

7. O EMPREENDIMENTO DA UHE TIJUCO ALTO – PROJETO DE ENGENHARIA A LICENCIAR

7.1. DESCRIÇÃO GERAL DO ARRANJO SELECIONADO

O arranjo geral da UHE Tijuco Alto, apresentado nas Figuras 7.1/01A a 7.1/01C, é composto basicamente pela barragem fechando o leito do rio, pelo circuito hidráulico de geração na margem direita (tomada d'água, túnel adutor, condutos forçados e casa de força) e pelo vertedouro na ombreira esquerda.

A barragem tem seção típica de enrocamento, impermeabilizada com laje de concreto no talude de montante. A largura da crista é de 7,00 m, o talude de montante tem inclinação 1V:1,3H, e o de jusante tem inclinação de 1V:1,2H, com bermas em elevações variáveis que servirão para o acesso à crista da barragem. Tem eixo retilíneo com cerca de 530 m de extensão, com altura máxima de 139,5 m e crista na elevação 302,00 m. A face de montante tem a solução tradicional constituída por plinto em concreto armado, assente e ancorado em rocha devidamente tratada, com largura e espessura variadas em função da carga hidrostática.

O vertedouro está posicionado na ombreira esquerda e possui de dois vãos controlados por comportas segmento. A jusante segue através de um canal retangular revestido com concreto de 26,00 m de largura e cerca de 80 m de comprimento, até a concha defletora (salto de esquí) no seu final, que lança o fluxo em uma bacia de dissipação escavada em rocha junto à margem esquerda do rio.

A bacia de dissipação, com o fundo na elevação 155,00 m, tem dimensões médias da ordem de 70 m de comprimento e 36 m de largura, com cerca de 10 m de profundidade.

Cada vão do vertedouro tem 11,50 m de largura e 14,00 m de altura, da crista da soleira até o nível d'água máximo do reservatório (300,00 m).

Terá capacidade para escoar a cheia decamilenar, cujo pico atinge 4.308 m³/s, amortecida no reservatório, com as considerações efetuadas para o controle de cheias entre as elevações 290,00 m e 300,00 m, situação em que a vazão máxima descarregada é de 2.500 m³/s.

O circuito hidráulico de geração tem cerca de 580 m de extensão, junto à ombreira direita da barragem. A tomada d'água situa-se na margem direita, cerca de 100 m a montante da barragem, em seguida vem o túnel adutor, com cerca de 460 m de extensão em seção transversal tipo arco-retângulo de 9,00 m de largura por 9,00 m de altura, o conduto forçado, com 5,00 m de diâmetro, e a casa de força, dotada de 2 unidades geradoras do tipo Francis com potência unitária instalada de 64,35 MW, totalizando 128,7 MW de potência máxima. Ao lado da casa de força está situada a subestação.

A seguir são apresentadas descrições mais detalhadas dos principais componentes do empreendimento.

ENTRA FIGURA 7.1/01 A



ENTRA FIGURA 7.1/01B

ENTRA FIGURA 7.1/01 C

7.2. RESERVATÓRIO

O reservatório da UHE Tijuco Alto será formado em um trecho do rio Ribeira com cerca de 71,5 km de extensão situado a montante da foz do rio Catas Altas e nas proximidades da foz do rio Bomba. O barramento, com altura máxima de 142,0 m, proporcionará a formação de um reservatório que, no nível d'água máximo normal, na elevação 290,00 m, terá o volume de $2.044 \times 10^6 \text{ m}^3$ e a área inundada de aproximadamente $43,8 \text{ km}^2$, incluindo-se os $4,79 \text{ km}^2$ hoje ocupados pelo leito do rio. Já no nível máximo excepcional (para controle de cheias), na elevação 300,00 m, terá o volume de $2.520 \times 10^6 \text{ m}^3$ e a área inundada de aproximadamente $56,59 \text{ km}^2$, incluindo-se os $4,79 \text{ km}^2$ hoje ocupados pelo leito do rio. O tempo de enchimento do mesmo, considerando-se a vazão média de longo termo, é da ordem de 293 dias.

Conforme descrito a seguir, o vertedouro terá capacidade de escoar a cheia com período de retorno decamilenar amortecida no reservatório entre os níveis d'água máximo normal, na elevação 290,00 m, e máximo maximorum, na elevação 300,00 m.

Os estudos econômico-energéticos indicaram o nível d'água mínimo operacional na elevação 285,00 m isto é, com uma depleção de 5,00 m, que proverá um volume útil de $210 \times 10^6 \text{ m}^3$ para a regularização de vazões.

A Figura 7.2/01 apresenta a planta do reservatório e a sua curva cota-área-volume. A ponte rodoviária sobre o rio Ribeira, junto à foz do rio Ponta Grossa, nas proximidades da cidade de Cerro Azul, tem o tabuleiro na elevação 272,00 m e assim precisará ser relocada com a implantação do reservatório.

7.3. DESVIO DO RIO

Considerando-se as características morfológicas da área do barramento, foi adotada a solução clássica de desvio do rio em vales fechados em duas fases.

O sistema é formado por dois túneis posicionados na ombreira esquerda e pelas ensecadeiras de montante e de jusante e foi dimensionado para a proteção das obras da barragem no leito do rio contra enchentes com período de retorno de até 50 anos (vazão máxima defluente de $1.445 \text{ m}^3/\text{s}$).

7.3.1. Fases de Desvio

7.3.1.1. Primeira Fase

Na primeira fase o fluxo permanecerá na calha do rio enquanto são construídos os túneis e suas estruturas de emboque ao abrigo de septos naturais que proporcionam proteção a essas obras. Ainda nessa etapa, as obras de escavação da casa de força e do vertedouro poderão ter início, também protegidas por septos naturais que serão escavados posteriormente.

Os materiais provenientes das escavações em terra e rocha poderão ainda permitir o início da construção da barragem e das ensecadeiras para evitar o estoque intermediário desse material.

ENTRA FIGURA 7.2/01

7.3.1.2. Segunda Fase

Na segunda fase do desvio, concluídas as obras civis dos túneis, serão removidos os septos naturais de proteção, situados juntos aos canais de aproximação e de descarga, e o fluxo do rio será desviado para os túneis com o lançamento das pré-ensecadeiras de montante e de jusante. Em seguida, com o rio desviado e a área ensecada, proceder-se-á o alteamento das pré-ensecadeiras de modo a proporcionar proteção às obras da barragem contra cheias com período de retorno de até 50 anos. Com o recinto isolado e protegido pelas ensecadeiras, será construída a barragem de enrocamento no leito do rio.

A execução da obra da barragem deverá ser realizada com o alteamento prioritário do maciço pela parte de montante, de maneira que, no menor tempo possível, a sua crista atinja a elevação 208,00 m. Assim, com a parte da barragem construída nessa elevação, a obra estará protegida contra a ocorrência de cheias de até 500 anos de recorrência.

7.3.2. Ensecadeiras

Cada ensecadeira será composta por um cordão de enrocamento com vedação externa devidamente protegida por uma camada de transição. Esses materiais serão lançados até 1,0 m acima do nível d'água. Em seguida, a ensecadeira de montante será alteada até a elevação 197,00 m com o enrocamento, com talude de 1,0V:1,3H e o talude de solo compactado 1,0V:2,0H. A de jusante será alteada até a elevação 180,00 m.

7.3.3. Túneis de Desvio

Os dois túneis de desvio do rio, escavados em rocha, têm seções transversais tipo arco-retângulo com 10,00 m de largura e 10,00 m de altura. Os túneis localizam-se na ombreira esquerda da barragem e apresentam comprimentos da ordem de 690 e 660 m.

Os cálculos hidráulicos da passagem pelos túneis da cheia de projeto, com período de retorno de 50 anos, cuja vazão de pico é 2.006 m³/s, resultou que o pico da cheia é amortecido para a máxima vazão defluente de 1.445 m³/s.

O túnel de desvio superior possui os canais de entrada e saída com cotas de fundo nas elevações 171,00 m e 170,00 m, respectivamente.

O túnel de desvio inferior possui os canais de entrada e saída com cotas de fundo nas elevações 161,00 m e 160,00 m, respectivamente. A montante do canal de entrada desse túnel há uma soleira de concordância com o fundo do rio, situada na elevação 160,00 m.

O túnel inferior é dotado de estrutura de concreto no emboque destinada ao seu fechamento final. Essa estrutura apresenta duas aberturas de 4,00 m de largura por 10,00 m de altura, separadas por um pilar. Cada abertura é provida de ranhura para colocação de comportas metálicas de fechamento, sendo que a de montante, do tipo vagão, permitirá cortar o fluxo para inspeção das ranhuras de jusante e descida da comporta ensecadeira para o seu fechamento final. A plataforma de operação do fechamento dos túneis, na estrutura da tomada, com coroamento na elevação 180,00 m, foi estabelecida para oferecer suficiente segurança à operação de fechamento.

Após o fechamento dos túneis com as comportas ensecadeiras, eles serão definitivamente tamponados por plugs de concreto, localizados abaixo do plinto da barragem.

7.3.4. Dispositivo para Descarga da Vazão Sanitária a Jusante *durante a fase de enchimento do reservatório*

Para manter uma vazão mínima, que permita garantir a quantidade e a qualidade de água suficientes para manutenção do meio biótico, ao longo da calha do rio a jusante, após o

fechamento dos túneis de desvio e início do enchimento do reservatório, foi projetado um sistema a ser implantado no tampão do túnel de desvio superior.

O sistema de descarga da vazão sanitária foi pré-dimensionado tendo em vista, de um lado, a segurança e a confiabilidade operacional exigidas, por se tratar do órgão final de fechamento do reservatório sob cargas elevadas de até 120 m aproximadamente e, de outro lado, a sua maior economicidade, por se tratar de instalação provisória de curto tempo de utilização (da ordem de 9 meses).

O sistema compreende uma tomada d'água provida de grades, um conduto metálico com diâmetro interno de 1,80 m, uma válvula de segurança interposta no conduto e uma válvula de descarga tipo dispersora.

Após o enchimento do reservatório até a elevação da soleira do vertedouro, a vazão sanitária poderá ser descarregada pelo mesmo e a válvula de segurança fechada. A válvula dispersora poderá ser desmontada e retirada.

7.4. BARRAGEM

Foi projetada uma barragem de enrocamento com face de concreto, em virtude da disponibilidade de material rochoso de calcário nas imediações e, principalmente, pelo fato de se dispor de grandes volumes destes materiais provenientes das escavações obrigatórias das estruturas do vertedouro, da casa de força e dos túneis de desvio, localizadas a menos de 500 m da barragem. Além disso, foi constatada uma grande vantagem econômica que esse tipo de barragem tem mostrado, quando comparadas com a de outros tipos, em especial na Região Sul do País.

A barragem tem seção típica de enrocamento com laje de concreto revestindo o talude de montante e o seu maciço foi projetado de forma zoneada. A largura da crista é de 7,00 m, o talude de montante tem inclinação 1V:1,3H, e o de jusante de 1V:1,2H, com bermas em elevações variáveis que servirão para o acesso à crista da barragem. Tem eixo retilíneo com cerca de 530 m de extensão, com altura máxima de 142,0 m e crista na elevação 302,00 m. A face de concreto tem uma solução tradicional constituída na sua fundação por plinto em concreto armado, assente e ancorado em rocha devidamente consolidada, e desenvolve-se com largura e espessura variadas em função da carga hidrostática.

Para permitir o melhor aproveitamento dos materiais rochosos provenientes das escavações obrigatórias das estruturas mais próximas e, ao mesmo tempo, possibilitar a construção de um maciço com deformabilidade adequada, o corpo do enrocamento foi devidamente zoneado.

7.5. DIQUE

Para o fechamento da sela topográfica entre a barragem e o vertedouro, é previsto um dique com crista na elevação 302,00 m e 8,00 m de largura, altura máxima de 62 m e aproximadamente 180 m de extensão.

Esse dique terá seção típica de enrocamento com núcleo argiloso, devidamente intercalados por filtros e transições com faixas granulométricas adequadas. O talude de montante foi projetado na inclinação de 1V:1,5H, já o talude de jusante na inclinação de 1V:1,3H, com uma berma na elevação 270,00 m.

7.6. VERTEDOURO

O vertedouro está posicionado na ombreira esquerda do rio Ribeira, a cerca de 200 m a jusante do eixo da barragem, possui dois vãos controlados por comportas segmento.

Adotou-se um vertedouro de superfície composto por uma estrutura vertente de perfil tipo *Creager*, com paramento de montante inclinado a 72° em relação à horizontal. A jusante segue o rápido revestido com concreto, de 26,00 m de largura e declividade de 36,4%, com cerca de 70 m de comprimento e dotado de uma concha defletora (salto de esqui) no seu final, que lança o fluxo em uma bacia de dissipação escavada em rocha. A restituição à calha natural do rio Ribeira se dará através de um pequeno canal retangular junto à margem esquerda do rio escavada na elevação 162,00 m.

A concha defletora tem o fundo na elevação 250,00 m, raio de curvatura de 20,00 m, ângulo de lançamento de 25°, e a borda de lançamento na elevação 251,87 m. A bacia de dissipação tem dimensões médias da ordem de 70 m de comprimento e 36 m de largura, cerca de 10 m de profundidade e o seu fundo está na elevação 155,00 m.

Cada vão do vertedouro tem 11,50 m de largura e a crista da estrutura vertente está posicionada na elevação 286,00 m, isto é, 4,00 m abaixo do nível d'água máximo normal do reservatório e 14,00 m abaixo do nível d'água máximo excepcional para controle de cheias. A montante do vertedouro, a aproximação será feita por canal escavado em rocha, com fundo na elevação 276,00 m.

De acordo com os cálculos efetuados, a cheia decamilenar, cujo pico atinge 4.308 m³/s, é amortecida no reservatório, com as considerações efetuadas para o controle de cheias entre as elevações 290,00 m e 300,00 m, situação em que a vazão máxima descarregada é de 2.500 m³/s. Os cálculos acima foram definidos de acordo com os critérios recomendados pelo *Hydraulic Design Criteria - HDC do U.S. Corps of Engineers*.

As características principais resultantes dos estudos e dimensionamentos hidráulicos são:

- Nível d'água máximo normal do reservatório:	290,00 m
- Nível d'água máximo maximorum do reservatório:	300,00 m
- Capacidade máxima no nível d'água máximo maximorum do reservatório (el. 300,00 m):	2.500 m ³ /s
- Nível d'água máximo maximorum de jusante:	183,30 m
- Elevação da crista da soleira vertente:	286,00 m
- Carga de projeto:	14,00 m
- Número de vãos:	2
- Largura por vão:	11,50 m
- Largura total dos vãos:	23,00 m
- Espessura do pilar intermediário:	3,00 m
- Largura da calha:	26,00 m
- Raio da concha defletora:	20,00 m
- Ângulo de lançamento da concha:	25°
- Elevação no fundo da concha:	250,00 m
- Elevação na saída da concha:	251,87 m

7.7. TOMADA D'ÁGUA

O circuito hidráulico de adução da casa de força da UHE Tijuco Alto é constituído por túnel de adução escavado em rocha com seção arco-retângulo, provido de estrutura de tomada d'água no emboque e conduto forçado a céu aberto que no seu trecho final, junto à casa de força, possui um *manifold* para alimentar cada uma das duas turbinas Francis.

A tomada d'água do túnel adutor é uma estrutura de concreto aliviada e encaixada em rocha, com a crista na elevação 302,00 m. Tem um vão de 6,00 m de largura por 8,00 m de altura com a soleira na elevação 272,00 m, provido de ranhuras para operação de comporta tipo ensecadeira.

O paramento de montante da tomada terá inclinação de 85° em relação à horizontal e, sobre ele, serão montadas as grades para retenção dos detritos. A movimentação das comportas e das grades será feita pelo pórtico rolante.

A geometria da tomada d'água foi definida de maneira a produzir aceleração progressiva e gradual do escoamento afluyente até o trecho onde se situam as comportas vagão e ensecadeiras. A partir daí há uma desaceleração gradual para a entrada no túnel.

7.8. TÚNEL ADUTOR

O túnel de adução tem seção tipo arco-retângulo com 9,00 m de largura e 9,00 m de altura em cerca de 490 m de sua extensão, desde o emboque na tomada d'água até o início do da blindagem, situado a cerca de 50 m antes do desemboque do túnel no conduto forçado. Tem declividade constante de 8 % com a soleira do emboque na elevação 272,00 m. O túnel será escavado em calcário, razão pela qual foi previsto que deverá ter toda a sua seção revestida com concreto projetado com tela e chumbadores.

O túnel de adução prossegue por esses cerca de 490 m com a seção transversal tipo arco-retângulo com 9,00 m de largura e 9,00 m de altura, transicionando para a seção circular com 5,00 m de diâmetro. Este trecho do túnel será revestido com concreto e terá uma blindagem de aço, com seção circular de 5,00 m. A jusante do túnel segue o conduto forçado a céu aberto, também com seção circular de 5,00 m, por mais cerca de 110 m até a derivação para as unidades. Em seguida ao conduto forçado, nas proximidades da casa de força, haverá um *manifold* que irá alimentar as duas unidades geradoras.

7.9. CASA DE FORÇA

Esta será uma estrutura de concreto dotada de superestrutura com fechamento em alvenaria convencional e concreto, será do tipo abrigada e a infra-estrutura será assente em rocha. Estão previstas duas unidades geradoras do tipo Francis com potência unitária de 64,35 MW, para a queda normal, perfazendo um total de 128,7 MW de potência máxima instalada, para a condição do reservatório no nível máximo normal.

Em seu corpo principal, no piso de acesso na elevação 185,00 m, com aproximadamente 20 m de comprimento e 53 m de largura, estarão localizados os compartimentos e salas de apoio da usina, incluindo a área de montagem. Para abrigar os diversos equipamentos que compõem a casa de força, foram previstas duas galerias elétricas e uma galeria mecânica.

No lado direito haverá um bloco de aproximadamente 10 m de largura onde estará a área de montagem principal juntamente com a área de descarga, com acesso lateral, e uma área de montagem auxiliar. Adjacente à área de montagem está o edifício com recepção e acesso à casa de força.

No lado oposto, está previsto um bloco, com aproximadamente 7,50 m de largura, onde estarão situados, em diversos pisos, os poços de drenagem e de esgotamento, o sistema de rebaixamento, salas de compressores, sala de tratamento de óleo, banheiros e escadaria de emergência. Os transformadores principais e os auxiliares serão colocados no piso de acesso, junto à parede externa de montante, separados por paredes corta-fogo.

A área de montagem, situada à direita das unidades, foi dimensionada para atender às necessidades de movimentação, montagem e manutenção dos equipamentos da usina. Para esta movimentação foi prevista uma ponte rolante que permitirá a movimentação da peça de maior peso dentro da usina, que é o rotor do gerador.

A restituição das vazões turbinadas é feita através de um canal de fuga escavado em rocha, com piso à saída do tubo de sucção situado aproximadamente na elevação 156,80 m, subindo em seguida até a cota do leito do rio.

As turbinas serão do tipo “Francis”, eixo vertical, com potência unitária máxima de 64,35 MW, operando sob uma queda bruta de 123,5 m, com rotação de 300 rpm.

Os geradores serão trifásicos, 60 Hz, 90 MVA, fator de potência 0,8, classe de isolamento tipo B. Os geradores serão ligados aos respectivos transformadores através de barramento de fases isoladas. O aterramento será efetuado por transformador de distribuição com resistor no secundário. No barramento blindado serão feitas derivações para alimentação do cubículo dos transformadores de potencial e proteção do sistema de excitação e dos sistemas auxiliares, com surtos de tensão. O sistema de excitação será do tipo estático e será alimentado a partir de transformador de excitação.

Os transformadores elevadores serão trifásicos, 60 Hz, 75/90 MVA, ONAN/ONAF, 13,8-138/79,67 kv, ligação triângulo estrela, solidamente aterrado. O nível de isolamento dos enrolamentos de baixa tensão será 110 kv e dos de alta tensão 650 kv.

O sistema de serviços auxiliares em corrente alternada será alimentado por dois transformadores. Cada transformador de serviços auxiliares é alimentado a partir da respectiva unidade geradora. Cada transformador terá a capacidade para alimentar as cargas de uma unidade e os serviços auxiliares gerais da usina e da subestação.

Os transformadores de serviços auxiliares serão trifásicos 13.800-460 V, ONAN, ligação triângulo-estrela, solidamente aterrados, e alimentarão um quadro de distribuição de 460 V. O quadro de distribuição de 460 V será composto por três barramentos por disjuntores de interligação de barras. Será previsto intertravamento entre estes disjuntores e os disjuntores dos transformadores de serviços auxiliares e do grupo de emergência.

Um grupo gerador de emergência, do tipo diesel, será previsto para alimentação das cargas permanentes de emergência da usina e da subestação.

O sistema de serviços auxiliares em corrente contínua será em 125 VCC. Será composto por dois conjuntos de baterias-carregador e por um quadro de distribuição 125 VCC.

As unidades geradoras serão controladas a partir de um quadro de controle das mesmas instalado na sala de controle da usina. O sistema de controle será do tipo convencional com os relés principais de partida e de parada das unidades geradoras e os relés auxiliares instalados neste quadro.

O sistema de proteção das unidades geradoras será do tipo elástico com os relés de proteção montados em um quadro de relés de proteção das unidades geradoras instalado na sala de controle.

O controle dos disjuntores e chaves seccionadoras da subestação será efetuado a partir de um quadro de controle da subestação instalado na sala de controle da usina.

O sistema de proteção da linha de transmissão será efetuado por relés de distância de fase e neutro, do tipo estático, que serão montados em um quadro de relés de proteção da subestação, instalado também na sala de controle da usina.

7.10. SUBESTAÇÃO

A subestação da usina ficará imediatamente a jusante da casa de força e será na tensão de 138 kV. Os disjuntores serão do tipo SF6, com corrente nominal de 1.250 A. As chaves seccionadoras serão do tipo de dupla abertura lateral, com corrente nominal de 1.250 A.

7.11. LINHA DE TRANSMISSÃO

A interligação da subestação da usina com o sistema se fará através de linha de transmissão em 138 kV com a subestação seccionadora da LT Bateias-Ibiuna (FURNAS), a ser construída, conforme a Figura 7.11/01, distando cerca de 1,9 km, onde se conectará com o sistema sudeste brasileiro através da elevação de sua tensão para 500 kV. Pela pequena extensão desta linha, no EIA foram feitas identificações de impactos, em capítulo próprio, referentes à vegetação a ser suprimida, possível interferência com sítios arqueológicos (que já tiveram processo de resgate) e interferências com imóveis rurais, não se verificando impactos em outras áreas temáticas. A linha Bateias- Ibiúna é existente e foi licenciada pelo IBAMA.

7.12. LOGÍSTICA DE ABASTECIMENTO À OBRA

Como mostra a Figura 7.12/01, o aproveitamento estará localizado a montante da foz do rio Catas Altas. A casa de força ficará na margem direita, do lado

O acesso ao local das obras será realizado pelas estradas existentes nas duas margens do rio Ribeira. O acesso pela margem direita é feito a partir da cidade de Adrianópolis, percorrendo-se cerca de 12 km de estradas vicinais, em terra, em direção à cidade de Cerro Azul. O acesso pela margem esquerda, é realizado a partir da cidade de Ribeira, utilizando-se a SP-250 até a estrada vicinal, asfaltada, que segue para Itapirapuã Paulista, segue-se então no sentido de Itapirapuã Paulista por aproximadamente 2 km até a localidade de Catas Altas, prosseguindo por cerca de 10 km, marginalmente ao rio Ribeira, por estrada vicinal, em terra.

Durante a execução das obras, os materiais e equipamentos com fornecimento realizado a partir do lado paranaense utilizarão o acesso da margem direita, chegando até Adrianópolis através da BR-476. Já os materiais e equipamentos provenientes do lado paulista, seguirão preferencialmente a partir de Apiaí, pela SP-250, e tomarão o acesso que liga essa rodovia com Itapirapuã Paulista, sem atravessar a cidade de Ribeira; apenas os equipamentos principais, que em função do peso tem a sua passagem limitada nas pontes existentes nas rodovias vicinais da margem esquerda utilizarão o acesso da margem direita, atravessando a cidade de Ribeira; lembrando que esse tráfego de equipamentos pelas ruas de Ribeira deverá obedecer a critérios estabelecidos de horário e trajeto para minimizar as interferências no núcleo urbano.

ENTRA FIGURA 7.11/01

ENTRA FIGURA 7.12/01

Nesse mesmo período, as ensecadeiras, notadamente a ensecadeira de jusante, servirão como travessia do rio Ribeira, ligando a região da Casa de Força com a das estruturas de desvio e do Vertedouro.

As cidades mais próximas do empreendimento são Ribeira-SP, com 1.006 habitantes na área urbana, situada à margem esquerda, e Adrianópolis-PR, com aproximadamente 1.613 habitantes na área urbana, situada na margem direita do rio. Ambas são de pequeno porte e poucos recursos para dar suporte à execução da obra, mas poderão ser supridoras de mão-de-obra e abrigar núcleos residenciais para trabalhadores do empreendimento. Outra cidade que servirá como supridora de mão-de-obra é Cerro Azul-PR, que dista aproximadamente 61 km do eixo do barramento e possui 3.916 habitantes na área urbana.

7.13. CANTEIRO DE OBRAS

Estima-se, para a fase de pico das obras da UHE Tijuco Alto, um contingente aproximado de 1.400 trabalhadores de diversas categorias profissionais. Contingente, este, na maioria composto de mão de obra não qualificada, que poderá ser recrutado junto à população residente na região do empreendimento.

Em linhas gerais, é prevista a instalação dos alojamentos na margem esquerda, logo a jusante da região do eixo do barramento, esse alojamento deverá abrigar aproximadamente 400 funcionários, e será dotado de infra-estrutura básica de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgotos, coleta de lixo, energia, comunicações, lazer, salas de refeição, assistência médica e segurança.

Quanto ao canteiro industrial, o mesmo será distribuído, basicamente, em duas frentes simultâneas de trabalho, uma na margem esquerda na região entre a estrutura do vertedouro e da barragem, onde ficaram posicionadas as centrais de concreto e britagem que atenderão toda a obra; e outra na margem direita, a jusante da região da casa de força, onde ficarão as instalações das oficinas, almoxarifados, depósitos e as áreas para os principais trabalhos de montagens eletromecânicas.

Os materiais naturais de construção serão obtidos na própria área de implantação das obras e do reservatório, sendo que para a construção das ensecadeiras, foi identificada uma área de empréstimo nas proximidades do riacho Água do Quebradão, na margem esquerda, aproximadamente 700 m a montante do eixo da barragem. Já para a construção da barragem de enrocamento, bem como para alimentar a central de concreto, prevê-se a utilização do material rochoso das escavações obrigatórias e a exploração de uma pedreira junto ao futuro canal de aproximação do vertedouro. A areia para a central de concreto deve ser explorada na calha do rio Ribeira. Para a disposição dos materiais não utilizados das escavações obrigatórias, foram previstas duas áreas, uma em cada margem, a montante do barramento, de forma que esses bota-foras fiquem na área de alagamento do reservatório.

O arranjo geral do canteiro é apresentado na Figura 7.13/01.

ENTRA FIGURA 7.13/01

7.14. DESTINAÇÃO DA ENERGIA GERADA

A UHE Tijuco Alto será conectada à linha de transmissão Bateias – Ibiúna, de FURNAS em 500 kV, e, portanto, estará ligada ao Sistema Interligado Nacional – SIN, e assim, a energia gerada em Tijuco poderá ser utilizada em qualquer ponto do país que esteja conectado ao SIN.

De qualquer forma, prioritariamente, a energia gerada na UHE Tijuco Alto será efetivamente consumida nas regiões atendidas pelas linhas de distribuição conectadas à LT Bateias – Ibiúna, especialmente as regiões atendidas pelas linhas de distribuição que saem de Ibiúna, pois trata-se uma região com grande concentração de consumo de energia.

Por sua vez, ao fornecer a energia gerada na UHE Tijuco Alto ao Sistema Interligado Nacional, a CBA ficará credenciada a utilizar a mesma quantidade de energia em qualquer outro ponto do SIN. A energia gerada por Tijuco Alto, entretanto, destina-se a suprir a Unidade Fabril da CBA, localizada no município de Alumínio-SP.

7.15. OPERAÇÃO DA USINA E O OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA

A UHE Tijuco Alto será conectada à linha de transmissão Bateias – Ibiúna, de FURNAS em 500 kV e, portanto, estará ligada ao Sistema Interligado Nacional – SIN, e assim, será despachada pelo Operador Nacional do Sistema – ONS.

O Operador Nacional do Sistema é o órgão responsável pela operação centralizada do Sistema Interligado Nacional – SIN e pela administração da rede básica de transmissão de energia no país. Cabe a esse órgão coordenar e controlar a operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica nos sistemas interligados brasileiros, garantindo a manutenção dos ganhos sinérgicos da operação coordenada do sistema.

Conceitualmente, a operação centralizada do Sistema Interligado Nacional está embasada na interdependência operativa entre as usinas, na interconexão dos sistemas elétricos e na integração dos recursos de geração e transmissão no atendimento ao mercado.

A utilização dos recursos de geração e transmissão dos sistemas interligados permite reduzir os custos operativos, e aumentar a segurança e confiabilidade do sistema de geração de energia, uma vez que as usinas contribuem para o atendimento otimizado ao mercado como um todo e não apenas aos consumidores de sua empresa proprietária, ou de sua região.

Para isso, a atuação do ONS é basicamente dividida em 3 fases:

- ✓ Programação da Operação: onde diariamente o órgão define para cada usina do sistema qual a energia que essa usina deverá despachar – gerar – no dia seguinte.
- ✓ Tempo Real: é o acompanhamento da execução da programação e os eventuais ajustes que se fizerem necessários em função de alterações no sistema que ocorram durante a operação.
- ✓ Pós Operação: é a análise e o registro de todas as informações do sistema, guardando um banco de dados que representa o histórico do Sistema Interligado Nacional.

Assim, o ONS, procura otimizar o uso da água em todas as bacias do país, procurando a maior eficiência e economia possível para o sistema.

Dessa forma, a operação da UHE Tijuco Alto deverá seguir as instruções do ONS, ou seja, é o ONS quem determina qual a energia a ser gerada na UHE Tijuco Alto tanto através da

programação que o órgão define diariamente, como através dos ajustes, em tempo real, que se fizerem necessários.

7.16. ESTIMATIVAS DE CUSTO

O dimensionamento das estruturas seguiu a metodologia definida para Empreendimentos Hidrelétricos, da ELETROBRÁS. Em relação à concepção das estruturas, a existência de empreendimentos de porte semelhante e características similares, que foram implementados em passado recente, os quais fazem parte da experiência profissional dos técnicos participantes dos estudos, permitiu a otimização do arranjo das estruturas e da previsão de seus custos dentro de um cenário adequado ao âmbito dos estudos.

A quantificação das escavações e obras civis em geral basearam-se nos dados indicados nos desenhos elaborados, tendo sido feitas a partir dos arranjos do empreendimento e das estruturas, resultantes do levantamento topográfico detalhado executado nesta fase, utilizando-se modelação de sólidos e/ou cálculo de áreas sobre os arquivos eletrônicos em ambiente Auto-Cad.

Os quantitativos apresentados foram organizados segundo as contas principais do OPE - Orçamento Padrão da ELETROBRÁS. Para a estimativa dos custos das obras civis e dos equipamentos, adotaram-se, em linhas gerais, os preços unitários praticados em usinas hidrelétricas de porte e solução de engenharia semelhantes. Em função dos graus de imponderabilidade diferenciados, adotou-se uma porcentagem de eventuais 15% para as contas 10, 11, obras civis da conta 12, e 17, e de 10% para os equipamentos.

O Quadro 7.16/01 resume os valores encontrados para cada conta, assim como os percentuais assumidos para os Juros Durante a Construção da obra. Além dos itens especificados, relativos às instalações de geração, são apresentados os custos referentes ao Sistema Elétrico Associado, ou seja, a linha de transmissão e subestação elevadora para conexão com o Sistema Interligado, estimados em 52,3 milhões de reais.

QUADRO 7.16/01 – RESUMO DO ORÇAMENTO – OPE

ITEM	CUSTOS (*)	
	10 ³ R\$	10 ³ US\$
Terrenos, estradas e pontes	47.601	20.395
Estruturas e outras Benfeitorias	9.201	3.942
Barragens e Adutoras	185.578	79.511
Turbinas e Geradores	40.064	17.165
Equipamento Elétrico Acessório	1.680	720
Diversos Equipamentos da Usina	3.780	1.620
Custo Direto	287.904	123.352
Custos Indiretos	37.340	15.998
Total sem Juros Durante a Construção	325.244	139.351
Juros Durante a Construção	60.983	26.128
Total com Juros Durante a Construção	386.228	165.479

(*) US\$ 1,00 = R\$ 2,334
Referência: JUNHO/2005

POTÊNCIA INSTALADA = 128,7 MW
CUSTO ÍNDICE = R\$ 3.001/kW

7.17. CRONOGRAMA DE CONSTRUÇÃO

O cronograma geral do empreendimento é apresentado na Figura 7.17/01 Adotou-se o mês de março para início das atividades de construção por ser o início do período seco na região e, portanto, a época do ano que oferece as melhores condições, apesar da pouca sazonalidade do rio. Naturalmente, em função dos prazos estabelecidos, quando das concorrências para a construção da usina, deverão ser feitas adaptações no cronograma, para torná-lo compatível com a realidade do momento.

O caminho crítico passa pela construção da barragem, uma vez que a mesma depende da conclusão e liberação das obras de desvio do rio. Diante disso procurou-se ajustar os prazos de construção de modo que os histogramas dos principais serviços pudessem ser estabelecidos sem grandes picos.

Além das obras auxiliares, acessos, canteiro e acampamento, as obras deverão ser iniciadas pela construção do túnel de desvio na margem esquerda e pela escavação do túnel adutor e das obras da casa de força. Assim, a entrada em operação das máquinas ocorrerá no 42º mês após o início da obras civis.

O cronograma apresentado prevê que, após a execução dos túneis de desvio na margem esquerda, sejam construídas as pré-ensacadeiras e o seu alteamento para a proteção das obras da barragem, para permitir a imediata construção dessa estrutura, com o rio desviado para os túneis.

O fechamento das comportas dos túneis de desvio para o enchimento do reservatório foi previsto para o mês de abril do terceiro ano. Nesse ano, deverão ser finalizados o desmatamento e a limpeza do reservatório, bem como a relocação dos acessos que serão submergidos pelo mesmo.

Figura 7.17/01 – Cronograma de Construção

7.18. ÍNDICE DE MÉRITO

A estimativa do Índice de Mérito ou Índice Custo/Benefício, principal indicador da capacidade de viabilização técnico-econômica de um aproveitamento hidrelétrico, é feita a partir do custo total anual do aproveitamento (custos de investimento e de operação e manutenção) e do benefício energético fornecido por ele ao Sistema.

Para a UHE Tijuco Alto esse índice é de 72,43 R\$/MWh. Incluindo-se os custos referentes à implantação de subestação elevadora e linhas de transmissão para conexão com o Sistema Interligado, estimados em 52,3 milhões de reais, esse índice passa para 83,91 R\$/MWh.

7.19. CONTROLE DE ENCHENTES

As inundações do baixo curso do rio Ribeira de Iguape, notadamente a jusante do município de Registro, não se constituem em fato recente.

As freqüentes inundações de amplas áreas de cultivo, vicinais aos cursos d'água e de cidades ribeirinhas, é um fato que tende a agravar-se a cada dia em vista do próprio desenvolvimento do vale.

Dentre as cheias observadas na bacia destaca-se a ocorrida em janeiro de 1997, que apresentou uma vazão de pico de 2.385 m³/s no local do eixo de Tijuco Alto, cuja magnitude aproxima-se de uma ocorrência com período de retorno de 100 anos.

As inundações causadas por este evento atingiram extensas áreas da zona rural de 16 municípios do Vale do Ribeira, causando perdas de vidas e deixando cerca de 15.400 desabrigados. Na região agrícola as conseqüências mais significativas ocorreram entre os municípios de Eldorado e Iguape, sendo atingidos cerca de 26 milhões de pés de banana, com perdas da ordem de 90%, ou seja, 23,4 milhões de pés, ou 325.000 toneladas de banana, afetando também outras culturas, tais como, arroz, feijão, maracujá, milho etc. Observa-se, também, que este evento foi o maior registrado nas estações fluviométricas de Eldorado e Registro.

Já no rio Juquiá, responsável pela drenagem da parte mais ao norte da bacia, o maior pico de vazão registrado na estação fluviométrica ocorreu no ano de 1976.

No Quadro 7.19/01 são relacionados os dez maiores eventos de cheias monitoradas na estação fluviométrica de Capela da Ribeira, que detém um período histórico observado desde o ano de 1936.

QUADRO 7.19/01 - VAZÕES DE PICO NA ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA DE CAPELA DA RIBEIRA

Nº DE ORDEM	DATA	VAZÃO DE PICO (M ³ /S)
01	24/01/1997	2.726
02	17/11/1937	2.620
03	02/10/2001	2.034
04	20/05/1983	1.736
05	29/09/1998	1.735
06	12/01/1995	1.569
07	08/01/1998	1.400
08	22/12/1980	1.199
09	07/10/1998	1.189
10	30/12/1989	1.172

Fonte: ANA – Agência Nacional de Águas

Com o objetivo de minimizar a ocorrência destas catástrofes, o controle de enchentes na bacia do rio Ribeira de Iguape associado à implantação de barragens visando o

aproveitamento hidrelétrico, sempre foi uma das principais aspirações dos organismos e entidades públicas responsáveis pela política de gestão dos recursos hídricos na região.

A eficiência deste controle está relacionada à disponibilidade de se prover volumes de espera nos reservatórios e na utilização de regras operacionais integradas para as manobras das comportas dos aproveitamentos participantes da cascata.

Ao controlar uma área de drenagem de 6.340 km², ou seja, aproximadamente 25% da área total da bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape, a Usina Hidrelétrica de Tijuco Alto é dotada de um volume de espera efetivo, destinado ao controle de cheias. O volume de espera efetivo no valor de 476,51 x 10⁶ m³, estabelecido entre as cotas 290 m e 300 m, tem a finalidade de abrigar parte das enchentes ordinárias e extraordinárias afluentes ao reservatório. Este volume corresponde a 19% do volume total do reservatório e 2,3 vezes o volume útil destinado à geração e ocupa uma área de 8,0 km² do reservatório.

Considerando-se estas características operacionais, avaliaram-se os benefícios auferidos na redução dos níveis de enchentes a jusante da UHE Tijuco Alto, no trecho do rio Ribeira de Iguape compreendido entre as localidades de Ribeira e Sete Barras.

As análises basearam-se na aplicação de técnicas de modelagem matemática, cuja ferramenta permitiu representar o comportamento do regime de vazões do rio Ribeira de Iguape, que será alterado pela operação da UHE Tijuco Alto.

As simulações consideraram o cenário relativo à cheia ocorrida em 24 de janeiro de 1997, o maior identificado na série histórica de vazões, onde foram analisados os benefícios auferidos pela UHE Tijuco Alto no que se refere à alocação e controle de cheias na bacia.

Os benefícios a jusante foram mensurados através das estimativas das taxas de abatimento das ondas de cheias e redução dos níveis d'água de inundação nos seguintes locais:

- ✓ Imediatamente a jusante do eixo de Tijuco Alto, junto à estação fluviométrica de Tijuco Alto Jusante, implantada pelo CNEC;
- ✓ Estação fluviométrica de Capela da Ribeira;
- ✓ Estação fluviométrica de Itaóca;
- ✓ Estação fluviométrica de Iporanga;
- ✓ Estação fluviométrica de Eldorado;
- ✓ Estação fluviométrica de Sete Barras.

7.19.1. Concepção Teórica da Modelagem Matemática

O modelo matemático adotado nos estudos é do tipo Onda Cinemática e cumpre a função de propagar ao longo da calha drenante, os deflúvios provenientes das bacias laterais contribuintes.

O método da onda cinemática considera em sua formulação as seguintes equações:

- Continuidade: $dQ / dx + dA / dt = q$
- Dinâmica: $S_0 = S_f$

A declividade de fricção é aproximada por uma equação de movimento uniforme resultando na relação entre a área e a vazão, qual seja:

$$A = \alpha * Q^\beta$$

onde:

Q = vazão

A = área da seção transversal de escoamento

x = comprimento longitudinal do trecho

t = tempo

q = vazão lateral

S_o = declividade do fundo

S_F = declividade da linha d'água

α e β = coeficientes numéricos da equação definidos durante o processo de calibragem do modelo

O sistema de equações apresentado é resolvido numericamente pelo modelo de simulação através do emprego de técnicas de diferenças finitas.

Na definição dos dados de entrada do módulo hidráulico são informados, para cada trecho de rio, o seu comprimento e os coeficientes α e β relacionando a área da seção molhada e a vazão.

Os coeficientes α e β constituem os parâmetros de calibragem do modelo, sendo definidos inicialmente a partir de informações disponíveis nas estações fluviométricas e, posteriormente, aferidos no processo de ajuste do modelo de simulação.

No processo de modelagem matemática são identificadas as seguintes fases:

- ✓ Preparação dos dados de entrada dos modelos matemáticos
- ✓ Calibragem do modelo de simulação
- ✓ Exploração do modelo de simulação

7.19.2. Preparação dos Dados de Entrada

No processo de modelagem matemática, a bacia do rio Ribeira de Iguape foi subdividida em parcelas de áreas contribuintes e trechos de rios onde são dispostos o reservatório de Tijuco Alto e as estações fluviométricas, que serão utilizadas como referência no processo de aferição do modelo matemático.

A segmentação em sub-bacias hidrográficas contribuintes foi desenvolvida com base em cartas topográficas disponíveis da Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, na escala 1:250.000, e abrangeu o trecho do rio Ribeira entre a UHE Tijuco Alto e a estação fluviométrica de Registro (neste último trecho, denominado Ribeira de Iguape), o que perfaz uma superfície territorial de aproximadamente 7.074 km². O processo de parcelamento, conforme apresentado no Desenho MA136.00.45-DE.01(Mapa de Sub-bacias Hidrográficas

Contribuintes ao Reservatório de Tijuco Alto), visou os propósitos da modelagem matemática e foi orientado pela conformação do sistema hídrico, localização das estações fluviométricas e a presença do reservatório de Tijuco Alto.

Na Figura 7.19.2/01 é apresentado o esquema topológico considerado nos trabalhos de modelagem matemática, onde a área da bacia intermediária entre a UHE Tijuco Alto e a estação fluviométrica de Registro foi subdividida em 13 segmentos de bacia contribuinte e 11 trechos de rios.

ENTRA FIGURA 7.19.2/01

Na Figura 7.19.2/01 estão indicados também os posicionamentos das 8 estações fluviométricas de interesse, cujas características principais são apresentadas no Quadro 7.19.2/01.

As vazões de entrada do modelo compreendem as afluições laterais supridas pelas 13 bacias contribuintes (B1 a B13) e as afluições pontuais provenientes do rio Pardo, Juquiá e do próprio rio Ribeira no local do eixo de Tijuco Alto, aplicada ao trecho de canal C1.

As estações de Andorinhas e Juquiá forneceram as vazões médias diárias dos dois principais tributários afluentes ao curso do rio Ribeira de Iguape, respectivamente Pardo e Juquiá. As afluições laterais foram baseadas na produção hídrica destes mesmos tributários expressos em l/s/km² as quais foram aplicadas às respectivas parcelas de áreas das sub-bacias contribuintes.

Na porção de montante da bacia, junto ao canal C1, são aplicadas as vazões pontuais naturais afluentes ao local do eixo de Tijuco Alto ou as vazões defluentes alteradas pela operação do empreendimento.

As estações fluviométricas implantadas no curso do rio Ribeira de Iguape serão utilizadas como referência para a calibragem do modelo de simulação, e permitirão a realização de uma análise comparativa do regime de vazões do curso do rio Ribeira de Iguape, nas condições de rio natural e alterado com a implantação de Tijuco Alto.

QUADRO 7.19.2/01 - REDE DE ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS DE INTERESSE

Código - ANA	Código - DAEE	Estação	Curso d'água	Oper.	LAT.	LONG.	A. Dren. (km ²)
81200000	-	Capela da Ribeira	Ribeira de Iguape	ANA	24° 39'	49° 00'	7.252
81205000	5F-005R	Ribeira	Ribeira de Iguape	DAEE	24° 39' 23"	49° 00' 11"	7.465
81250000	5F-004	Itaóca	Ribeira de Iguape	DAEE	24° 39' 21"	48° 49' 53"	8.013
81350000	-	Iporanga	Ribeira de Iguape	ANA	24° 35'	48° 35'	12.430
81380000	5F-001	Eldorado	Ribeira de Iguape	DAEE	24° 31' 00"	48° 06' 45"	14.582
81420000	4F-015	Sete Barras	Ribeira de Iguape	DAEE	24° 23' 35"	47° 55' 30"	15.292
81683000	4F-002	Registro	Ribeira de Iguape	DAEE	24° 29' 09"	47° 50' 27"	20.855
81679000	4F-018	Juquiá	Juquiá	DAEE	24° 19' 14"	47° 37' 29"	4.341
81330000	5F-011	Andorinhas	Pardo	DAEE	24° 40' 22"	48° 34' 45"	2.872

Fonte: ANA - Agência Nacional de Águas

No Quadro 7.19.2/02 são apresentados os valores das parcelas de áreas contribuintes laterais ao curso do rio Ribeira de Iguape, conforme divisão em sub-bacias apresentadas na Figura 7.19.2/02.

QUADRO 7.19.2/02 - ÁREA DAS SUB-BACIAS CONTRIBUINTES

Bacia - (nº)	Área - (km ²)
B1	905,4
B2	493,1
B3	228,1
B4	749,0
B5	687,6
B6	744,8
B7	649,5
B8	593,8
B9	132,0
B10	604,4
B11	80,5
B12	1.109,4
B13	96,2

Fonte: CNEC

INSERIR FIGURA 7.19.2/02 – SUB-BACIAS

No Quadro 7.19.2/03 são apresentadas as informações referentes aos parâmetros de entrada do modelo, onde, para cada trecho de rio, são informados os parâmetros numéricos α e β , o comprimento de cada trecho de rio e os valores das parcelas de áreas laterais contribuintes respectivas.

QUADRO 7.19.2/03 - PARÂMETROS DE ENTRADA DA FASE CANAL

Trecho - nº	α	β	Comprimento (km)	Bacias contribuintes	
				Número	Área (km ²)
C1	0,1	0,1	0,1	-	-
C2	3,0	0,88	10,00	B1	905,4
C3	3,0	0,88	22,50	B2 + B3	721,2
C4	3,0	0,88	18,70	B4	749,0
C5	3,0	0,88	16,3	-	-
C6	3,0	0,88	20,00	B5	687,6
C7	3,0	0,88	26,20	B6	744,8
C8	3,0	0,88	47,50	B7 + B8	1.243,3
C9	3,0	0,88	32,50	B9 + B10	736,4
C10	3,0	0,88	37,50	B12	1.109,4
C11	3,0	0,88	25,00	B11+B13	176,7

Fonte: CNEC

O hidrograma de vazão afluente ao local do eixo de Tijuco Alto foi obtido com base em dados disponíveis na estação fluviométrica de Capela da Ribeira, onde foi adotada a cheia ocorrida em 24 de janeiro de 1997, que registrou uma vazão de pico de 2.726 m³/s.

A transferência de vazões para o eixo de Tijuco Alto foi realizada através da relação entre as áreas de drenagem do local do eixo do aproveitamento (6.340 km²) e da estação fluviométrica de Capela do Ribeira (7.248 km²), resultando em um coeficiente multiplicativo igual a 0,874724.

No Quadro 7.19.2/04 é apresentado o hidrograma de cheia afluente ao eixo de Tijuco Alto, abrangendo o período de dados de vazões no período de 10/01/1997 a 25/03/1997.

QUADRO 7.19.2/04 - VAZÕES AFLUENTES AO EIXO DE TIJUCO ALTO

Data	Vazão - (m ³ /s)	Data	Vazão - (m ³ /s)	Data	Vazão - (m ³ /s)
10/jan/97	216	4/fev/97	231	1/mar/97	222
11/jan/97	213	5/fev/97	199	2/mar/97	213
12/jan/97	201	6/fev/97	171	3/mar/97	210
13/jan/97	181	7/fev/97	123	4/mar/97	197
14/jan/97	176	8/fev/97	123	5/mar/97	185
15/jan/97	166	9/fev/97	146	6/mar/97	178
16/jan/97	162	10/fev/97	230	7/mar/97	173
17/jan/97	123	11/fev/97	266	8/mar/97	166
18/jan/97	129	12/fev/97	256	9/mar/97	159
19/jan/97	202	13/fev/97	250	10/mar/97	157
20/jan/97	330	14/fev/97	262	11/mar/97	157
21/jan/97	454	15/fev/97	272	12/mar/97	157
22/jan/97	1181	16/fev/97	297	13/mar/97	157
23/jan/97	1986	17/fev/97	282	14/mar/97	157
24/jan/97	2384	18/fev/97	258	15/mar/97	157
25/jan/97	1530	19/fev/97	256	16/mar/97	155
26/jan/97	1208	20/fev/97	239	17/mar/97	151
27/jan/97	699	21/fev/97	204	18/mar/97	147
28/jan/97	514	22/fev/97	204	19/mar/97	138
29/jan/97	441	23/fev/97	192	20/mar/97	138
30/jan/97	427	24/fev/97	187	21/mar/97	136
31/jan/97	406	25/fev/97	185	22/mar/97	133
1/fev/97	321	26/fev/97	239	23/mar/97	133
2/fev/97	309	27/fev/97	231	24/mar/97	133
3/fev/97	280	28/fev/97	228	25/mar/97	123

Fonte: CNEC

7.19.3. Calibragem do Modelo de Simulação

Para a aferição do modelo matemático foram considerados os dados de vazões médias diárias observadas nas estações fluviométricas de Capela da Ribeira e Eldorado, utilizando-se como referência o evento de cheia ocorrida em janeiro de 1997.

O ajuste dos parâmetros de calibragem foi realizado através de tentativas sucessivas, até que os valores simulados pelo modelo matemático e os observados na estação fluviométrica ficassem situados dentro de faixas de erros aceitáveis. Neste processo realizaram-se aferições dos parâmetros de calibragem α e β , estimados preliminarmente a partir das características hidráulicas observadas nas estações fluviométricas.

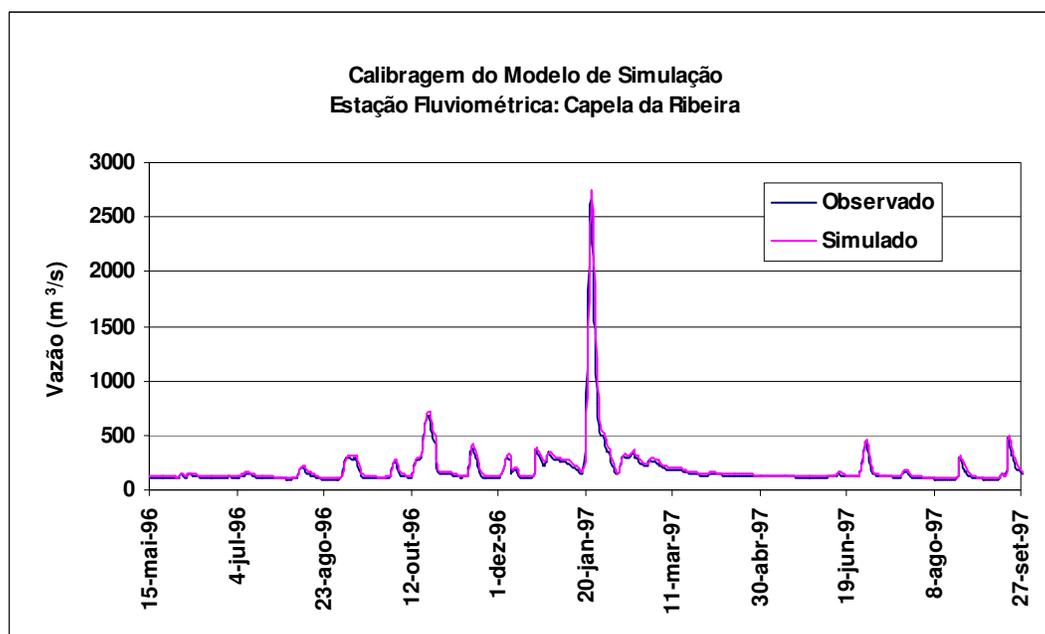
O ajuste dos hidrogramas simulados e observados foi realizado de forma integrada, temporal e espacial, com a aferição dos valores das vazões de pico, a verificação da forma e o volume das ondas de cheias, procurando eliminar as defasagens entre os respectivos hidrogramas de cheias.

Nas Figuras 7.19.3/01 e 7.19.3/02 são apresentados os resultados obtidos da calibragem do modelo de simulação, ilustrando de forma comparativa os ajustes finais obtidos entre os hidrogramas simulados e observados, tendo como referência as estações fluviométricas de Capela da Ribeira e Eldorado.

A calibragem do modelo de simulação, baseada nas demais estações fluviométricas não foi implementada, em virtude da ausência de dados de vazões cobrindo este período de análise.

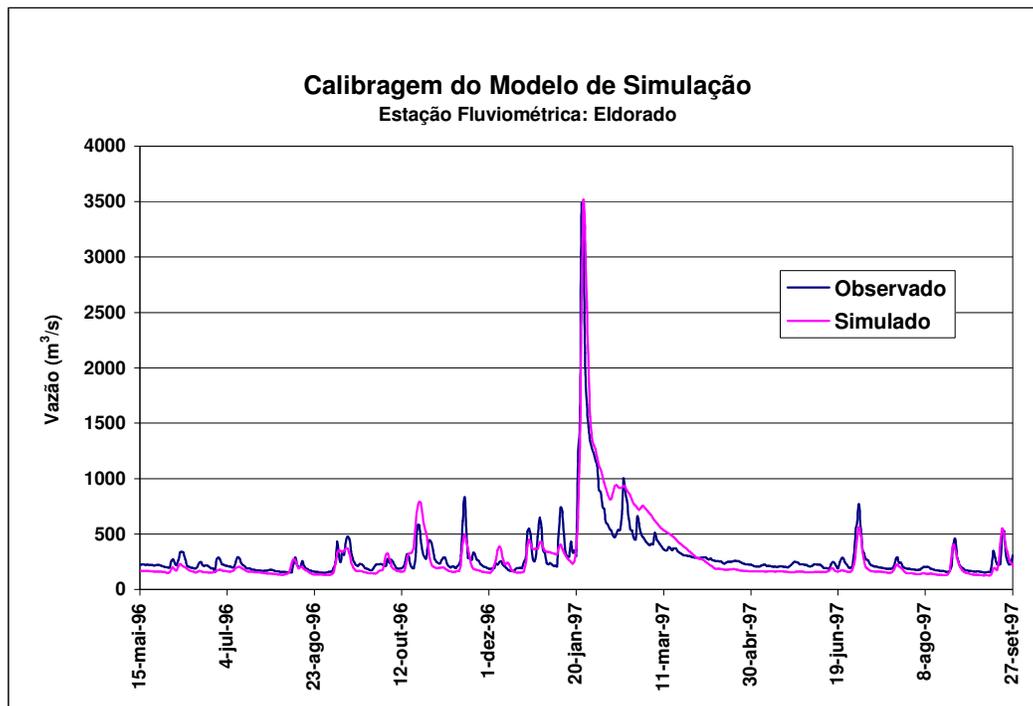
Para a estação fluviométrica de Registro os resultados não foram apresentados, em razão das anomalias encontradas na simulação, o que impediu a obtenção de uma calibragem com qualidade mínima aceitável para serem utilizadas nos estudos. Para a sua implementação é necessária a obtenção de dados topobatimétricos mais detalhados do trecho de rio, situado entre as estações fluviométricas de Sete Barras e de Registro.

FIGURA 7.19.3/01 – CALIBRAGEM DO MODELO DE SIMULAÇÃO – ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA CAPELA DA RIBEIRA



Fonte: CNEC

FIGURA 7.19.3/02 - CALIBRAGEM DO MODELO DE SIMULAÇÃO – ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA ELDORADO



Fonte: CNEC

7.19.4. Exploração do Modelo de Simulação

Após a fase de calibragem do modelo de simulação segue-se a fase exploratória, onde é introduzido o reservatório de Tijuco Alto, cujas vazões naturais são alteradas pela operação hidráulica da UHE.

No processo de modelagem, a barragem de Tijuco Alto é descrita através de suas características físicas e operacionais, tais como:

- ✓ Curva cota-volume do reservatório, conforme apresentado no Quadro 7.19.4/01;
- ✓ Curva cota-descarga do vertedor, conforme apresentado no Quadro 7.19.4/02 ;
- ✓ Cota do nível d'água mínimo, considerado igual a 285 m;
- ✓ Cota do nível d'água máximo normal, igual a 290 m;
- ✓ Cota do nível d'água máximo maximorum, reservado ao controle de cheias, igual a 300 m.

QUADRO 7.19.4./01 - CURVA COTA-VOLUME DO RESERVATÓRIO DE TIJUCO ALTO

Cota (m)	Volume (m ³ * 10 ⁶)	Cota (m)	Volume (m ³ * 10 ⁶)	Cota (m)	Volume (m ³ * 10 ⁶)
165	0	267	1.282	292	2.206
175	2	272	1.437	293	2.252
185	30	257	1.004	294	2.299
195	80	258	1.031	295	2.346
205	148	259	1.058	296	2.394
215	250	260	1.085	296,4	2.420
225	374	261	1.112	297	2.443
235	540	265	1.220	298	2.492
245	732	270	1.375	299	2.542
255	960	280	1.750	300	2.593
256	977	290	2.113	307	2.900
262	1.139	291	2.161		

Fonte CNEC

QUADRO 7.19.4/02 - CURVA COTA-DESCARGA DO VERTEDOR

Cota - (m)	Descarga - (m ³ /s)
286	0,0
287	48,3
288	136,6
289	251,0
290	386,4
291	540,0
292	709,9
293	894,5
294	1.092,9
295	1.304,1
296	1.527,4
297	1.762,1
298	2.007,8
299	2.263,9
300	2.530,1

Fonte: CNEC

Em condições hidrológicas normais, o reservatório deverá operar entre as cotas 285 m e 290 m, o que equivale a um volume útil para a geração de 209,63 * 10⁶ m³.

A faixa operativa compreendida entre as cotas 290 m e 300 m, compreendendo um volume de espera de 476,51 X 10⁶ m³, será destinada ao controle de cheias.

Baseados nestas premissas são apresentados os benefícios auferidos pelo amortecimento das ondas de cheias ao longo do curso do rio Ribeira, entre as localidades de Ribeira e Sete Barras.

As simulações consideraram as seguintes premissas:

- ✓ Cota do nível d'água do reservatório no início da simulação: 290 m;
- ✓ Engolimento nominal de alimentação das duas turbinas: 110,44 m³/s;
- ✓ Na operação do reservatório limitou-se a alocação de cheias até cota 299 m, ou seja, um metro abaixo da cota referente ao volume máximo maximorum. Obedecendo estas condições operacionais, a vazão máxima a ser liberada a jusante resulta em 720 m³/s; e,
- ✓ Na laminação das ondas de cheias afluentes ao eixo de Tijuco Alto considerou-se, sempre que possível, a manutenção de uma vazão máxima liberada para jusante de 720

m³/s. Este procedimento foi adotado tanto no período onde os volumes de cheias excedentes são alocados no reservatório até a cota máxima de 300 m, como no período de extravasamento, onde é recuperado o volume destinado ao controle de cheias, correspondendo à cota do nível d'água máximo normal de operação de 290 m.

No Quadro 7.19.4/03 são apresentados os valores das vazões de pico relativas a este evento, geradas no local do eixo de Tijuco Alto e observadas nas estações fluviométricas de Capela da Ribeira, Eldorado e Registro, implantadas no rio Ribeira de Iguape e na estação de Juquiá, situada no curso d'água de mesmo nome.

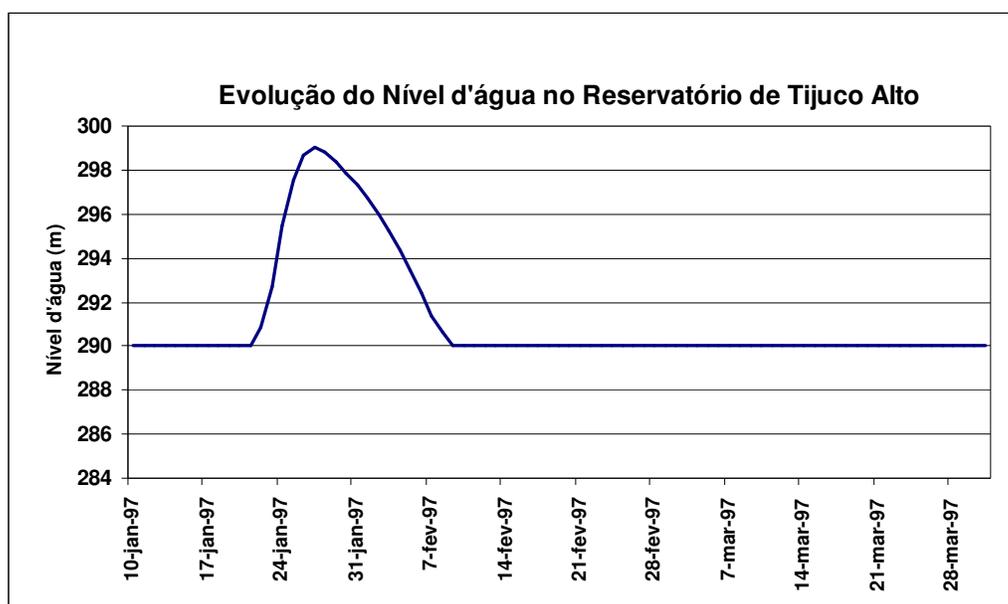
QUADRO 7.19.4/03 - VAZÕES DE PICO DO EVENTO OCORRIDO EM JANEIRO DE 1997

Local	Curso d'água	Vazão (m ³ /s)
Eixo de Tijuco Alto ¹	Ribeira	2.385
Estação de Capela da Ribeira ²	Ribeira	2.726
Estação de Eldorado ²	Ribeira	3.473
Estação de Juquiá ²	Juquiá	384
Estação de Registro ²	Ribeira de Iguape	2.723

Fonte: ¹ CNEC - ² ANA – Agência Nacional de Águas

Na Figura 7.19.4/01 é apresentada a evolução do nível d'água no reservatório de Tijuco Alto, considerando-se a imposição das regras operativas descritas.

FIGURA 7.19.4/01 – EVOLUÇÃO DO NÍVEL D'ÁGUA NO RESERVATÓRIO DE TIJUCO ALTO



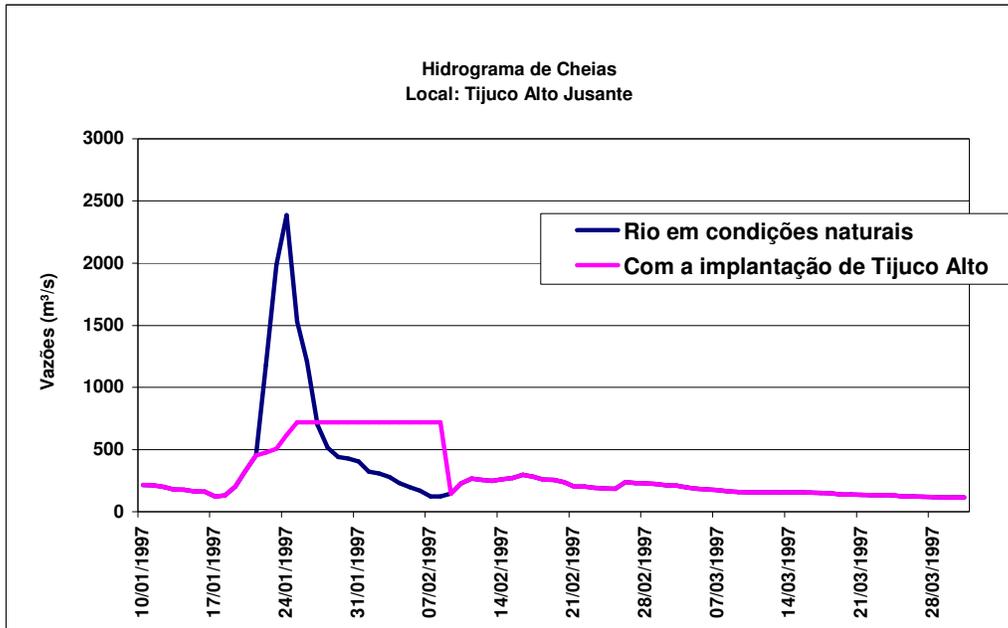
Fonte: CNEC

Nas Figuras 7.19.4/02 a 7.19.4/07 são apresentados os resultados da simulação comparando-se os hidrogramas de cheias afluentes, considerando o rio Ribeira de Iguape na condição natural e modificado pela implantação da UHE Tijuco Alto. Como referência para a obtenção dos resultados da simulação foram consideradas as seguintes localidades:

- ✓ Estação fluviométrica de Tijuco Jusante, situada próximo ao eixo de Tijuco Alto;
- ✓ Estação fluviométrica de Capela da Ribeira;
- ✓ Estação fluviométrica de Itaóca;

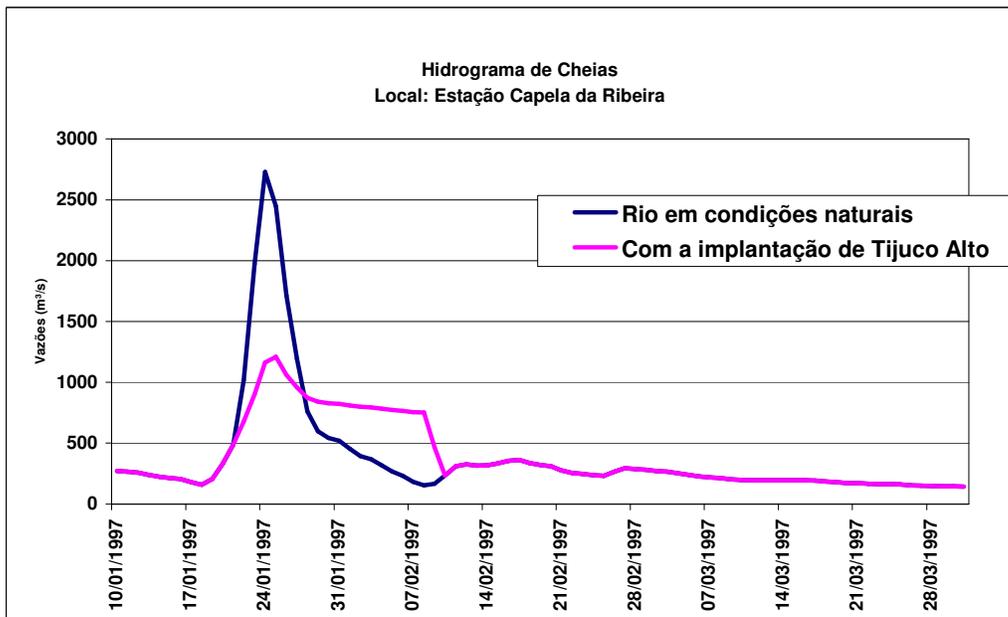
- ✓ Estação fluviométrica de Iporanga;
- ✓ Estação fluviométrica de Eldorado;
- ✓ Estação fluviométrica de Sete Barras.

FIGURA 7.19.4/02 – HIDROGRAMA DE CHEIAS - TIJUCO ALTO JUSANTE



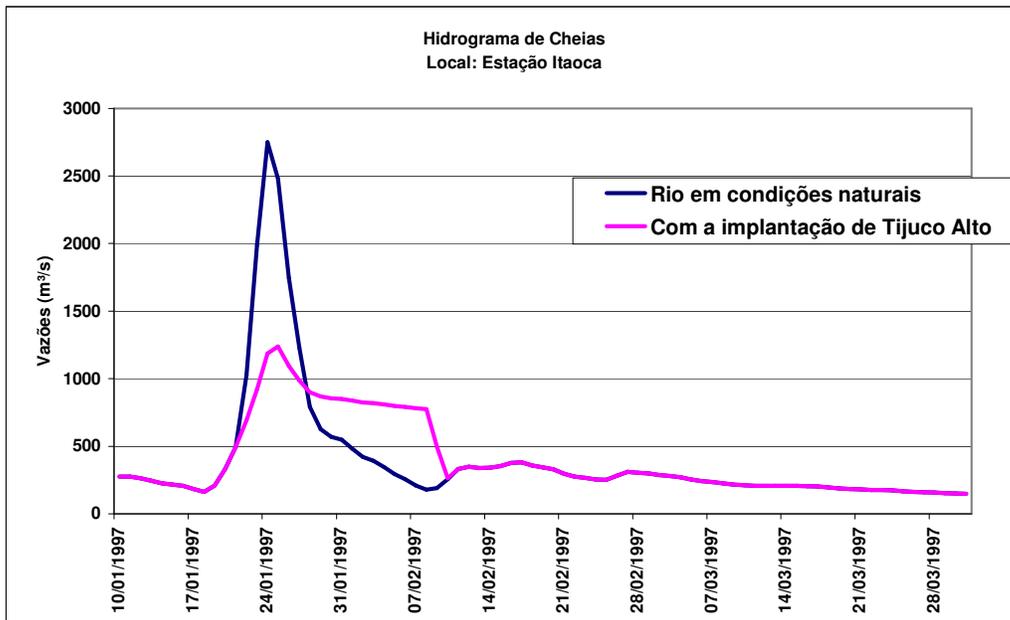
Fonte: CNEC

FIGURA 7.19.4/03 – HIDROGRAMA DE CHEIAS - CAPELA DA RIBEIRA



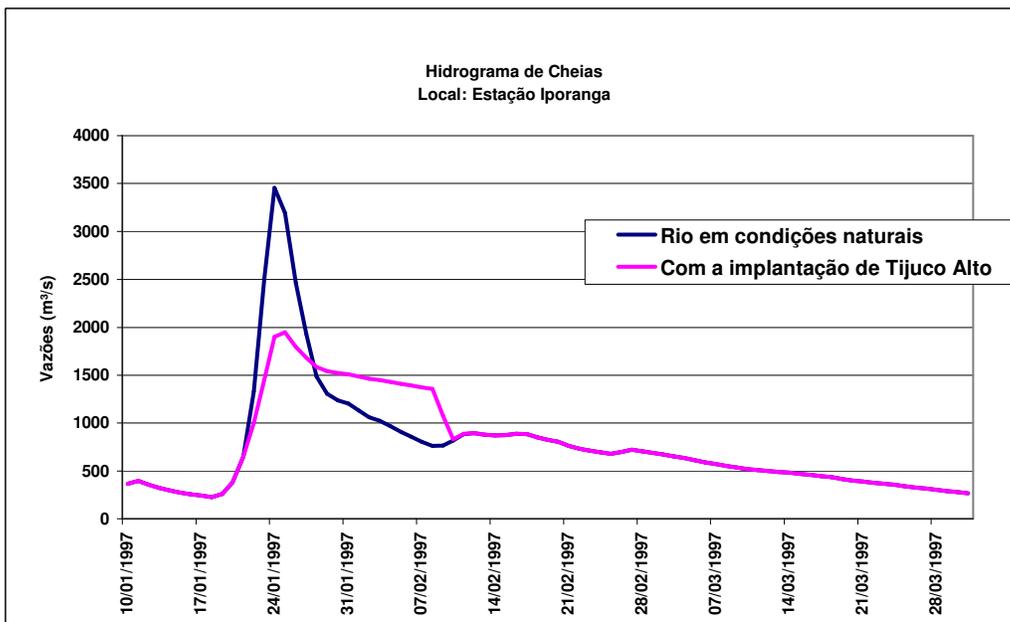
Fonte: CNEC

FIGURA 7.19.4/04 – HIDROGRAMA DE CHEIAS - ITAÓCA



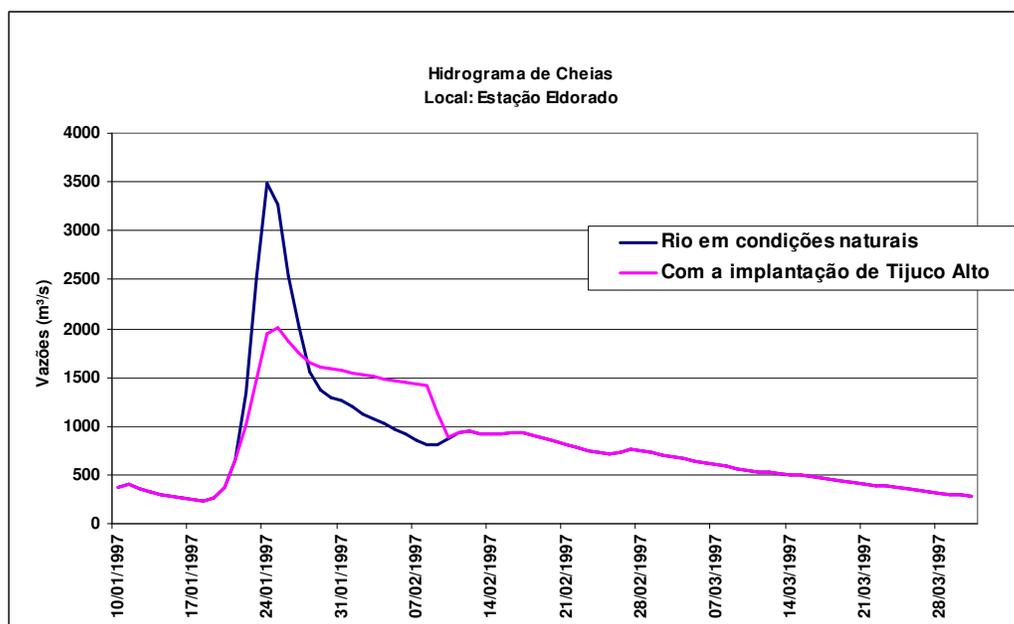
Fonte: CNEC

FIGURA 7.19.4/05 – HIDROGRAMA DE CHEIAS - IPORANGA



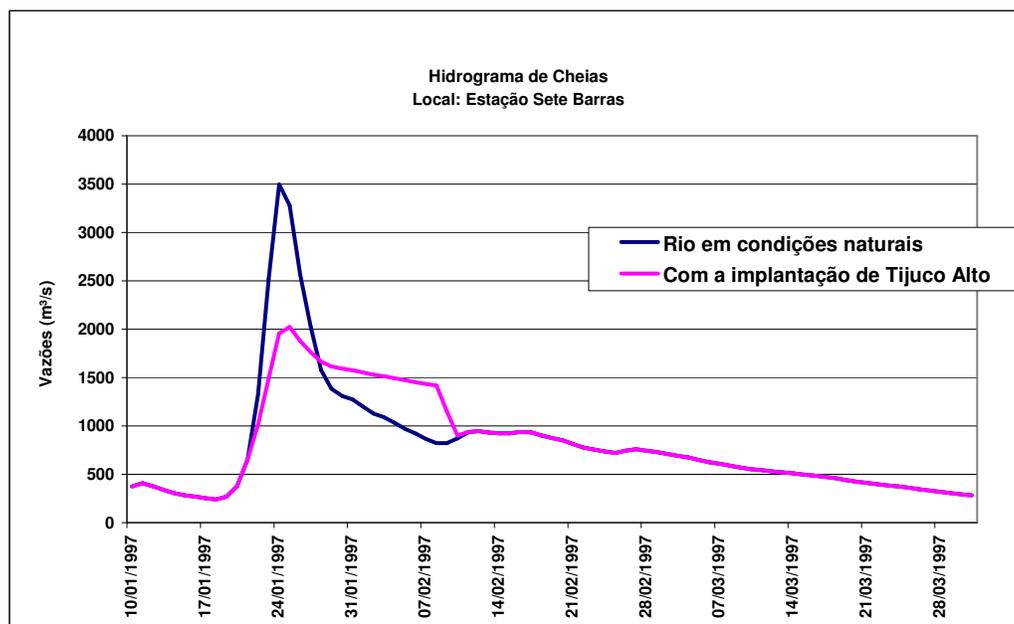
Fonte: CNEC

FIGURA 7.19.4/06 – HIDROGRAMA DE CHEIAS - ELDORADO



Fonte: CNEC

FIGURA 7.19.4/07 – HIDROGRAMA DE CHEIAS - SETE BARRAS



Fonte: CNEC

No Quadro 7.19.4/04 estão sintetizados os resultados da simulação, apresentando para cada localidade os benefícios promovidos pela implantação da UHE Tijuco Alto, retratados através dos abatimentos das vazões de pico das cheias e das respectivas estimativas de reduções dos níveis d'água das cheias.

Os valores das reduções dos níveis d'água de inundação foram estimados através do uso das curvas chaves disponíveis em cada localidade, considerando-se em cada caso os valores das respectivas vazões afluentes.

QUADRO 7.19.4/04 - SÍNTESE DOS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

Estação Fluviométrica	Município/ Local	Condições normais		Sem Tijuco Alto		Com Tijuco Alto		Abatimento	
		Nível d'água (m)	Vazão (m ³ /s)	Nível d'água (m)	Vazão a jusante (m ³ /s)	Nível d'água (m)	Vazão a jusante (m ³ /s)	Lâmina d'água (m)	Vazão (%)
Tijuco Alto Jusante	Eixo de Tijuco Alto	2,9	101,3	18,0	2.385	9,8	720	8,2	70
Capela da Ribeira	Eldorado	1,8	115,0	10,3	2.726	6,1	1.209	4,2	56
Itaóca	Itaóca	0,9	118,3	7,2	2.776	4,1	1.236	3,1	55
Iporanga	Iporanga	1,1	194,0	8,0	3.482	5,4	1.947	2,6	44
Eldorado	Eldorado	1,9	246,8	13,1	3.473	8,9	2.009	4,2	42
Sete Barras	Sete Barras	1,1	279,3	9,2	3.521	7,0	2.021	2,2	43

Fonte: CNEC

Para um melhor entendimento dos dados contidos no Quadro 7.19.4/04, são descritos a seguir o conteúdo de cada campo:

- ✓ Estação Fluviométrica: identificação da estação fluviométrica adotada como referência para a definição dos níveis d'água e de vazão;
- ✓ Município/Local: identificação do município ou local onde está situada a régua limnimétrica.
- ✓ Condições normais/Nível d'água: nível d'água médio do rio correspondente à vazão média de longo termo.
- ✓ Condição normal/Vazão: vazão média mensal de longo termo.
- ✓ Sem Tijuco Alto: considera o recurso hídrico em condições naturais, ou seja, sem a presença da UHE Tijuco Alto. Os dados de níveis d'água e de vazões a jusante referem-se aos valores de pico observadas na cheia excepcional ocorrida em janeiro de 1997 e registradas nas respectivas estações fluviométricas.
- ✓ Com Tijuco Alto: considera a implantação de Tijuco Alto. Os dados de níveis d'água e de vazão a jusante referem-se aos valores máximos simulados observados nas mesmas estações.
- ✓ Abatimento – Vazão: refere-se à porcentagem de abatimento da vazão de pico liberada pela barragem de Tijuco Alto, ou seja, a relação entre as vazões com e sem a presença de Tijuco Alto.
- ✓ Abatimento – Lâmina d'água: refere-se ao abatimento da lâmina d'água em metros, ou seja, a diferença de nível d'água considerando-se a implantação da UHE Tijuco Alto e sem a presença deste aproveitamento.

Verifica-se que, para o trecho do rio Ribeira logo a jusante de Tijuco Alto, particularmente junto às cidades de Ribeira e Adrianópolis, o controle das cheias é altamente significativo, com um abatimento do pico da onda de cheia da ordem 70% e respectiva redução dos valores de níveis d'água de 8,2 m. Este efeito é progressivamente reduzido à medida que se dirige para jusante, face às afluições das contribuições laterais recebidas ao longo de seu percurso.

Ressalta-se que os maiores benefícios promovidos pelo aproveitamento, no que se refere ao controle de cheias, ocorrem quando o núcleo chuvoso das tormentas se posiciona na parcela da bacia situada a montante do eixo de Tijuco Alto.

Em condições meteorológicas inversas, quando o núcleo chuvoso se posiciona nas porções médias e baixas da bacia, os efeitos de amortecimento das ondas de cheias serão atenuados ou mesmo anulados, já que a principal parcela das vazões contribuintes deverá

provir das porções a jusante do eixo, portanto fora da influência do controle operacional de Tijuco Alto.

7.19.5. Cheias em Registro

As enchentes do rio Ribeira de Iguape tem prejudicado as populações do Baixo Ribeira periodicamente, com intensidade proporcional à magnitude das vazões máximas, afetando primordialmente as áreas urbanas de Registro e áreas agrícolas em Eldorado, Sete Barras, Registro e Iguape.

Pela sua importância, e como uma das áreas mais penalizadas durante as cheias, destaca-se o município de Registro como ponto de controle e de estabelecimento da vazão de restrição, sendo as vazões nas demais localidades relacionadas a esse ponto.

O benefício decorrente do amortecimento da onda de cheia no município de Registro não foi apresentado em vista dos resultados insatisfatórios obtidos no processo de calibragem do modelo de simulação.

Estima-se, no entanto, que os abatimentos das ondas de cheias motivados pela presença da UHE Tijuco Alto serão sensivelmente menores em função da expressiva contribuição oriunda da bacia do rio Juquiá que compreende uma área de aproximadamente de 5.450 km².

Há uma recomendação do Comitê Executivo de Estudos Integrados da Bacia do rio Ribeira de Iguape – CEEIGUAPE, feita em 1990, de estabelecer uma vazão de 800 m³/s para Registro, onde o rio fica praticamente contido em seu leito menor. Esse valor, entretanto, é muito severo, conforme retratado no Quadro 7.19.5/01 onde estão assinaladas as vazões diárias máximas anuais observadas na estação fluviométrica de Registro.

QUADRO 7.19.5/01 – VAZÕES MÁXIMAS DIÁRIAS ANUAIS OBSERVADAS NA ESTAÇÃO DE REGISTRO

Data	Vazão - (m ³ /s)	Data	Vazão - (m ³ /s)	Data	Vazão - (m ³ /s)
dez/53	633,7	jan/70	1049,4	jun/87	1849,7
mai/54	1762,8	jan/71	1660,6	mai/88	1629,2
jul/55	827,2	fev/72	1660,6	jan/89	1442,3
abr/56	914,9	ago/73	1660,6	set/90	1148,5
jul/57	1632,9	mar/74	1598,1	mar/91	1071,7
nov/58	1643,1	mar/75	1400,3	jun/92	949,6
jan/59	1054,1	mai/76	1400,3	set/93	1136,5
mai/60	1169,7	fev/77	1194,7	jan/94	1279,6
mar/61	1431,5	set/78	769,9	jan/95	2213,8
mar/62	1627,8	out/79	1003,8	fev/96	1533,8
jan/63	1892,5	jan/80	1433,9	jan/97	2723,2
jun/64	903,4	jan/81	1472,1	mar/98	2015,8
mai/65	1582,5	jun/82	1446,6	jan/99	1406,5
fev/66	1909,1	jun/83	2473,4	fev/00	1292,4
mar/67	1450,6	dez/84	919,0	fev/01	1017,1
jan/68	1445,8	fev/85	808,4		
nov/69	1632,9	dez/86	1018,2		

Fonte: ANA – Agência Nacional de Águas

Verifica-se que no período histórico compreendido entre 1953 e 2001, a vazão de 800 m³/s foi superada em 47 dos 49 anos registrados. Sendo essa vazão de tal frequência, não é razoável que ela seja adotada como objetivo de um controle de cheia, seja pela exagerada proteção necessária para as áreas inundáveis, seja pelo fato de exigir volumes de espera inviáveis.

Para a vazão de 1.000 m³/s, a água chega a atingir cerca de 70 residências em pontos isolados e situados muito próximos ao rio. Neste caso a vazão de 1.000 m³/s foi superada

em 41 anos da série histórica de dados.

A enchente ocorrida em 1983, com uma vazão máxima observada de 2.476 m³/s atingiu a elevação de 10,48 m (IGG). Em 1990, a vazão máxima de 2.219 m³/s atingiu a elevação de 9,99 m (IGG).

Nas cheias de 1983 e 1990, a inundação chegou ao centro baixo da cidade. Durante a enchente ocorrida no ano de 1990 foram desabrigadas 400 famílias, num total de 2.000 pessoas. A maioria das residências atingidas pertence ao bairro Vila Nova.

Considerada a vazão de restrição de 1.200 m³/s, é possível resolver o problema de inundação com o aterramento de poucas áreas e/ou outras soluções como relocação.

Outro aspecto a ser ressaltado, é o fato do valor da cheia diária em Registro mostrar-se inferior ao valor observado no posto de Eldorado, para grande parte dos eventos ocorridos. Se for considerada a contribuição do rio Juquiá, na grande maioria dos anos, constatar-se-á um pico diário de cheia em Registro inferior à vazão composta pela soma das contribuições até os postos de Eldorado e Juquiá. Este comportamento do baixo curso do rio Ribeira de Iguape deixa claro a influência das acumulações naturais das várzeas e da própria calha do rio sobre as vazões de cheias, atenuando e aumentando seus tempos de trânsito.

No Quadro 7.19.5/02 apresenta-se o levantamento cadastral das unidades atingidas pelas vazões.

QUADRO 7.19.5/02 - UNIDADES ATINGIDAS NA CIDADE DE REGISTRO PARA DIVERSAS VAZÕES

Níveis		Vazão no rio (m ³ /s)	Unidades Atingidas		
Régua	IGG		Residenciais	Comerciais	Total
3,81	7,20	1.000	70	-	70
4,34	7,73	1.200	190	18	208
4,84	8,23	1.400	371	39	410
6,60	9,99	2.219	1.134	59	1.193
7,10	10,48	2.476	1.174	77	1.251

Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape e Litoral Sul – CBH-RB, *Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da UGRHI 11*

Visando minimizar a ocorrência de cheias do baixo curso do rio Ribeira de Iguape, passou a ser contemplada a implantação de uma barragem de regularização no rio Juquiá, a jusante da cidade de mesmo nome, que poderia ser utilizada também para reversões de água para a Região Metropolitana de São Paulo.

7.19.6. Considerações Finais

As análises assinalam expressivo benefício no controle de cheias, pela implantação da UHE Tijuco Alto, com abatimentos das ondas de cheias observadas até a localidade de Sete Barras.

Para a realização das análises foi considerada a maior cheia registrada na bacia do rio Ribeira, ocorrida em 27 de janeiro de 1997, com valores de vazões máximas diárias registradas na estação de Capela da Ribeira da ordem de 2.726 m³/s, o que se aproxima de uma cheia com período de retorno de 100 anos. No local do futuro eixo da UHE Tijuco Alto os valores de pico são estimados em 2.385 m³/s.

No Quadro 7.19.6/01 são apresentados os benefícios auferidos pelos abatimentos das ondas de cheias em diversos municípios situados a jusante de Tijuco Alto e lateralmente ao curso do rio Ribeira, os quais são afetados pelas ondas das grandes cheias que veiculam nesse manancial.

Como referência foram considerados os locais das réguas limnimétricas, operadas pelo DAEE e pelo CNEC, situadas nos respectivos municípios considerados.

QUADRO 7.19.6/01 - ABATIMENTOS DAS ONDAS DE CHEIAS – EVENTO DE JANEIRO DE 1997

Local	Condições médias (m)	Cheia de Janeiro de 1997 (m)		Altura da lâmina d'água em relação às condições médias (m)	
		Sem Tijuco Alto	Com Tijuco Alto	Sem Tijuco Alto	Com Tijuco Alto
Tijuco Alto	167,7	182,8	174,6	15,1	6,9
Ribeira	156,7	165,2	161,1	8,5	4,4
Itaóca	0,9	7,2	4,1	6,3	3,2
Iporanga	1,1	8,0	5,4	6,9	4,3
Eldorado	1,9	13,1	8,9	11,2	7,0
Sete Barras	1,1	9,2	7,0	8,1	5,9

No Quadro 7.19.6/01 os níveis d'água máximos da cheia ocorrida em janeiro de 1997 são comparados com os valores médios observados nas respectivas estações fluviométricas.

Verifica-se que os benefícios decorrentes do aproveitamento de Tijuco Alto são progressivamente decrescentes, na medida em que se dirige para jusante, face às afluições das contribuições laterais recebidas ao longo de seu percurso, os quais se encontram fora do controle da operação da usina.

Outro aspecto a ser ressaltado quanto ao controle de cheias refere-se à localização das precipitações, pois os maiores benefícios promovidos pelo aproveitamento ocorrem quando o núcleo chuvoso das tormentas se posiciona na parcela da bacia situada a montante do eixo de Tijuco Alto.

Em condições meteorológicas inversas, quando o núcleo chuvoso se posiciona nas porções médias e baixas da bacia, os efeitos de amortecimento das ondas de cheias serão atenuados ou mesmo anulados, já que a principal parcela das vazões contribuintes deverá provir das porções a jusante do eixo, portanto fora da influencia do controle operacional de Tijuco Alto.

Visando o aprimoramento da operação do reservatório, no que se refere à otimização do controle de cheias bem como a geração hidroenergética, recomenda-se a implementação das seguintes atividades:

- ✓ Implantação de um sistema de previsão de vazões para a UHE Tijuco Alto, baseado em uma rede de monitoramento telemétrico de estações pluviométricas, o que permitiria antecipar os hidrogramas de cheias afluentes ao reservatório.

Neste processo seriam utilizados recursos informatizados de análise, através da aplicação de técnicas de simulação hidrológica determinística de transformação chuva-deflúvio que gerariam os aportes de vazões à barragem. As informações decorrentes deste sistema forneceriam subsídios importantes para as equipes técnicas responsáveis pela operação da usina, minimizando os vertimentos e propiciando um melhor aproveitamento do volume destinado à alocação de cheias.

- ✓ Realizar estudos e ensaios de avaliação da capacidade de vazão da calha de escoamento do rio Ribeira a jusante do eixo de Tijuco Alto, visando com isto estabelecer os limites máximos de vazões a serem liberadas pelo aproveitamento, sem que isto cause inundações a propriedades e sistemas de utilidade pública.

7.20. ESTUDOS HIDROSEDIMENTOMÉTRICOS E VIDA ÚTIL DO RESERVATÓRIO

A determinação da descarga sólida média anual do rio Ribeira em Tijuco Alto, foi baseada nas séries de medições de descarga sólida em suspensão realizada pela ANA junto às estações fluviométricas de Balsa do Cerro Azul e Capela da Ribeira e de campanhas de coleta de campo desenvolvidas pelo CNEC, no âmbito do presente trabalho.

No Quadro 7.20/01 estão assinaladas as séries de campanhas disponibilizadas pela ANA.

QUADRO 7.20/01 - REDE DE ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS DE INTERESSE

Código ANA	Estação	Curso d'água	Latit.	Long.	A. Dren. (km²)	Nº de medições
81135000	Balsa do Cerro Azul	Ribeira	24º 47'	49º 16'	4.543	81
81200000	Capela da Ribeira	Ribeira	24º 39'	49º 00'	7.248	49

No Quadro 7.20/02 estão discriminadas as campanhas de medição de descarga sólida realizadas pelo CNEC, na estação denominada Fazenda Soberana, localizada próxima ao canal de fuga da UHE Tijuco Alto.

QUADRO 7.20/02 - CAMPANHAS DE MEDIÇÃO DE DESCARGA SÓLIDA DESENVOLVIDAS PELO CNEC

Data	Cota Média (m)	Vazão (m³/s)	Velocidade (m/s)	Concentração (mg/l)
30/03/2005	2,02	70,17	0,403	27,94
28/04/2005	1,99	69,14	0,392	39,24
31/05/2005	2,03	73,65	0,416	41,35
29/06/2005	1,99	67,39	0,377	30,32

O material sólido transportado em suspensão foi obtido através da aplicação da curva-chave de sedimentos, onde são correlacionadas as medições de descargas sólidas e as medições de descargas líquidas, expressa através da seguinte equação geral:

$$Q_{sólida} = a \times (Q_{líquida})^n$$

Onde:

$Q_{líquida}$: descarga líquida em m³/s/km²;

$Q_{sólida}$: descarga sólida em ton/dia/km²;

a e n: coeficientes resultantes do processo de correlação.

Esse procedimento de regionalização em relação à área de drenagem permite aplicar a equação obtida em qualquer local do recurso hídrico, desde que se respeite a região de validade delimitada pelos estudos de regionalização.

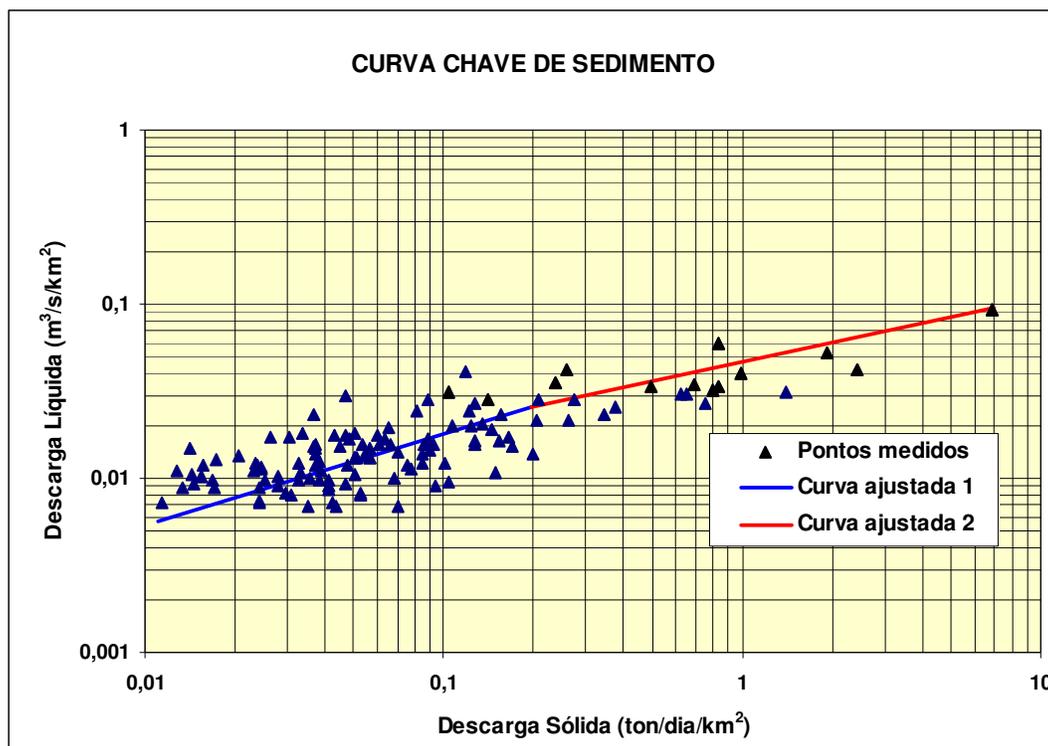
Com base nos dados sedimentométricos disponíveis foram estabelecidas as relações funcionais, sintetizadas através da regressão dos logaritmos das descargas sólidas sobre os correspondentes logaritmos das vazões líquidas, obtendo-se duas famílias de curvas chaves de sedimentos conforme apresentadas no Quadro 7.20/03.

QUADRO 7.20/03 – CURVAS CHAVES DE SEDIMENTOS

Estação Fluviométrica	Equação	Validade (m ³ /s/km ²)
- Balsa do Cerro Azul	$Q_{sol} = 203,19 \times Q_{liq}^{1,8989}$	$Q_{liq} \leq 0,02585$
- Capela da Ribeira	$Q_{sol} = 4.483,3 \times Q_{liq}^{2,7453}$	$Q_{liq} > 0,02585$

Na Figura 7.20/01 é apresentado em papel bi-log os pontos plotados relacionando as medições de descarga sólida e líquida e a respectiva representação gráfica das curvas-chaves de sedimentos.

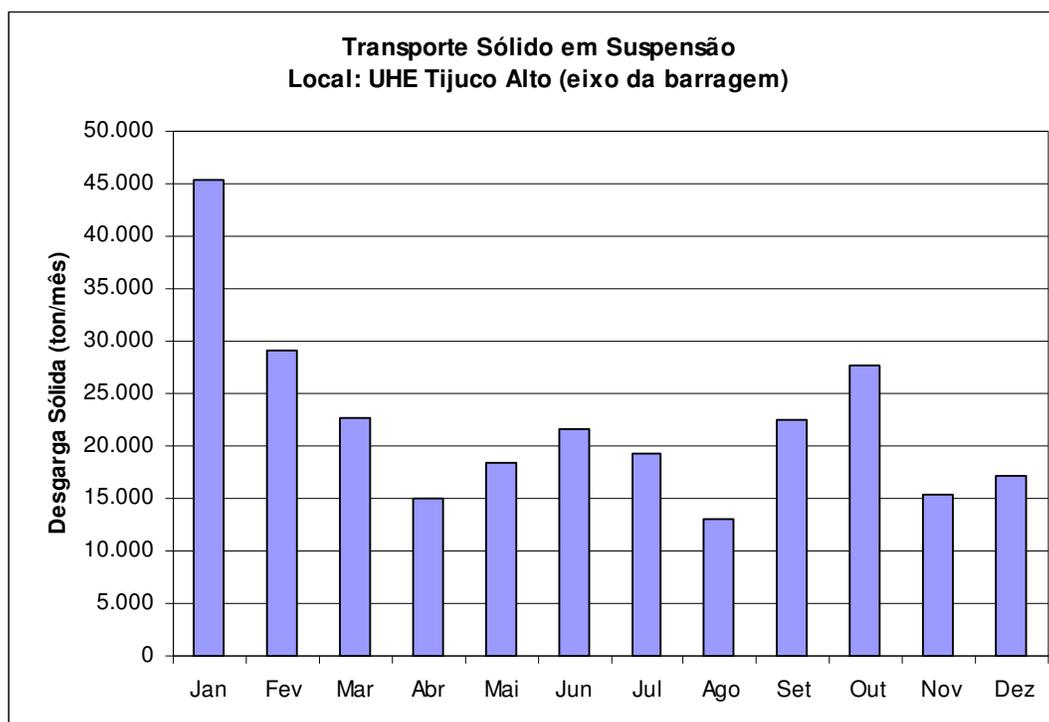
FIGURA 7.20/01 – CURVA CHAVE DE SEDIMENTO



Os valores da descarga sólida em suspensão foram calculados a partir das séries de vazões medias mensais afluentes ao eixo de Tijuco Alto, definidas no período de janeiro de 1931 a dezembro de 2003, aplicando-se as equações da chuva, definidas conforme as respectivas faixas de validades.

No Quadro 7.20/04 é apresentado o comportamento sazonal da descarga sólida em suspensão no local do futuro eixo da UHE Tijuco Alto, em termos de valores médios, máximos e mínimos absolutos identificados ao longo do período de análise. Na Figura 7.20/02 observa-se sua representação gráfica.

FIGURA 7.20/02 – HISTOGRAMA REPRESENTANDO O COMPORTAMENTO SAZONAL DO TRANSPORTE DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO.



QUADRO 7.20/04 - COMPORTAMENTO SAZONAL DA DESCARGA SÓLIDA

Mês	Mínimo (toneladas)	Médio (toneladas)	Máximo (toneladas)
Jan	2.048	45.345	797.589
Fev	3.387	29.065	181.398
Mar	4.625	22.719	270.643
Abr	2.471	14.942	235.402
Mai	1.970	18.427	257.902
Jun	3.389	21.675	566.214
Jul	2.793	19.209	306.154
Ago	2.160	13.063	84.303
Set	2.260	22.575	274.179
Out	2.014	27.590	459.697
Nov	2.260	15.430	98.646
Dez	2.059	17.168	76.671
Ano	1.970	267.207	797.589

Do total da descarga sólida afluyente, uma parte fica retida no reservatório, não sendo liberada normalmente pelo vertedouro ou turbina. A retenção de sedimento no reservatório foi estimada com base na aplicação da curva de Brune, através do qual obteve-se uma eficiência de retenção da ordem de 97%.

O total do deflúvio médio anual de sedimentos é obtido através da soma das cargas de transporte sólido em suspensão e de arrasto.

A parcela relativa à descarga sólida de arrasto adotada foi igual a 20% do valor obtido para a descarga sólida em suspensão.

O volume final retido no reservatório foi multiplicado por dois, a fim de se prevenir um provável incremento da produção de sedimentos na bacia, devido ao aumento da erosão por efeito de ações antrópicas.

Com base no valor percentual de retenção de sedimentos e as premissas de cálculo adotadas, é apresentado no Quadro 7.20/05 a carga anual de sólidos totais retidos no reservatório.

QUADRO 7.20/05 – ESTIMATIVA DA CARGA ANUAL DE ASSOREAMENTO

Parâmetro	Valor
Descarga sólida em suspensão (ton/ano)	267.207
Retenção de sedimento em suspensão (%)	97,0
Sólidos suspensos retidos (ton/ano)	259.191
Descarga sólida de arraste (ton/ano)	53.441
Sólidos totais retidos (ton/ano)	625.264

Na avaliação do volume de assoreamento, a descarga sólida calculada em ton/ano é transformada em m³/ano, para o qual é necessário conhecer o peso específico do material sólido que será depositado no reservatório.

Para sua estimativa foi utilizado o método proposto por Lane e Koelzer, o qual tem por base as parcelas areia, silte e argila que compõem os sedimentos, além do grau de compactidade e/ou adensamento desses materiais, avaliado em função do tempo de permanência no reservatório e da submersão (decorrente das variações de níveis).

Considerando a condição de operação da usina, na situação em que o sedimento é mantido sempre ou quase sempre submerso, decorre ao fim de um período de 100 anos uma densidade específica igual a 1,552 t/m³

Considerando-se a carga total de sedimento retido no aproveitamento, são apresentados no Quadro 7.20/06 os volumes anuais de assoreamento ao fim do período de 100 anos de operação, ou seja, o dobro da vida útil sócio econômica do aproveitamento normalmente adotado em 50 anos.

QUADRO 7.20/06 – ESTIMATIVA DO VOLUME ANUAL DE ASSOREAMENTO

Parâmetro	Valor
Sólidos totais retidos (ton/ano)	625.264
Volume anual retido (m ³ * 10 ⁶)	0,403
Volume retido em 100 anos (m ³ * 10 ⁶)	40,29

Considerando-se o volume anual de assoreamento retido no aproveitamento, é apresentada no Quadro 7.20/07 a verificação da vida útil do aproveitamento. Como referência adotou-se o volume relativo à cota da soleira da tomada d'água, a partir do qual foi verificado o percentual do volume remanescente no reservatório ao fim dos 100 anos de operação. Com base nos valores apurados no Quadro 7.20/07, a vida útil do reservatório resulta em 3.397 anos.

QUADRO 7.20/07 – VERIFICAÇÃO DA VIDA ÚTIL DA UHE TIJUCO ALTO

Parâmetro		Valor
Volume retido em 100 anos (m ³ * 10 ⁶)		40,29
Nível d'água máximo normal (m)	Cota (m)	290,000
	Volume do reservatório (m ³ * 10 ⁶)	2.043,7
Nível da soleira da tomada d'água	Cota (m)	272,000
	Volume do reservatório (m ³ * 10 ⁶)	1368,5
	Volume remanescente em 100 anos	(m ³ * 10 ⁶) 1328,2
		(%) 97