra, para verificar as eventuais deformações ou deslocamentos ocorridos durante a operação. Além disso, irá verificar as superfícies deslizantes de segmentos dos mancais, conexões entre polos, cunhagem de enrolamento do estator e outras partes

consideradas críticas. Estas instruções deverão fazer parte do manual de manutenção do gerador.

Deverão ser fornecidos todos os materiais, componentes, acessórios, equipamentos e serviços que forem necessários para o perfeito funcionamento dos geradores e seus equipamentos associados.

Mancais

Os níveis de vibração dos mancais não deverão exceder os limites definidos pela ISO 7919.

Os mancais deverão operar continuamente sem danos ou avarias em velocidades compreendidas entre 30 e 110% (trinta e cento e dez por cento) da rotação nominal. Estes deverão também funcionar corretamente durante a velocidade de disparo e com velocidades compreendidas entre 0 e 30% da nominal durante 30 minutos.

O tipo de óleo lubrificante dos mancais deverá ser o mesmo para todo o fornecimento das unidades. Desta forma deverá haver coordenação com o fabricante da turbina, para que o mesmo óleo adotado para os geradores, também seja utilizado nos correspondentes mancais da turbina.

O óleo utilizado para lubrificação dos mancais deverá ser de fácil aquisição no Brasil.

Instrumentação do Gerador

Os dispositivos inerentes ao controle e supervisão das unidades geradoras deverão ser compatíveis com o sistema de automação digital da UHE e toda a instrumentação do gerador deverá ser projetada e fornecida com instrumentos, dispositivos de proteção, controle, alarme e rearmes, de forma a possibilitar a operação remota da unidade geradora através da sala de comando da UHE.

O Fornecedor poderá propor instrumentos adicionais, conforme seu padrão, desde que os mesmos preencham no mínimo as exigências destes Requisitos.

Sistema de Monitoramento de Oscilação de Eixo

Deverão ser fornecidos sensores montados na unidade geradora para o monitoramento de oscilações de eixo com toda cablagem necessária e equipamentos completos para o sistema de monitoramento de oscilações.

5.8.15 Barramento Blindado

Deverão ser fornecidos 3 (três) conjuntos completos de barramentos blindados, trifásicos, de fases isoladas com resfriamento natural, de 13,8 kV para cada unidade geradora, constituídos por:

- Barramentos blindados principais, destinado à conexão do gerador ao enrolamento de baixa tensão do respectivo transformador elevador;
- Barramentos blindado derivação para o Cubículo de Proteção Contra Surtos.
- Barramento blindado derivação para o transformador da excitação e serviços auxiliares.
- Placa de passagem (Chapa Passa Muro/Teto) vedação externa aos invólucros para travessias de paredes e pisos internos e externos.
- Terminais, conectores e juntas flexíveis e todos os dispositivos necessários para todas as conexões dos barramentos aos equipamentos de terceiros.
- Todo equipamento, instrumentos, amostras e mão de obra necessária para os ensaios de rotina na fábrica dos equipamentos;

O barramento blindado de fases isoladas deverá operar nas seguintes condições ambientais:

- Temperatura ambiente.....0°C a 40° C
- Altitudeaté 1000 m
- Umidade relativa do ar até 95 %

Barramento Blindado Principal

As características abaixo são definidas com base na norma ANSI/IEEE C37.23 - 2003:

- Corrente nominal em regime contínuo 5000 A.
- Tensão máxima de operação 15,5 kV
- Tensão suportável nominal a frequência industrial, a seco, 1 minuto 50 kV
- Tensão suportável nominal a f. industrial, ao orvalho, 10 segundo..... 50 kV
- Tensão suportável nominal de impulso atmosférico 110 kV
- Frequência 60 Hz
- Corrente nominal de curta duração(1s) simétrica(eficaz) a ser definido
- Corrente nominal de curta duração(0,17s) assimétrica(crista)... a ser definido
- Elevação de temperatura (temperatura ambiente máxima de 40° C)
- Invólucro40° C
- Condutor 65° C
- Grau de proteção, conforme NBR IEC 60529..... IP-65
- • Resfriamento..... Ventilação Natural

Estes valores deverão ser confirmados na ocasião do projeto executivo.

Derivações Dos Barramentos Blindados Principais

Para os barramentos blindados destinados à conexão aos cubículos de proteção contra surtos, transformadores de excitação e de serviços auxiliares são impostos os requisitos abaixo, com base na ANSI/IEEE C37.23 - 2003:

- Corrente nominal em regime contínuo (valor eficaz) 1.200 A
- Corrente nominal de curta duração(1s) simétrica(eficaz)..... a ser definido
- Corrente nominal de curta duração(0,17s) assimétrica(crista)... a ser definido

Estes valores deverão ser confirmados na ocasião do projeto executivo.

As demais características são idênticas às indicadas para os barramentos blindados principal.

5.8.16 Sistema de Excitação

O sistema de excitação deve ser do tipo estático e o regulador de tensão deverá ser do tipo digital. Deverá ser apto a operar normalmente integrado, através de canais de comunicação digitais, aos níveis superiores do Sistema Digital de Supervisão e Controle (SDSC) da UHE.

O gerador deverá ser fornecido com um sistema de excitação completo, incluindo regulador de tensão automático digital e transformador de excitação. O sistema de excitação deverá ser do tipo estático microprocessado com regulador de tensão microprocessado, de ação contínua, com tempo de resposta inferior a 0,1 segundo.

O desempenho do Sistema de Excitação deverá atender aos requisitos descritos no item 7.3 do Submódulo 3.6 dos Procedimentos de Rede do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), em sua última revisão.

Poderá ser aceita a utilização de ponte retificadora unitária.

Deverá ser previsto sistema de inversão de polaridade localizado em ponto de fácil acesso a manutenção.

O transformador de excitação deverá ser do tipo seco e atender a classe térmica de isolamento "F". Deve ser prevista blindagem eletrostática entre os enrolamentos primário e secundário, com terminais acessíveis e adequados para cabos de cobre para conexão à malha de terra da Usina. A capacidade do transformador deverá ser adequada para sua finalidade e deverá considerar a presença das correntes harmônicas geradas.

Deverá ser fornecido notebook com todos os softwares do sistema de excitação. Os softwares deverão ser fornecidos com licenças para operação completa e edição de todos os parâmetros do regulador.

5.8.17 Regulador de Tensão

Será projetado e fornecido para operação individual de cada gerador, 1 (um) regulador automático de tensão digital.

O regulador automático de tensão é um dispositivo eletroeletrônico que controla o nível de tensão no terminal do gerador, e deve estar localizado no painel de excitação.

O sistema de regulação deverá ser adequado para ser interligado ao SDSC (Sistema Digital de Supervisão e Controle), o qual controlará a operação conjunta ou individual das unidades.

O regulador deverá possuir as seguintes funções padrões, além das demais funções necessárias para o funcionamento correto do regulador de tensão não citadas abaixo:

- Regulador de tensão, regulador de fator de potência e regulador de potência reativa com algoritmo PID;
- Regulador de corrente de excitação com algoritmo PI;

- Valores digitais de referência interno;
- Transferência entre todos os modos de operação sem surtos;
- Função soft-start;
- Limitador Voltz/Hertz;
- Detecção de subtensão;
- Limitador de corrente de excitação mínima;
- Limitador de corrente máxima de excitação em três níveis temporizados (dependente da temperatura)
- Limitador de corrente reativa em função da potência ativa (P/Q);
- Limitador da tensão do estator;
- Limitador de corrente do estator (dependente da temperatura);
- Distribuição de potência reativa Mestre/Escravo
- Detecção de subtensão para disparar uma corrente externa e suportar curtos-circuitos;
- Controle da tensão de saída em loop aberto, para fins de teste;
- Função teste de degrau integrada;
- Modo Stand-by para o sistema de canal redundante;
- Sinais de Alarmes e Trip.

5.8.18 Transformador Elevador

A UHE Itaipava I terá 2 (dois) transformadores elevadores, 1 (um) para cada gerador. Todos os transformadores elevarão a tensão de 13,8 kV para 138 kV. Os quais estarão localizados na casa de força.

Os transformadores deverão ser do tipo trifásico, com paredes corta fogo, com enrolamentos imersos em óleo mineral isolante, resfriados por meio de circulação de ar-óleo e refrigeração por meio de ventilação normal e forçada (ONAN/ONAF/ONAF), dotado de conservador de óleo e comutador de derivações sem carga e adequado para instalação externa.

Os transformadores serão deslocados sobre caminhos de rolamento, constituídos de trilhos, desde a área de descarga até o local de instalação. Serão fornecidos com rodas.

Os transformadores da UHE terão potência nominal, em serviço contínuo, será de 50,5 / 67,4 / 84,2 MVA (ONAN/ONAF1/ONAF2), operando em qualquer tensão na faixa do comutador sem carga de +/- 2x2,5%.

As buchas de tensão inferior serão instaladas em caixa lateral própria para conexão aos terminais do barramento blindado de fases isoladas.

As buchas de tensão superior, deverão ser condensivas e instaladas na parte superior do tanque do transformador, com isolamento externa em porcelana vitrificada, completas, incluindo conectores para ligação ao circuito externo da SE 138kV.

Na potência nominal, a impedância entre os enrolamentos de alta e baixa tensão não deverá ser superior a 12,5%.

Características Principais dos transformadores da UHE Itaipava:

- Enrolamento de Alta Tensão
 - Tensão nominal..... 138 kV
 - Ligação Estrela aterrada
 - Isolamento..... Uniforme
- Tensões suportáveis no terminal de linha à
 - Impulso atmosférico pleno 650 kV
 - Impulso atmosférico cortado 715 kV
 - À frequência industrial, 1 minuto 275 kV
- Tensões suportáveis no terminal de neutro
 - A impulso atmosférico pleno 110 kV
 - À frequência industrial 34 kV
- Enrolamento de Baixa Tensão
 - Tensão nominal..... 13,8 kV
 - Ligação Triângulo
 - Isolamento..... Uniforme
- Tensões suportáveis:
 - A impulso atmosférico pleno 110 kV
 - A impulso atmosférico cortado 121 kV
 - À frequência industrial, a seco, 1 minuto 34 kV
- Limites de elevação de temperatura, considerando temperatura ambiente de 40 °C:
 - Média dos enrolamentos medida pelo método de variação de resistência 65 °C
 - Ponto mais quente dos enrolamentos 80 °C
 - Óleo isolante, medida por termômetro no topo do tanque 65 °C
 - Partes metálicas em contato ou adjacentes à isolação 65 °C
- Os valores de elevação de temperatura média do enrolamento e do ponto mais quente não serão excedidos para as condições mais severas de frequência, tensão e carga e devem estar de acordo com a NBR 5356.
 - Eficiência mínima 99,5%
 - Nível de ruído audível 78 dB
 - Deslocamento angular Ynd1

O transformador de potência deverá ser fornecido completo, com todos os materiais, componentes, acessórios, equipamentos e serviços que forem necessários para o seu perfeito funcionamento, facilidades na manutenção como indicadores, dispositivos de içamento.

5.8.19 Transformador de Serviços Auxiliares

Estão previstos dois transformadores de serviços auxiliares para a UHE Itaocara, alimentados a partir de uma derivação do barramento blindado após os cubículos de proteção contra surtos de tensão, como pode ser observado no desenho 1530-IT-B-DE-G78-0001. Cada transformador deverá ter potência suficiente para alimentar todas as cargas dos sistemas auxiliares da UHE.

Ainda, os serviços auxiliares contarão com um transformador alimentado pela concessionária local.

Os transformadores alimentados pelas unidades geradoras, serão trifásicos, com isolamento a seco, moldados em resina epóxi, resfriamento natural (AN), grupo de ligações Dyn1 (ABNT), potência de 1500kVA e atenderão as recomendações da NBR-10295. Serão instalados no interior de cubículos metálicos e serão alimentados pelas unidades geradoras. Os mesmos serão instalados na galeria elétrica.

Os cubículos deverão ser projetados e dimensionados para garantir ao conjunto rigidez e capacidade de absorção de vibrações mecânicas a que estarão submetidos no transporte e no local de operação.

Os cubículos deverão ser providos de tampas frontal e traseira para proporcionar fácil acesso aos transformadores e deverão possuir grau de proteção IP-21.

O transformador que será alimentado pela concessionária local, será de instalação ao tempo, Dyn1, isolado a óleo, trifásico, potência de 1500kVA e refrigeração ONAN.

As características elétricas gerais dos transformadores são as seguintes:

- Tensão nominal do enrolamento primário..... 13,8 kV
- Tensão nominal de enrolamento secundário 380/220 V
- Isolamento..... Encapsulado em epóxi (seco), alimentados pelas UGs
- Isolamento..... Óleo (Rede Externa)
- Potência nominal..... 1500 kVA (**)
- Frequência nominal..... 60 Hz
- Comutador de taps s/ carga (secundário)..... $\pm 2 \times 2,5\%$
- Grupo de conexão Dyn1
- Tensão suportável a frequência industrial no primário (1 min.)..... 34 kV
- Tensão suportável a impulso atmosférico no primário (Pleno)..... 110 kV
- Tensão suportável a impulso atmosférico no primário (Cortado) 121 kV
- Tensão suportável a frequência industrial no secundário (1 min.) 4 kV
- Tensão suportável a frequência industrial no neutro (1 min.) 4 kV

** A potência do transformador deverá ser confirmada e/ou redefinida por memória de cálculo durante a elaboração do projeto executivo.

5.8.20 Sistemas Auxiliares Elétricos

Na UHE Itaocara será implantado sistema auxiliar elétrico em corrente alternada, conforme mostrado nos desenhos 1530-IT-B-DE-G70-0001 ao 1530-IT-B-DE-G70-0006, e em corrente contínua, como mostrados nos desenhos 1530-IT-B-DE-G75-0001 ao 1530-IT-B-DE-G75-0005.

5.8.21 Corrente Alternada

O suprimento às cargas elétricas em corrente alternada da central será realizado através de um sistema próprio, como fonte dois transformadores de serviços auxiliares, alimentados pelas unidades geradoras, e outra alimentação provinda da concessionária local. Os quais energizarão os barramentos dos quadros +GA e +GB, responsável pela distribuição de corrente alternada para os quadros +1CM, +2CM, +3CM, +4CM e +5CM que alimentarão todas as cargas da UHE.

Como fonte de emergência terão um gerador acionado por motor diesel, que será utilizado para manter todas as cargas essenciais da central funcionando, por um período mínimo de 8 horas, em caso de falta de tensão no sistema de alimentação. O gerador diesel será resfriado por radiador, com excitação tipo "Brushless", isolamento classe térmica "H" com painel de automatização na partida e parada, e uma potência estimada de 750 kVA.

O Sistema Auxiliar em Corrente Alternada da UHE deverá ter as seguintes características básicas:

- Tensão nominal dos sistemas auxiliares (barramento)..... 380 V
- Tensão nominal das cargas (fase-fase / fase-terra)..... 380/220 V
- Frequência nominal..... 60 Hz

Nos terminais das cargas são admitidas seguintes variações de tensão:

- Tensão máxima em operação normal (permanente) 380 V + 7% (406,6 V)
- Tensão mínima em operação normal (permanente) 380 V – 7% (353,4 V)
- Tensão mínima durante partida de motor 380 V – 10% (342 V)

O sistema de serviços auxiliares elétricos em corrente alternada, deverá ser dotado de lógica de transferência automática de fontes, sendo prioridade as alimentações provenientes das unidades geradoras 1 e 2, alimentação proveniente da rede externa e alimentação pelo gerador diesel, nesta ordem.

5.8.22 Corrente Contínua

Os sistemas de proteção, de controle e as cargas elétricas de segurança da central serão supridos por um sistema em 125 Vcc, constituído de dois bancos de baterias de chumbo-ácido ventiladas, dois carregadores/retificadores redundantes com um quadro de distribuição de cargas +QDCC para a Casa de Força.

Para as cargas da subestação da UHE, existirão mais dois bancos de baterias de chumbo-ácido ventilada, dois carregadores/retificadores redundantes com um quadro de distribuição de cargas +QDCCSE. Este, também alimentará o quadro de iluminação de emergência da subestação.

Os carregadores/retificadores alimentarão os bancos de baterias de acumuladores do tipo chumbo-ácido ventilada, ciclo de carga 8 horas e 750Ah na casa de força e 350Ah, 8h na Subestação.

O banco de baterias terá capacidade para atender os picos de correntes dos serviços auxiliares em 125Vcc e no caso de falha ou falta de energia do carregador, atender ao ciclo de descarga do sistema em 125Vcc.

O retificador terá tensão de entrada 380 Vca, trifásico, tensão de saída 125Vcc para ambos, serão do tipo auto-ventilado, automaticamente regulado e fabricado apenas com componentes estáticos. O retificador irá manter em flutuação ou carregar a bateria, e ao mesmo tempo, fornece a corrente permanente dos serviços auxiliares, com tensão estabilizada e limitação de corrente.

Todos os componentes deste sistema serão dimensionados para atender a todas as cargas da central por meio dos quadros +1CU, +2CU e +3CU, além do quadro de iluminação de emergência +LE, todos alimentados pelo +QDCC.

O Sistema Auxiliar em Corrente Contínua da UHE deverá ter as seguintes características básicas:

- Tensões lado corrente-contínua – Funcionamento normal (carregador e baterias):
Tensão nominal..... 125 Vcc
Tensão máxima na carga (equalização) 125 Vcc + 10% = 137,50 Vcc
Tensão máxima na carga (flutuação) 125 Vcc + 5% = 131,25 Vcc
Tensão mínima nos terminais (carregador/baterias).... 125 Vcc – 10% = 112,50 Vcc
Tensão mínima na carga..... 125 Vcc – 15% = 106,25 Vcc
- Tensões lado corrente-contínua - Final do ciclo de descarga das baterias (operação somente com baterias):
Tensão mínima nos terminais das baterias 125 Vcc – 15% = 106,25 Vcc
Tensão mínima nos terminais da carga..... 125 Vcc – 20% = 100,00 Vcc

É admitida uma queda de tensão máxima de 5% da tensão nominal (6,25 Vcc) nos circuitos de interligação entre o carregador/baterias e as cargas consumidoras. Os cabos de interligação entre o carregador/baterias e as cargas serão dimensionados para respeitar este limite de queda de tensão.

5.8.23 Sistemas de Aterramento, Proteção Contra Descargas Atmosféricas, Iluminação, Tomadas e Vias de Cabos

O sistema de aterramento será compreendido pela malha de aterramento da Casa de Força e pela malha de terra da Subestação na UHE.

O aterramento visa estabelecer condições adequadas à correta operação dos equipamentos eletromecânicos bem como segurança ao pessoal.

As malhas de terra deverão cobrir todas as áreas energizadas da central, onde houver equipamentos eletromecânicos em operação. Estas malhas devem ser interligadas às grandes massas metálicas localizadas em suas adjacências, ou seja, às carcaças dos equipamentos.

As referidas malhas serão compostas por condutores de cobre nu, classe 2A e hastes de cobre-aço com bitola mínima de 5/8" e comprimento mínimo de 2,4 m, com caixas de medição.

Deverão ser instalados cabos de aterramento ao longo das canaletas, eletrocalhas e vias de cabos em geral. Estes cabos deverão ser interligados as malhas de terra embutidas no mínimo a cada 15,00 m.

Para o projeto da proteção contra descargas atmosféricas será utilizado o método eletrogeométrico. Quanto a número de captores, cabos de descida e demais considerações serão seguidas as recomendações das normas referenciadas.

Serão utilizados condutores de cobre nu como captores e condutores de descida. Sempre que possível serão evitados os percursos próximos a janelas, ou locais que permitam o toque.

A conexão dos cabos de descida com o sistema de aterramento será por meio de solda exotérmica.

Os pontos de conexão dos condutores de descida com a malha de aterramento serão sempre diferentes dos pontos de aterramento de carcaças, neutros, cabos de aterramento e outros.

A UHE Itaipava terá um sistema de iluminação e tomadas de uso geral, alimentados em 380/220 Vca em 60 Hz.

Em locais amplos, de grande área deverão ser instaladas luminárias com lâmpadas vapor metálico. As demais áreas internas da Casa de Força deverão ter instaladas luminárias com lâmpadas fluorescentes. Nas áreas externas, tanto na Casa de Força quanto na Tomada de Água serão utilizadas luminárias com lâmpadas vapor de sódio ou vapor metálico.

A usina será atendida também por um sistema de iluminação de emergência alimentado por corrente contínua. O painel de iluminação de emergência deverá possuir um inversor, que irá receber corrente alternada. Na falta de tensão suprimento de energia, o inversor deve converter a corrente contínua advinda dos bancos de baterias em corrente alternada, e alimentar as cargas desse painel.

As disposições das luminárias de emergência deverão estar distribuídas de acordo com as normas do corpo de bombeiros, ou seja, em escadas, corredores ou outros locais que possam oferecer risco ao trânsito de pessoas e que facilitem a manutenção em determinados locais.

O sistema de vias de cabos a ser implantada na Casa de Força deverá atender as seguintes finalidades:

- a) Proteção mecânica dos cabos instalados em seu interior.
- b) Proteção contra interferências eletromagnéticas nos cabos elétricos sensíveis (sinais digitais, analógicos, etc), com a utilização de eletrocalhas fechada e/ou canaletas segregadas.

- c) Facilidades de instalação e futuras manutenções com a utilização preferencialmente de leitos de cabos, pisos elevados com eletrocalhas, eletrodutos de aço tipo pesado aparentes, canaletas de cabos.

5.8.24 Sistema de Supervisão e Controle

O Sistema Digital de Supervisão e Controle – SDSC é responsável pela integração dos diversos equipamentos, assegurando um nível de operacionalidade conjunta e harmônica, realizando as funções de monitoração, comando, controle e proteção. Aplicando comandos entre a UHE Itaipava e a Subestação coletora Ilha dos Pombos.

A filosofia de controle a ser adotada levará em conta a operação remota da usina (desassistida de operador), com a presença de um mantenedor na usina, trabalhando no horário administrativo. A operação remota, supervisionada 24 horas por dia, poderá ser executada por outra usina de grande porte próxima, Subestação da rede de conexão assistida por operadores ou outro ponto a definir.

A arquitetura básica deste sistema está representada no desenho nº 1530-IT-B-DE-G79-0001 e será composta por todos os elementos de hardware e software necessários à realização das funções especificadas e está concebida como segue:

- Nível 1: nível de controle local, realizado nos painéis.

Junto ao processo fica o nível identificado como nível 1 do SDSC.

Em cada unidade geradora o sistema de controle é constituído pelos Reguladores de Tensão e de Velocidade e pela Unidade de Aquisição de Dados e Controle (UAC), presentes nos painéis de Supervisão e Controle.

As UACs deverão ser sincronizadas via relógio GPS, através de comunicação serial ou via protocolo NTP (Network Time Protocol), de modo a incluir estampa de tempo nos pontos do SDSC (as UACs devem suportar protocolo do setor de energia capaz de transportar estampa de tempo). As UACs devem possuir interface Ethernet (não apenas para configuração) e interface serial RS-232/485. Deve ser prevista reserva técnica instalada de 20% dos pontos físicos do SDSC (entradas digitais, saídas digitais e entradas analógicas).

Os serviços auxiliares gerais formam unidades autônomas e independentes e serão supervisionados / comandados pela UAC de um painel de comando, pelo CCM e demais painéis de Serviços Auxiliares.

Nas unidades geradoras, os Reguladores e a UAC serão os responsáveis pela partida, parada e operação da unidade geradora.

A sincronização será executada pelos reguladores, SDSC e sincronizadores instalados no Painel de Proteção, Supervisão e Controle da unidade.

Está previsto um sistema de sincronização (sincronizador automático e verificador de sincronismo) para cada Unidade geradora que será executada com a tensão do gerador, tensão no cubículo de MT e tensão no barramento da Subestação.

Os equipamentos do nível 1 formam subsistemas funcionalmente autônomos e independentes entre si e do nível superior, no que se refere à execução das funções básicas de controle necessárias à operação correta e segura dos equipamentos associados.

A comunicação entre os reguladores e o SDSC será efetuada através de sinais individualizados, analógicos e binários (contatos secos) e, adicionalmente através de canais de comunicação seriais, utilizando protocolos de comunicação padronizados.

Nível 1: SDSC deverá ser alimentado através das fontes de 125 Vcc.

Nível 2: controle da usina, realizado no Centro de Operação Local da Usina (COL)

O nível identificado como nível 2, corresponde às funções centralizadas de supervisão e controle da usina.

Este nível caracterizado pela Estação de Operação, responsável pelo controle de toda usina e pelo gerenciamento da Base de Dados do SDSC. Esta Estação será instalada na sala de controle da usina.

Está previsto também um computador do tipo “notebook” para acesso direto as UAC’s do nível 1. O notebook deve possuir todo o hardware e software para operação, manutenção e configuração do SDSC (nível 3, nível 2, nível 1 e equipamentos de rede).

O nível 2 deverá ser alimentado em CA através de um sistema de alimentação ininterrupta (SAI), composto de inversor como fonte principal (energia proveniente do Sistema CC) e CA com transformador estabilizador como fonte alternativa (falha CC ou falha inversor). Deverá ser totalmente automático, com energia livre de transientes e perturbações.

Nível 3: nível do Centro Operação Remoto (COR). Esse nível estará fisicamente fora da usina e com autonomia de comandar e supervisionar a usina remotamente

A seleção do nível de controle pelo Centro de Operação Remoto ou pelo Centro de Operação Local será realizada diretamente nas estações de operação localizada nas respectivas salas de controle. O nível de controle local poderá ser selecionado apenas no painel da respectiva UAC e, uma vez selecionado, nenhuma operação de um nível superior sobre o referido painel poderá ser aceita.

As estações de Operação localizadas no COR e no COL possuirão as mesmas funcionalidades e características de desempenho. Dentre as funcionalidades, será considerado que a usina poderá ser totalmente controlada a partir das referidas estações de operação (local ou remoto), sendo desnecessária qualquer intervenção local nos painéis ou equipamentos.

- Rede de Comunicação

As Estações de Operação do nível 2 se interconectará através de uma rede digital de comunicação de alta velocidade. Estão previstos Concentradores (Switches) ao qual estarão conectadas as UAC’s, as Estações de Operação e a Impressora.

Os meios de comunicação entre as Estações de Operação e os equipamentos do nível 1 serão com cabos ethernet, I/O discretos e Modbus.

A rede utilizará o padrão IEEE 802.3, protocolo TCP-IP com velocidade de 10/100MBs.

O processador de comunicação (PRC) deverá comunicar-se com as UACs e com possíveis centros externos através de protocolos consolidados no sistema de energia, como DNP3.0, IEC60870-5-104 ou IEC61850, todos sobre TCP/IP. Caso seja necessário outro protocolo para atendimento dos procedimentos do agente de

transmissão e/ou distribuição local, o mesmo deverá ser disponibilizado. O PRC deve coletar os dados diretamente das UACs, sem interferência com o nível 2 (uma falha do sistema local não pode inviabilizar a operação remota). O PRC deve ser semelhante com o nível 1 do empreendimento, em quesitos de hardware, confiabilidade e MTBF (não pode ser fornecido um equipamento tipo microcomputador para esta função).

O nível 2 terá meios de comunicação com sistemas computacionais externos.

O SDSC realizará no mínimo as seguintes funções de aplicação:

- Gerenciamento e controle da Barragem e reservatório;
- Partida Automática passo a passo da Unidade Geradora;
- Controle Conjunto/Individual de Potência Ativa;
- Controle Conjunto/Individual de Potência Reativa;
- Parada Automática passo a passo da Unidade Geradora;
- Controle do Conjunto de Manobras de interligação com o Sistema;
- Controle Conjunto do Vertedouro para as descargas de fundo do Vertedouro;
- Cálculo Estatístico sobre Equipamento do Processo;
- Geração de Relatórios;
- Supervisão e Comando dos Sistemas Auxiliares das Unidades;
- Supervisão da Proteção;
- Proteção Mecânica;
- Geração de Alarmes;
- Registro de Dados Históricos;
- Geração de Relatórios de Alarmes.

O comando de “parada de emergência” é independente do automatismo e do modo primário de comando, atuando diretamente na bobina de abertura do disjuntor do gerador, na eletro-válvula de fechamento das palhetas do distribuidor e na eletro-válvula de fechamento da comporta vagão, por unidade.

Preveem-se as seguintes telas geradas no sistema de supervisão:

- Diagrama esquemático do fluxo hidráulico por unidade geradora;
- Diagrama do fluxograma dos sistemas auxiliares mecânicos por unidade geradora;
- Diagrama unifilar do circuito elétrico da planta;
- Diagrama unifilar do serviço auxiliar em corrente contínua e alternada;
- Supervisão da instrumentação da turbina, do gerador, dos níveis de montante e jusante, das bombas de drenagem, de esgotamento e de água de serviço;
- Supervisão dos equipamentos do sistema digital, (CLPs, remotas e LAN e segurança eletrônica);
- Função de alarme visual e sonoro;

UHE ITAOCARA I

- Elaboração, apresentação e arquivo de relatórios gerenciais (níveis de montante e jusante, energia elétrica gerada, interrupções programadas e forçadas, entre outras).

O mobiliário da sala de comando deve possuir no mínimo:

- Um rack para acondicionamento de todos os equipamentos do nível 2 do SDSC (estações de operação, switch, GPS, entre outros);
- Mesas em número suficiente para acondicionar os equipamentos do SDSC (monitores, impressora, entre outros, além de um computador administrativo; com pelo menos 2 poltronas (com atestado que atendam às exigências da NR-17) e dois armários.

Devem ser fornecidos todos os softwares para operação, manutenção e configuração de todo o SDSC (sistema operacional, base de dados, programas de suporte e desenvolvimento, programa de diagnósticos).

O sistema computacional deverá ser projetado em hardware e software forma a suportar as funções de comandos, sequência de partida e parada, intertravamentos, aquisição de dados, gerenciamento do banco de dados, coleta e armazenamento de dados histórico, confecções de relatórios, manutenção, desenvolvimento e testes, e gráficos.

Deverão ser obrigatoriamente atendidas os procedimentos do agente de transmissão e/ou distribuição local.

A avaliação da disponibilidade funcional global do SDSC deverá ser feita num período móvel de 90 dias (ou seja: 2160 horas). O índice a ser atingido neste período será de 99,95%.

Deverão ser previstos cursos de operação, manutenção e configuração do SDSC.

Caso sejam necessários hardwares para comunicação externa (roteadores, switches, modem, etc), os mesmos deverão ser fornecidos.

O SDSC deverá utilizar tecnologia digital e os equipamentos fornecidos deverão ter comprovada utilização com sucesso em usinas similares, tanto em porte quanto em complexidade. A empresa integradora deverá ter comprovada experiência e capacidade técnica na implantação de sistemas de supervisão e controle em empreendimentos similares no setor elétrico nacional.

5.8.25 Subsistema de Proteção

O subsistema de proteção destina-se a realizar a função de proteção dos diferentes componentes da instalação: geradores, barras, transformadores elevadores, Subestação e linhas.

As proteções são implementadas em um ou mais equipamentos com emprego de tecnologia de processamento digital numérico.

Preveem-se no mínimo as seguintes funções, segundo o padrão ANSI para a UHE Itaipava:

| Unidades Geradoras | | |
|--|---|--|
| Proteção principal complementar: | e | 59,21,27,32,81,40,60,51V,24,78,59N,50/27,50/51N,50/51,87G,50BF,49,46,64S1,64S2,64R |
| Medições: | | U, Hz, I, P, Q,S, FP, Energia, Demanda, Medição de faturamento |
| Sincronismo | | 25 |
| Linha Curta – CF/SE | | |
| Proteção principal complementar | e | 27,87L,59,68,67/67N,21,50/51,50/51N |
| Medições: | | U, Hz, I, P, Q,S, FP, Energia, Demanda |
| Transformador dos Serviços Auxiliares | | |
| Proteção | | 50/51N,50/51,87N,87TSA |
| Linha de Transmissão – UHE Itaocara / SE Ilha dos Pombos | | |
| Proteção principal complementar: | e | 87L,27,59,68,67/67N,21,50/51N,50/51,79 |
| Medições: | | U, Hz, I, P, Q,S, FP, Energia, Demanda |
| Barra | | |
| Proteção principal complementar | e | 50BF,87B,50/51 |
| Medições: | | U, Hz, I, P, Q,S, FP, Energia, Demanda |
| Transformador Elevador | | |
| Proteção principal complementar | e | 24,27,81,50BF,50/51,49,87GT,50/51N,87N |

A fim de reduzir os danos causados pela sobrevelocidade decorrente da rejeição de carga e de parada não necessária das unidades, os circuitos de desligamentos serão divididos em linhas de proteção, a saber:

- 1ª Linha CRCB – Desligamento com Rejeição de Carga. Os sinais enviados para este circuito operam sem qualquer restrição nos relés de desligamento e de bloqueio, e desta forma abrindo o disjuntor da unidade, a chave de campo, fechando e travando o distribuidor e parando a máquina. A atuação nesta linha será basicamente: proteção elétrica e falha grave no distribuidor da turbina.
- 2ª Linha SRSB – Desligamento sem Rejeição de Carga e sem Bloqueio. Os sinais enviados a este circuito primeiro reduzem a carga pelo fechamento do distribuidor. Assim que o distribuidor estiver fechado ou depois de transcorrido o tempo ajustado para abrir o disjuntor, os relés de desligamento e de bloqueio são ativados, abrindo o disjuntor e a chave de campo, travando o distribuidor e parando a máquina. Após a normalização da proteção mecânica que ativou essa parada o relé de bloqueio é automaticamente resetado, permitindo a partida da máquina. A atuação nessa linha será basicamente: proteção mecânica – temperatura de mancais e transformadores.

- 3ª Linha SRCB – Desligamento sem Rejeição de Carga e com Bloqueio. Os sinais enviados a este circuito primeiro reduzem a carga pelo fechamento do distribuidor. Assim que o distribuidor estiver fechado ou depois de transcorrido o tempo ajustado para abrir o disjuntor, os relés de desligamento e de bloqueio são ativados, abrindo o disjuntor e a chave de campo, travando o distribuidor e parando a unidade. A atuação nesta linha será basicamente: proteção mecânica – fluxos e níveis de óleo e freios aplicados indevidamente.
- 4ª Linha PP – Parada Parcial. Este tipo de parada simplesmente abre o disjuntor, mantendo a máquina girando em vazio com tensão. A atuação nesta linha será basicamente: proteção elétrica, funções 46, 32 e 81.

5.8.26 Sistema de Telecomunicação

O Sistema de Telecomunicações da UHE Itaocara por objetivo prover toda comunicação interna e externa à usina, como com a Subestação conectora, com equipamentos e meios que permitam a comunicação de voz e dados e está prevendo os seguintes itens:

- Sistema de telefonia e comunicações internas;
- Sistema de transmissão digital (Switch gerenciável, interfaces ópticas e sistemas a satélite se aplicável);
- Rede interna de voz e dados.

O sistema de Telecomunicação será composto basicamente de multiplexadores, PABX, switches e sistema de alimentação. Deverá ser fornecido um painel autoportante para acondicionamento dos equipamentos do sistema (patch panels, DIOS, switch, roteadores, multiplexadores, PABX, entre outros).

Os swithes devem ser gerenciáveis e possuir funções de Layer 3 (roteamento) e portas ópticas para comunicação externa. Deverá possuir pelo menos 24 portas.

O sistema de telefonia deverá suportar até 20 ramais, ramais digitais e ramais IPs (devem ser fornecidas licenças para estas aplicações), e capacidade de interligação com os sistemas externos de interesse.

Os equipamentos fornecidos deverão ter comprovada utilização com sucesso em usinas similares, tanto em porte quanto em complexidade. A empresa integradora deverá ter comprovada experiência e capacidade técnica na implantação de sistemas de supervisão e controle em empreendimentos similares no setor elétrico nacional, devendo ainda os funcionários envolvidos serem qualificados para realização dos trabalhos de suas competências.

O projeto, as especificações técnicas e a proposta do fornecedor deverão ser apresentados para apreciação pelo Agente de Transmissão, de forma a verificar a adequação e compatibilidade ao seu Sistema de Telecomunicação. A instalação dos cabos ópticos nas Subestações de conexão e a fixação de equipamentos nas salas de telecomunicação das Subestações de conexão dependem de consulta e aprovação do Agente de Transmissão.

Deverá ser fornecido um notebook, com todo o hardware e software para operação, manutenção e configuração do Sistema de Telecomunicação e Sistema de CFTV.

Todo cabeamento utilizado no empreendimento deverá ser certificado.

O sistema de alimentação será composto de dois conversores 125Vcc/48Vcc, com alimentação proveniente do sistema CC da usina.

Deverá ser previsto treinamento para operação, configuração e manutenção do Sistema de Telecomunicação.

O diagrama em blocos do sistema de telecomunicações pode ser observado no desenho de nº 1530-IT-B-DE-G82-0001.

5.8.27 Sistema de Circuito Fechado de TV (CFTV)

Está sendo previsto um CFTV, que ficará a cargo do empreendedor sua instalação.

Este sistema tem por objetivo prover os recursos necessários à segurança operacional, patrimonial e de acesso ao complexo da usina, incluindo funções de detecção de intrusão, presença e movimentação de pessoas em locais pré-determinados, alarme, sinalização e controle de acesso com captura de alarmes e imagens em tempo real, para áreas da Barragem, Tomada de Água, Casa de Força e acessos.

O sistema de CFTV deverá ser totalmente baseado em tecnologia digital sobre rede TCP/IP.

As câmeras serão com protocolo TCP/IP nativo, Megapixel (não serão utilizadas câmeras analógicas ou híbridas). Deverão ser previstas câmeras PTZ e fixas, de acordo com a necessidade da usina.

O meio físico de comunicação será fibra óptica ou cabo STP (de acordo com a distância).

Deverão ser previstas uma estação de operação, uma mesa e uma poltrona (igual à do SDSC) para o operador de segurança.

A estação de segurança deverá possuir 2 monitores, console/joystick dedicado para movimentação das câmeras, software instalado com API aberto, permitindo a inclusão de câmeras de diferentes modelos.

Deverá ser fornecido um switch gerenciável para concentração das câmeras, estação de trabalho e conexões externas.

Deverá ser previsto um sistema de sonorização, para que o operador possa advertir e emitir alertas sonoros em áreas externas da usina (Barragem, pátio, Tomada de Água, Subestação, entre outras localidades necessárias para segurança do empreendimento e de pessoas). Deve ser previsto um setorizador na mesa do segurança.

Deverá ser previsto controle de acesso remoto no portão do empreendimento.

6. PROJETOS SOCIOAMBIENTAIS

As ações socioambientais de mitigação dos impactos gerados pela implantação da UHE Itaocara I constituem importantes mecanismos e medidas de controle dos efeitos diretamente associados ao Empreendimento. Estas ações deverão ser adotadas dentro de conjuntos programáticos estruturados e planejados, ou seja, por meio da elaboração de Projetos Ambientais e implementação de Programas Ambientais e Condicionantes Ambientais, descritas respectivamente no Plano Básico Ambiental - PBA e Licença de Instalação nº de 954/2013.

As ações propostas devem ser implantadas ao longo das etapas de planejamento, engenharia, construção e operação da Usina visando tanto à recuperação quanto à conservação do meio ambiente, bem como o maior aproveitamento das novas condições a serem criadas pelo meio ambiente.

Além disso, em função da sensibilidade da questão socioambiental na região de instalação da UHE Itaocara I, verifica-se a necessidade de implantação dos Programas Ambientais de maneira integrada e participativa, considerando o cenário local e regional para o desenvolvimento sustentável e conservação ambiental.

6.1 HISTÓRICO DO LICENCIAMENTO AMBIENTAL PROGRAMAS SOCIOAMBIENTAIS

Visando atender ao “Termo de Referência” do IBAMA, o Empreendedor concluiu e protocolou no mesmo órgão ambiental em fevereiro/2.010, o “Estudo de Impacto Ambiental/EIA” e o “Relatório de Impacto Ambiental/RIMA”.

Em julho/2.011, dando continuidade no processo de licenciamento, foram realizadas as Audiências Públicas nos municípios de Estrela Dalva/MG, Aperibé/RJ, Cantagalo/RJ e Itaocara/RJ.

Em 28/12/2.011 o IBAMA expediu a Licença Ambiental Prévia/LP nº 428/2011 para a UHE Itaocara I, comprovando a viabilidade ambiental do Empreendimento.

Em seguida elaborou-se o Plano Básico Ambiental/PBA que teve sua primeira versão protocolada no IBAMA em 29/06/12.

Em 11/01/13, após adequações solicitadas pelo IBAMA, a Revisão 01 do PBA foi protocolada e, após sua análise, o órgão ambiental emitiu em 29/06/13 a Licença de Instalação Ambiental/LI nº 954/2.013.

Atualmente o documento PBA encontra-se em fase de consolidação para atender as Condicionantes da LI nº 954/2.013 e do Parecer nº 5.106/2.013, sendo composto por 43(quarenta e três) Programas e Subprogramas divididos em 04(quatro) Grupos Principais:

6.1.1 Programa de Monitoramento e Controle Ambiental

- Programa de Monitoramento e Controle de Processos Erosivos
- Programa de Monitoramento Sismológico
- Programa de Monitoramento dos Fluxos Subterrâneos
- Programa de Monitoramento Climato-Metereológico
- Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico
- Programa de Monitoramento Topobatimétrico do Reservatório
- Programa de Monitoramento Limnológico e Qualidade da Água
- Programa de Monitoramento e Aproveitamento de Macrófitas Aquáticas
- Programa de Reflorestamento
- Programa de Monitoramento de Fauna
- Programa de Monitoramento do Cágado de Hogeí
- Programa de Monitoramento do Jacaré de Papo Amarelo
- Programa de Monitoramento de Lontras
- Programa de Monitoramento da Ictiofauna
- Programa de Avaliação da Instalação do Sistema de Transposição de Peixes/STP

- Programa de Monitoramento da Carcinofauna
- Programa de Prospecção Exocárstica e Endocárstica

6.1.2 Programas Sociais e Institucionais

- Programa de Comunicação Social
- Programa de Educação Ambiental
- Programa de Acompanhamento da População Atingida (PAS)
- Programa de Estímulo à Participação da População
- Programa de Monitoramento e Controle de Endemias
- Programa de Gestão de Interferências com Atividades Minerárias
- Programa de Resgate e Valorização de Aspectos Culturais
- Programa de Prospecção, Resgate e Monitoramento do Patrimônio Arqueológico
- Programa de Realocação de Estruturas e Saneamento
- Programa de Realocação de Cemitério
- Programa de Gestão Institucional
- Programa de Compensação Ambiental

6.1.3 Plano Integrado de Sustentabilidade

- Programa de Gestão Fundiária
- Plano de Uso do Entorno do Reservatório - PACUERA
- Programa de Reativação das Atividades Econômicas e Geração de Renda
- Programa de Readequação da Atividade Pesqueira

6.1.4 Programas de Gestão Ambiental da Obra

- Programa de Gestão Ambiental - PGA
- Plano Ambiental para Construção – PAC
 - Subprograma de Supressão da Vegetação e Limpeza do Reservatório
 - Subprograma de Formação de Mão de Obra
 - Subprograma de Educação Ambiental dos Trabalhadores
 - Subprograma de Prevenção de Acidentes com Fauna
 - Subprograma de Resgate e Salvamento de Germoplasma
- Programa de Recuperação de Áreas Degradadas - PRAD
- Programa de Resgate de Fauna Terrestre
- Programa de Resgate de Ictiofauna e Carcinofauna

7. INFRA-ESTRUTURA E SUPRIMENTO PARA A OBRA

O planejamento dos canteiros de obras e acampamentos deverá ser desenvolvido de forma a atender as necessidades dos serviços e garantir o fiel cumprimento dos prazos estabelecidos no cronograma de execução das obras.

A partir das localizações das obras, do tipo de obra e do planejamento executivo, ficarão estabelecidos os tipos, as quantidades, as capacidades e as funções dos canteiros de obra.

Considera-se a adoção dos canteiros de obras para atender a região do barramento e da Casa de Força. Como suporte aos canteiros de obra, quer provisório ou definitivo, entende-se válida para o bom gerenciamento das obras a existência de um Escritório Administrativo Central.

As premissas mínimas para escolha da localização do canteiro será aquela determinada pelas condições de acesso (estradas), facilidades de acesso ao provedor de Internet e a existência de rede de telefonia instalada.

Para o início das obras, foram consideradas as implantações de canteiros provisórios, para subsidiarem a montagem do canteiro definitivo e fornecer suporte técnico-administrativo aos serviços iniciais de implantação e construção. Estes canteiros serão localizados próximos às instalações dos canteiros definitivos, podendo ser em containers, que servirão como almoxarifado no futuro. O início do canteiro de obras se caracterizará pela execução e/ou melhorias da estrada de acesso não pavimentada. Este trecho de estrada deverá ser ensaiado, ter seu sistema de drenagem reforçado com a inclusão de novos.

Já o canteiro definitivo será composto de instalações de britagem e produção de concreto, instalações industriais e de apoio, instalações da montagem eletromecânica e acampamentos, previstos para serem construídos próximo ao local de implantação da UHE Itaipava I.

Os agregados para concreto, transições e filtros serão produzidos pelas instalações de britagem, a partir da rocha obtida nas escavações obrigatórias. A rocha escavada será estocada em área próxima ao sistema de britagem, sendo utilizada de acordo com a necessidade.

Especial atenção foi dedicada ao dimensionamento das instalações industriais, objetivando o adequado atendimento das necessidades da obra, sejam elas de produção ou de qualidade. As instalações de apoio, por sua importância e pelo porte da obra, foram dimensionadas e projetadas em áreas de construções adequadas às condições previstas no planejamento. A humanização do espaço, sem perda da noção de disciplina, orientou o planejamento do acampamento. A valorização da área de lazer e o conjunto esportivo, a disposição e o dimensionamento dos conjuntos habitacionais, e os cuidados com a alimentação visaram tornar a mobilização e a fixação temporária da população residente mais harmoniosa com as condições existentes.

Poderão ser previstos canteiros auxiliares, baseados no uso de containers, que serão montados conforme a necessidade de cada obra, dependendo da logística de construção. Esses canteiros serão construídos com estruturas semelhantes às utilizadas nos canteiros provisórios.

O dimensionamento da população ocupada no empreendimento será elaborado a partir dos cronogramas de execução das obras, assim como das quantidades envolvidas e dos respectivos histogramas de produção (demandas médias mensais).

Desta forma, será determinada a necessidade total de mão de obra por ano, tomando para efeito de dimensionamento a quantidade máxima necessária.

Vale lembrar que a mão de obra local poderá contribuir bastante para a formação dos contingentes necessários às obras, reduzindo, em consequência, o número de alojamentos previstos, desde que sejam alocados recursos como transporte necessário para este deslocamento.

No desenho do canteiro, é apresentado o mínimo necessário para o empreendimento, onde é importante lembrar que a empresa de construção civil a ser contratada tem consigo as necessidades para alojamentos, escritórios e parque industrial detalhada para cada tipo de empreendimento.

8. CRONOGRAMA E PLANEJAMENTO CONSTRUTIVO

Em anexo.

9. ORÇAMENTO PADRÃO ELETROBRÁS

Em anexo.

10. FICHA RESUMO

Em anexo.

11. PARTICIPANTES DO GRUPO DE TRABALHO

Eng^o Civil: José Henrique Rodrigues Lopes

Eng^o Civil: José Bernardino Botelho

Eng^o Civil: Marcelo Rossi Campos

Eng^o Civil: Leonardo de Lima Lopes

Eng^o Civil: Marcelo Miranda Botelho

Eng^o Civil: Bruno Luiz Castro Martins

Eng^o Civil: Marcelo José Fiorino de Castro

Eng^o Civil: Marcelo Konrath Turqueti

Eng^o Civil: Antonio Teixeira de Carvalho Júnior

Eng^o Civil: Bruno de Paiva Batista

Eng^o Civil: Andrey Hilu

Eng^a Civil: Celine Vasco

Eng^o Civil: Murilo de Oliveira Gonçalves

Eng^o Civil: Elias Wehrmeister

Eng^a Civil: Daniele Félix

Eng^o Civil: Richard Roncally Beirigo

Eng^a Civil: Patrícia Cesnik da Silva

Eng^o Mecânico: Jesiel Adriano D'Aviz

Eng^o Mecânico: Evandro Luiz Bertol



UHE ITAOCARA I

Eng^o Eletricista: Cesar Henrique Moreira Espínola
Eng^a Eletricista: Daiane Mara Barbosa
Arquiteto: Martín Fraga Basy
Arquiteta: Jamille Zimmermann da Silva
Arquiteta: Isabelle Moser Girardi
Arquiteto: Marco Paulo Borgonhoni
Geólogo: Cláudio Márcio da Silva
Geóloga: Fernanda Ferreira Tolentino
Geólogo: Paulo Cezar da Silva Júnior
Projetista: Walter Favaron Júnior
Projetista: Daniela Aparecida G. Stuart Dayrell
Projetista: Jaqueline Valadares Teles
Estagiário (Eng. Civil): Gerson Mikalixen Leite
Estagiária (Arquitetura): Ana Carolina Moreira da Silva Lopes
Estagiária (Arquitetura): Daniele Ferreira Custódio
Estagiária (Arquitetura): Thays Santos de Oliveira
Estagiário (Arquitetura): Felipe Rangel Neves