HICON ENGENHARIA LTDA

ONS Operador Nacional do Sistema Elétrico

ESTUDOS DE CONSISTÊNCIA E RECONSTITUIÇÃO DE SÉRIES DE VAZÕES NATURAIS NAS BACIAS DOS RIOS PARNAÍBA, JEQUITINHONHA E DOCE

RELATÓRIO FINAL

Volume I

Outubro de 2008

3	23-10-08	Atendimento aos Comentários da Comissão de Acompanhamento	SW	MCR	JCM	AP
2	25-09-08	Atendimento aos Comentários da Comissão de Acompanhamento	SW	MCR	JCM	AP
1	15-08-08	Atendimento aos Comentários da Comissão de Acompanhamento	SW	MCR	JCM	AP
Rev.	Data	Descrição da revisão	Elaborado por	Verificado por	Autorizado por	CE

Emissão inicial

Rev.	Data	Elaborado por	Visto	Verificado	Visto	Autorizado por	Visto	CREA	CE
0	30-06-08	SW		MCR		JCM		34.040-D	CO

CE - Códigos de emissão

AP Aprovado para emissão **CO** Para comentários **ES** Estudo preliminar **CD** Cancelado

Este documento não pode ser usado, copiado ou cedido fora dos termos contratuais.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO
2. DESCRIÇÃO DAS BACIAS E SEUS APROVEITAMENTOS
3. BASE CARTOGRÁFICA
4. REDE HIDROMÉTRICA
5. ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS
6. ESTUDOS FLUVIOMÉTRICOS
7. ANÁLISE DOS DADOS OPERATIVOS DOS APROVEITAMENTOS
8. OBTENÇÃO DAS SÉRIES DE VAZÕES NATURAIS MÉDIAS DIÁRIAS E MENSAIS
9. ANÁLISE COMPARATIVA DAS SÉRIES
10. COMPLEMENTAÇÃO DA REDE HIDROMÉTRICA
11. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES
12. BIBLIOGRAFIA

ANEXOS IMPRESSOS

ANEXO 1 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA BACIA E DOS APROVEITAMENTOS HIDRELÉTRICOS
ANEXO 2 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS SELECIONADAS
ANEXO 3 – DIAGRAMA DE DISPONIBILIDADE DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS
ANEXO 4 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS PRINCIPAIS
ANEXO 5 – DIAGRAMA DE DISPONIBILIDADE DE DADOS FLUVIOMÉTRICOS
ANEXO 6 – QUADRO RESUMO DAS CURVAS-CHAVE DAS ESTAÇÕES
ANEXO 7 – DIAGRAMA DE DISPONIBILIDADE DE DADOS OPERATIVOS
ANEXO 8 – FICHAS TÉCNICAS DOS APROVEITAMENTOS
ANEXO 9 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS PROPOSTAS
ANEXO 10 – ISOIETAS DE TOTAIS PLUVIOMÉTRICOS ANUAIS

ANEXOS EM MEIO DIGITAL

ANEXO A – ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS

ANEXO B – CURVAS-CHAVE DAS ESTAÇÕES PRINCIPAIS

ANEXO C – LEITURAS DE RÉGUA CORRIGIDAS

ANEXO D – FICHAS DESCRITIVAS DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS

ANEXO E – BASE DE DADOS FLUVIOMÉTRICOS CONSISTIDOS PARA AS ESTAÇÕES PRINCIPAIS

ANEXO F – DADOS OPERATIVOS CONSISTIDOS

ANEXO G – PLANILHAS DA ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DE DADOS OPERATIVOS

ANEXO H – SÉRIES DE VAZÕES NATURAIS

ANEXO I – SÉRIES DE VAZÕES DE USO CONSUNTIVO

ANEXO J – SÉRIES DE VAZÕES EVAPORADAS

ANEXO L – SÉRIES DE VAZÕES NATURAIS SEM USO CONSUNTIVO

ANEXO M – PLANILHAS DE ANÁLISE COMPARATIVA

ANEXO N – BASE DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS

1. INTRODUÇÃO

Em 01 de outubro de 2006 o ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico firmou o contrato de número GPD-CT-169/06 com a HICON Engenharia Ltda para desenvolvimento do projeto "Estudos de Consistência e Reconstituição das Séries de Vazões Naturais Afluentes aos Aproveitamentos Hidrelétricos Existentes e em Construção nas Bacias dos Rios Parnaíba, Jequitinhonha e Doce". O presente documento consolida os resultados obtidos ao longo do referido projeto.

As séries de vazões naturais são de fundamental importância para o planejamento dos usos múltiplos dos recursos hídricos, em particular, no caso do setor elétrico, para o planejamento da operação e expansão do sistema de geração.

A implantação de reservatórios e estruturas de desvio de água nas bacias hidrográficas modifica a distribuição temporal e espacial das vazões, introduzindo uma alteração no regime fluvial, algumas vezes com transposição de águas entre bacias. Além disso, as séries observadas refletem ainda as perdas de água decorrentes de retiradas diversas para consumo, efeito que apresenta uma tendência de crescimento associada com o grau de ocupação das bacias hidrográficas.

As séries de vazões médias mensais atualmente disponíveis, empregadas no planejamento da operação e expansão do sistema elétrico, não consideram a influência das retiradas d'água para usos múltiplos, além de apresentarem anomalias relacionadas a diferentes metodologias de obtenção dos dados e preenchimento de falhas, fatos que introduzem nas mesmas um nível considerável de inconsistência e não-homogeneidade.

Considerando que os riscos associados à gestão do Sistema Interligado Nacional – SIN, no qual a geração hidrelétrica representa cerca de 91% de sua capacidade instalada, dependem da variabilidade natural das séries hidrológicas, têm sido realizadas reconstituições e atualizações sistemáticas das séries de vazões naturais afluentes aos reservatórios, buscando resgatar as características de magnitude e variabilidade destas variáveis, de modo a melhor administrar as incertezas do processo.

As séries de vazões naturais médias mensais eram originárias dos estudos conjuntos entre o Grupo Coordenador para a Operação Interligada – GCOI – e o Grupo Coordenador de Planejamento da Expansão – GCPS, antigos responsáveis pelos estudos de operação e de planejamento do SIN, respectivamente.

Essas séries não consideravam as retiradas de água para fins consuntivos e eram, em geral, obtidas separadamente das séries naturais médias diárias. Por sua vez, as séries de vazões naturais médias diárias foram inicialmente preparadas para atender aos estudos de controle de cheias e apenas recentemente passaram a ser utilizadas também nos estudos de previsão de afluências.

Como conseqüência da existência de processos de obtenção distintos para as duas séries, surgem incompatibilidades entre as médias mensais obtidas a partir das séries de vazões naturais médias diárias e as próprias séries de vazões naturais médias mensais. Como a cadeia de modelos de planejamento da operação eletroenergética envolve processos que utilizam estes dois tipos de séries, torna-se muito inadequada a ocorrência desta

incompatibilidade. Como exemplo, podem ser citados os diversos casos de vazões naturais incrementais, relativas à bacia existente entre aproveitamentos sucessivos, com valores mensais negativos.

Diante desse quadro, o Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, a partir de 2001, incorporou no seu Plano de Ação os estudos de reconstituição de séries de vazões naturais, necessários para se estabelecer uma base de dados hidrológicos qualificada e consistente para todos os locais de aproveitamentos hidrelétricos. Esses estudos visam atender todas as demandas da modelagem hidroenergética, com benefícios esperados, em termos econômicos e operacionais.

O objetivo geral dos estudos de consistência para obtenção das séries de vazões naturais das bacias dos rios Parnaíba, Jequitinhonha e Doce foi disponibilizar séries consistidas de vazões naturais totais e incrementais homogêneas, no que se refere à compatibilidade entre os dados médios diários (atualizados até dezembro de 2005), mensais e anuais (no período de janeiro de 1931 até dezembro de 2005), de tal forma que possam ser utilizadas na cadeia de planejamento da operação eletroenergética e hidráulica do Sistema Interligado Nacional.

Durante o desenvolvimento dos estudos, não somente para as bacias dos rios Parnaíba, Jequitinhonha e Doce, mas também para as demais bacias, os trabalhos foram acompanhados pela Comissão de Acompanhamento, formada por representantes do ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico, ANA – Agência Nacional de Águas, ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, EPE – Empresa de Pesquisa Energética e MME – Ministério de Minas e Energia. Esta Comissão teve participação em todas as discussões metodológicas e análises de resultados obtidos, através da leitura de documentos produzidos e da realização de reuniões periódicas.

O presente relatório consiste em uma compilação das diversas etapas de estudos desenvolvidos para obtenção das séries de vazões naturais médias diárias e médias mensais dos aproveitamentos hidrelétricos das bacias dos rios Parnaíba, Jequitinhonha e Doce.

Além desta introdução, o presente documento é composto dos seguintes capítulos:

2. Descrição da Bacia e dos Aproveitamentos Hidrelétricos, no qual são apresentadas as principais características fisiográficas das bacias dos rios Parnaíba, Jequitinhonha e Doce, além de uma caracterização das principais obras hidráulicas implantadas na bacia.

3. Base Cartográfica, onde se apresenta uma descrição do processo de elaboração da base cartográfica das bacias e das metodologias utilizadas na avaliação das áreas das bacias hidrográficas controladas pelos aproveitamentos e pelos postos fluviométricos.

4. Rede Hidrométrica, no qual, além da caracterização das redes pluviométrica e fluviométrica nas bacias, apresenta-se um diagnóstico destas redes no que concerne a sua distribuição nas bacias e suas densidades. O diagnóstico apresenta, ainda, uma avaliação das condições atuais de operação e manutenção dos postos visitados durante as viagens de inspeção realizadas no início dos estudos.

5. Estudos Pluviométricos, onde são apresentados os critérios para seleção dos postos pluviométricos utilizados no estudo e uma análise da consistência dos dados dos postos selecionados e da distribuição temporal e espacial das chuvas nas bacias.

6. Estudos Fluviométricos. Neste capítulo são apresentados os principais critérios utilizados na seleção das estações fluviométricas utilizadas nos estudos de reconstituição de vazões das bacias dos rios Parnaíba, Jequitinhonha e Doce e uma análise de consistência dos dados utilizados, incluindo curvas-chave e leituras limnimétricas. Ao final, foram obtidas as séries fluviométricas consistidas nas estações selecionadas.

7. Análise dos Dados Operativos dos Aproveitamentos, onde são apresentados os dados característicos dos aproveitamentos hidrelétricos das bacias dos rios Parnaíba, Jequitinhonha e Doce e uma análise de consistência desses dados.

8. Obtenção das Séries de Vazões Naturais Médias Diárias e Mensais, no qual são apresentadas as metodologias de obtenção das séries de vazões médias atuais e revistas. Ao final deste capítulo apresenta-se, ainda, um parecer sobre a necessidade de utilização de modelos chuva-deflúvio.

Posteriormente, no Capítulo **9. Análise Comparativa das Séries**, é apresentada uma análise comparativa entre as séries de vazões médias atuais e revistas.

10. Complementação da Rede Hidrométrica. Neste capítulo apresenta-se uma avaliação quanto à necessidade de complementação das redes hidrométricas existentes nas bacias dos rios Parnaíba, Jequitinhonha e Doce, visando à melhoria do controle das afluências e da representatividade das estações utilizadas para referência da modulação das vazões médias diárias.

11. Conclusões e Recomendações, onde são apresentadas as principais conclusões obtidas nos estudos de consistência de séries de vazões naturais nas bacias dos rios Parnaíba, Jequitinhonha e Doce e algumas recomendações baseadas na experiência adquirida durante o desenvolvimento do presente projeto.

Finalmente, no Capítulo **12. Bibliografia**, são listados estudos anteriores que serviram de fontes de consulta no decorrer do presente projeto, além da documentação elaborada durante o desenvolvimento dos estudos atuais.

O presente relatório possui, além do texto principal apresentado a seguir, uma coleção de anexos, conforme listados adiante. Alguns desses anexos são apresentados impressos ao final deste volume e nomeados, de acordo com a seqüência em que são referenciados, em algarismos arábicos. Outros anexos, por facilidades de edição e apresentação, são disponibilizados apenas em meio digital. Esses últimos são nomeados, de acordo com a seqüência em que são referenciados, pelas letras do alfabeto.

Anexos Impressos

Anexo 1 – Mapa de Localização da Bacia e dos Aproveitamentos Hidrelétricos.

Anexo 2 – Mapa de Localização das Estações Pluviométricas Selecionadas.

Anexo 3 – Diagrama de Disponibilidade de Dados Pluviométricos.

Anexo 4 – Mapa de Localização das Estações Fluviométricas Principais.

Anexo 5 – Diagrama de Disponibilidade de Dados Fluviométricos.

Anexo 6 – Quadro Resumo das Curvas-chave das Estações.

Anexo 7 – Diagrama de Disponibilidade de Dados Operativos.

Anexo 8 – Fichas Técnicas dos Aproveitamentos.

Anexo 9 – Mapa de Localização das Estações Fluviométricas Propostas.

Anexo 10 – Isoietas de Totais Pluviométricos Anuais.

Anexos em Meio Digital

Anexo A – Análise de Consistência de Dados Pluviométricos

Este anexo contém as planilhas utilizadas na análise de consistência dos dados pluviométricos, onde estão disponíveis os dados brutos e as séries preenchidas para os postos pluviométricos selecionados. Nas planilhas são apresentadas, também, as plotagens dos totais acumulados de cada posto contra os acumulados dos valores médios de cada grupo (curvas duplo-acumulativas).

Anexo B – Curvas-Chave das Estações Principais

Neste anexo encontram-se figuras ilustrativas das curvas-chave estabelecidas para todas as estações principais, além das tabelas ou equações estabelecidas e das medições de descarga consideradas.

Anexo C – Leituras de Régua Corrigidas

Este anexo apresenta a relação de todas as leituras de régua corrigidas durante a análise de consistência dos cotagramas de todas as estações analisadas. São apresentadas as leituras de régua originais e as corrigidas.

Anexo D – Fichas Descritivas das Estações Fluviométricas

O Anexo D contém as fichas descritivas das estações fluviométricas principais. Neste anexo, são apresentadas as fichas descritivas recebidas das entidades atualmente responsáveis pela operação das estações, assim como as fichas descritivas das estações fluviométricas principais, elaboradas pela HICON, que agregam outras informações recebidas sobre as estações, obtidas em fichas descritivas antigas elaboradas por outras entidades e em relatórios e estudos anteriores.

Anexo E – Base de Dados Fluviométricos Consistidos para as Estações Principais

As cotas médias diárias, as curvas-chave estabelecidas e as vazões médias diárias e mensais das estações fluviométricas principais obtidas após as diversas etapas de consistência são apresentadas no arquivo digital *ConsistênciaFlu.mdb*, que constitui a base de dados consistidos para o banco de dados HIDRO.

Anexo F – Dados Operativos Consistidos

Os dados operativos diários e mensais (nível do reservatório, vazão afluente, vazão defluente, vazão turbinada, vazão vertida, nível de jusante e geração média),

consistidos, são apresentados neste anexo. Os dados estão separados por pasta com o nome da cada uma das usinas e cobrem todo o período de dados disponíveis.

Anexo G – Planilhas da Análise de Consistência de Dados Operativos

Todas as planilhas utilizadas na análise de consistência dos dados operativos são disponibilizadas neste anexo. Além das planilhas de consistência dos dados diários e mensais propriamente ditas, são apresentadas as planilhas auxiliares (ou de verificação) que mostram gráficos obtidos a partir dos resultados das planilhas de consistência de dados diários, que permitem analisar o rendimento das usinas e, conseqüentemente, a confiabilidade dos dados de vazões turbinadas existentes.

Anexo H – Séries de Vazões Naturais

As séries de vazões naturais diárias e mensais objeto dos estudos são apresentadas neste anexo, separadas por pasta com o nome da cada uma das usinas.

Anexo I – Séries de Vazões de Uso Consuntivo

O volume diário para usos consuntivos diversos em cada reservatório, conforme fornecido pelo ONS, pode ser encontrado no arquivo *Series de vazoes de uso consuntivo.xls* apresentado no Anexo I. Os valores são apresentados tanto em nível diário quanto em nível mensal, reproduzindo a evolução cronológica dos usos consuntivos na bacia.

Anexo J – Séries de Vazões Evaporadas

As séries de vazões evaporadas apresentadas neste anexo foram fornecidas a partir dos vetores com valores médios diários fornecidos pelo ONS para cada aproveitamento em operação estudado.

Anexo L – Séries de Vazões Naturais sem Uso Consuntivo

Este anexo apresenta as séries de vazões naturais diárias e mensais para cada uma das usinas estudadas, sem considerar a parcela relativa às retiradas para uso consuntivo. As séries são separadas por pasta com o nome da respectiva usina.

Anexo M – Planilhas de Análise Comparativa

As planilhas padronizadas através das quais foi feita a análise comparativa entre as séries atuais e as séries revistas estão apresentadas neste anexo. As planilhas apresentam as principais estatísticas das séries diárias e mensais com foco em diferentes períodos, a saber:

- período de reconstituição (1931 a 2005);
- período crítico do Sistema Interligado Nacional – SIN (junho/1949 a novembro/1956);
- período anterior ao início de operação do aproveitamento;
- período posterior ao início de operação do aproveitamento.

Anexo N – Base de Dados Pluviométricos

Contém a base de dados utilizada nos estudos de consistência pluviométrica para as 3 bacias de interesse.

2. DESCRIÇÃO DAS BACIAS E SEUS APROVEITAMENTOS

2.1 BACIA DO RIO PARNAÍBA

2.1.1 CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS

A bacia hidrográfica do rio Parnaíba situa-se entre os paralelos 02º 50' e 11º 00' de latitude sul e meridianos 40º 30' e 47º 00' de longitude oeste. Em seu desemboque no Oceano Atlântico apresenta uma área de drenagem de aproximadamente 331.200 km², conforme delimitado e calculado na base cartográfica do projeto (escala 1:250.000).

O rio Parnaíba tem suas nascentes localizadas nos contrafortes da Chapada das Mangabeiras, a cerca de 700 m de altitude, e se desenvolve ao longo do Estado do Piauí desde o sul, na divisa com os estados do Tocantins e do Maranhão, até o litoral norte do Piauí, percorrendo cerca de 1.344 km até sua desembocadura no oceano. Sua declividade é acentuada das nascentes até as proximidades da Vila Santa Filomena, na cota de 270 m, sofrendo uma redução do declive de 35cm/km para 17cm/km nos últimos quilômetros do seu percurso.

É um rio perene, desde seu trecho inicial, e corre numa região de transição entre os rios de regime equatorial e os do nordeste. De maneira geral, pela margem esquerda recebe afluentes perenes e pela margem direita predominam os tributários temporários, oriundos do sertão semi-árido. Pela margem esquerda, seus principais afluentes são os rios das Balsas e Riachão; já pela margem direita, os rios Uruçuí Preto, Gurguéia, Itaueiras, Canindé, Poti e Longá.

2.1.2. OBRAS HIDRÁULICAS IMPLANTADAS NA BACIA

Desde a década de 70 o potencial hidrenergético do rio Parnaíba vem sendo explorado. Foi neste período que a única usina implantada em seu curso, a UHE Boa Esperança, iniciou sua operação. Até o ano de 2012 está prevista a construção de cinco novas usinas ao longo do rio Parnaíba.

O Quadro 2.1, a seguir, lista os principais aproveitamentos da bacia do rio Parnaíba considerados no atual estudo.

QUADRO 2.1
APROVEITAMENTOS DA BACIA DO RIO PARNAÍBA

UHE	CÓDIGO	RIO	OPERADORA	INÍCIO DO ENCHIMENTO	INÍCIO DA OPERAÇÃO
Ribeiro Gonçalves	34100020	Parnaíba	-	-	-
Uruçuí	34250000	Parnaíba	-	-	-
Boa Esperança	34450000	Parnaíba	CHESF	-	2/10/1970
Cachoeira	34500010	Parnaíba	-	-	-
Estreito	34500020	Parnaíba	-	-	-
Castelhano	34660000	Parnaíba	-	-	-

O Desenho apresentado no Anexo 1 apresenta um mapa de localização da bacia do rio Parnaíba e dos principais aproveitamentos hidrelétricos nela implantados.

As Figuras 2.1.1 e 2.1.2, a seguir, apresentam dois diagramas esquemáticos da bacia, mostrando a localização relativa dos aproveitamentos e suas áreas de drenagem totais e incrementais, além das estações fluviométricas utilizadas na reconstituição das séries de vazões naturais.

FIGURA 2.1.1
ÁREAS DE DRENAGEM TOTAIS E INCREMENTAIS DOS APROVEITAMENTOS NA BACIA DO RIO PARNAÍBA

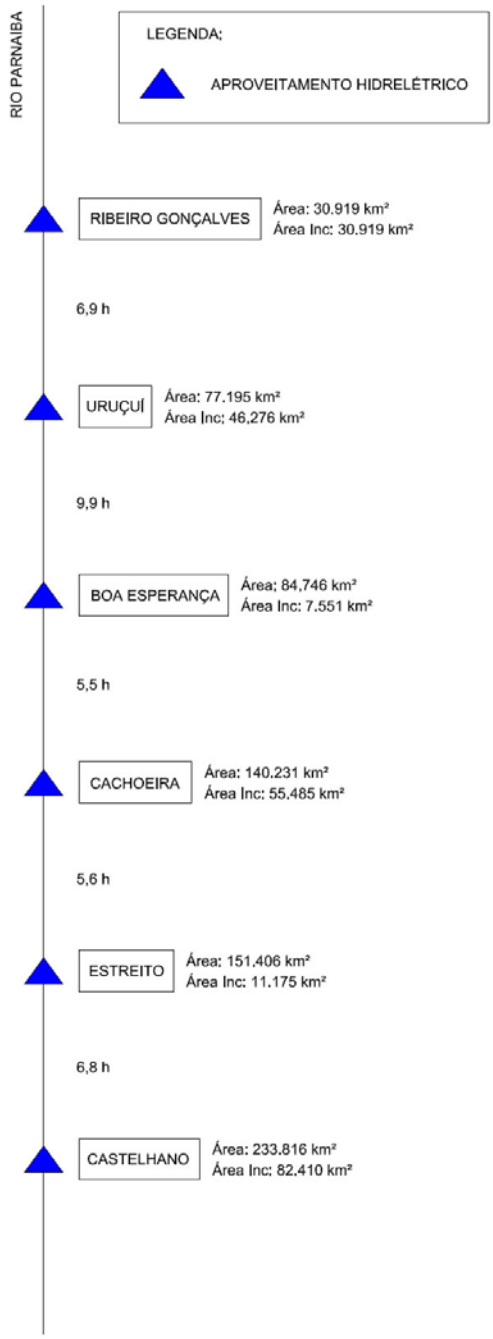
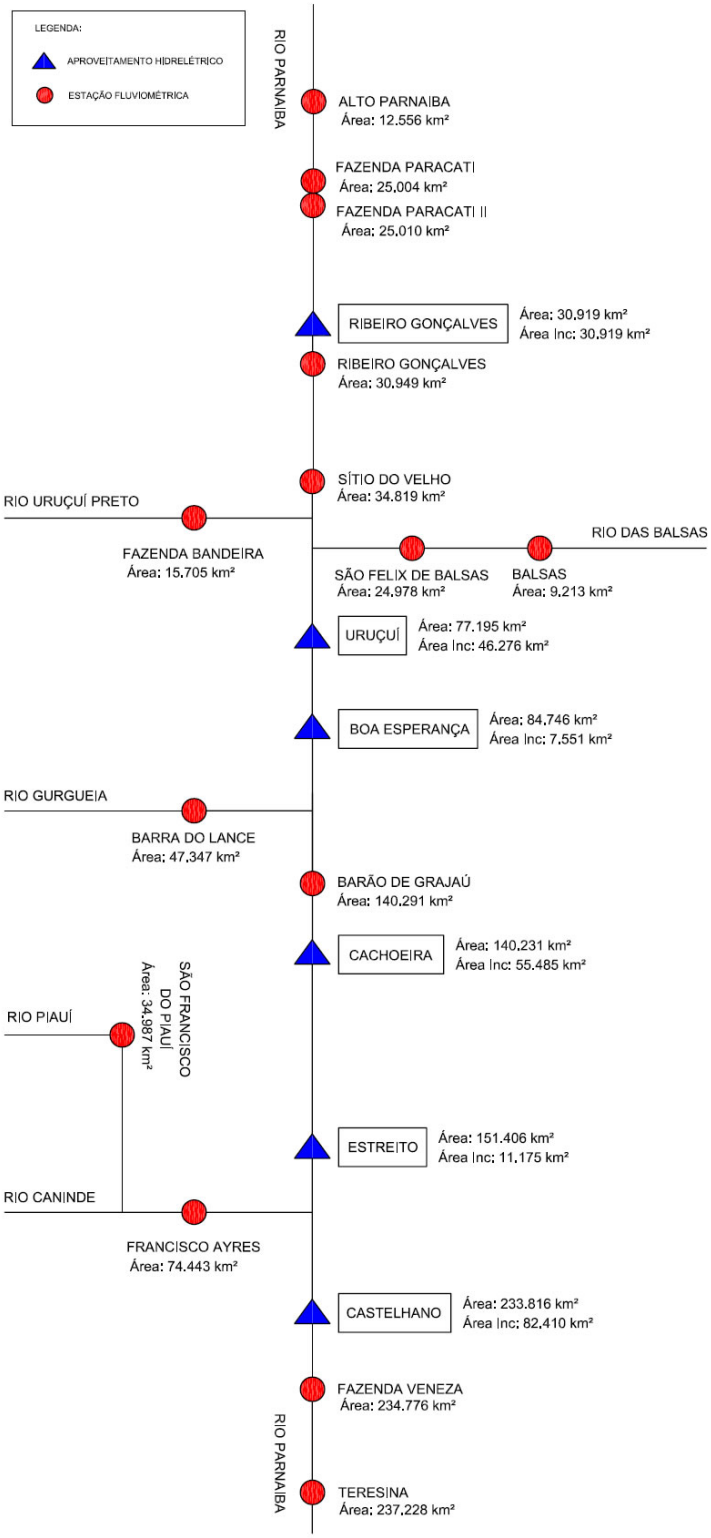


FIGURA 2.1.2
ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS UTILIZADAS NA RECONSTITUIÇÃO DE VAZÕES NATURAIS NA BACIA DO RIO PARNAÍBA



2.2 BACIA DO RIO JEQUITINHONHA

2.2.1 CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS

O rio Jequitinhonha tem suas nascentes localizadas próximo à cidade de Diamantina (MG), na Serra do Espinhaço, em torno das coordenadas 18º 30' de latitude Sul e 43º 35' de longitude Oeste, numa altitude de cerca de 1.200 m.

Desenvolve-se predominantemente no sentido nordeste, pelo Estado de Minas Gerais, atravessando o sudeste da Bahia até chegar à sua foz no Oceano Atlântico, próximo à cidade de Belmonte (BA).

A bacia está compreendida entre os paralelos 16º e 18º de latitude Sul e 39º e 44º de longitude Oeste, drenando uma área de cerca de 69.900 km², sendo 94,3% no trecho mineiro e 5,7% no trecho baiano. Tem como vizinhas as bacias do rio Pardo pelo norte, do rio Doce pelo sul e do rio São Francisco pelo oeste, tendo ao leste o Oceano Atlântico.

O rio Jequitinhonha tem como principais afluentes pela margem esquerda os rios Itacambiruçu, Salinas, São Pedro e São Francisco e, pela margem direita, os rios Araçuaí, Piauí e São Miguel.

Entre os principais usos da água praticados na bacia, podem ser citados a irrigação, a mineração e o abastecimento doméstico e industrial.

2.2.2. OBRAS HIDRÁULICAS IMPLANTADAS NA BACIA

Atualmente, existem dois aproveitamentos na bacia em fase de operação, as usinas de Irapé e Itapebi, ambos de construção recente. Além deles, a UHE Murta tem o início de sua operação previsto para até 2012.

O Quadro 2.2, a seguir, lista os principais aproveitamentos da bacia do rio Jequitinhonha considerados no atual estudo.

QUADRO 2.2
APROVEITAMENTOS DA BACIA DO RIO JEQUITINHONHA

UHE	CÓDIGO	RIO	OPERADORA	INÍCIO ENCHIMENTO	INÍCIO OPERAÇÃO
Irapé	54145080	Jequitinhonha	CEMIG	7/12/2005	-
Murta	54200080	Jequitinhonha	MURTA	-	-
Itapebi	54960080	Jequitinhonha	ITAPEBI	out/02	jan/03

O Desenho apresentado no Anexo 1 apresenta um mapa de localização da bacia do rio Jequitinhonha e dos principais aproveitamentos hidrelétricos nela implantados.

As Figuras 2.2.1 e 2.2.2, a seguir, apresentam dois diagramas esquemáticos da bacia, mostrando a localização relativa dos aproveitamentos e suas áreas de drenagem totais e

incrementais, além das estações fluviométricas utilizadas na reconstituição das séries de vazões naturais.

FIGURA 2.2.1
ÁREAS DE DRENAGEM TOTAIS E INCREMENTAIS DOS APROVEITAMENTOS NA BACIA DO RIO JEQUITINHONHA

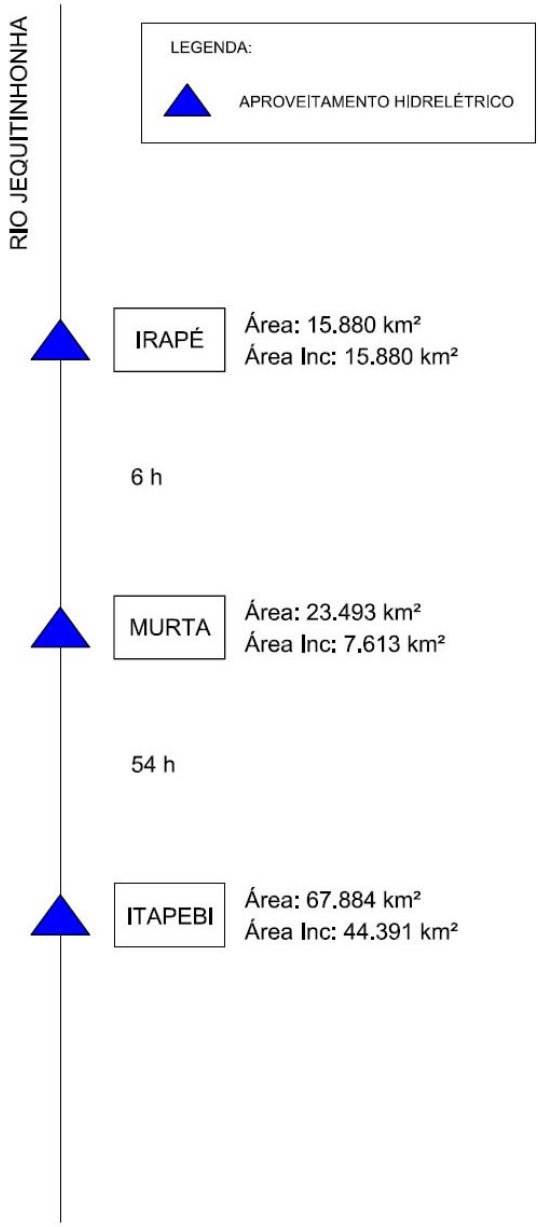
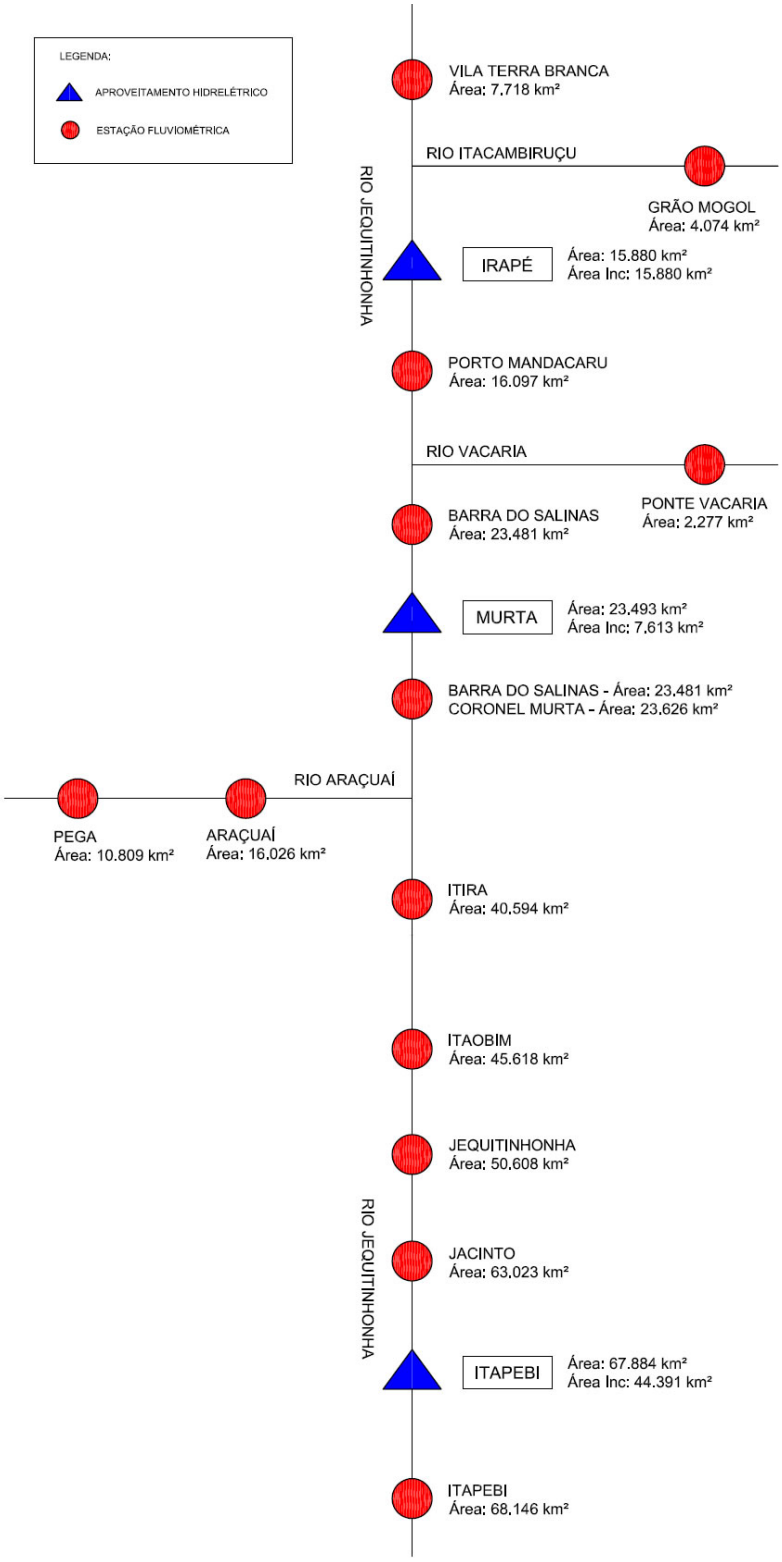


FIGURA 2.2.2
ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS UTILIZADAS NA RECONSTITUIÇÃO DE VAZÕES NATURAIS NA BACIA DO RIO JEQUITINHONHA



2.3 BACIA DO RIO DOCE

2.3.1 CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS

A bacia hidrográfica do rio Doce situa-se entre os paralelos 17º 45' e 21º 15' de latitude sul e os meridianos 29º 45' e 43º 45' de longitude oeste. Até o seu desemboque no Oceano Atlântico, nas proximidades da cidade de Regência (ES), este rio apresenta uma área de drenagem total de aproximadamente 83.300 km^2, dos quais 86% em terras mineiras e 14% em terras capixabas, aproximadamente.

É limitada ao norte pela serra Negra, divisor de águas entre as bacias dos rios Doce e Jequitinhonha, e pela serra de Aimorés. A oeste, o limite é a serra do Espinhaço, que separa a bacia em estudo da bacia do rio São Francisco. Já ao sul, é limitada pela serra da Mantiqueira, tendo como vizinhas as bacias dos rios Grande e Paraíba do Sul. A serra do Caparaó, onde se situa o Pico da Bandeira, localiza-se no limite sudeste.

Inicialmente denominado de rio Xopotó, o rio Doce tem suas nascentes nas serras da Mantiqueira e do Espinhaço, no estado de Minas Gerais, a cerca de 1.200 m de altitude e apresenta uma extensão total de 853 km até sua foz. Seguindo o rumo NE a partir da nascente, encontra o rio Piranga, no município de Senador Firmino, a 900 m de altitude. Ainda na mesma direção, desce as vertentes e, numa altitude de cerca de 390 m, próximo à cidade de Ponte Nova, encontra o ribeirão do Carmo, recebendo, então, o nome rio Doce.

O Alto rio Doce, que vai desde as nascentes até a foz do rio Piracicaba, no município de Ipatinga, atravessa inicialmente um relevo bastante movimentado, recebendo afluentes encachoeirados e, depois, uma região menos acidentada, porém ainda com cachoeiras como as do Óculos, Jacutinga e do Inferno.

No seu trecho Médio, de Ipatinga até a cachoeira de Baguari, o rio Doce apresenta primeiramente uma declividade relativamente fraca, com margens baixas e algumas ilhas. Depois dessa cachoeira, ainda no trecho médio até o seu limite na cidade de Baixo Guandu, o rio Doce reinicia um percurso em declividade acentuada, com barrancos, vales encaixados e corredeiras. A maior declividade do trecho médio do rio Doce, cerca de 4 m/km, ocorre exatamente entre as cidades de Aimorés e Baixo Guandu. Neste trecho, a direção predominante é a NE até Governador Valadares e SE até a foz do rio Manhuaçu.

No Baixo rio Doce, do limite entre os estados de Minas Gerais e Espírito Santo até o desemboque no Oceano Atlântico, o rio apresenta declividades mais suaves, cerca de 0,3 m/km, sendo classificado como rio de planície. Atravessa terrenos pouco ondulados até atingir a planície costeira, porém sem apresentar meandros acentuados. A direção Este é a predominante neste trecho.

Nesta bacia já houve uma das mais exuberantes florestas do Brasil. No entanto, a alta taxa de desmatamento, desenfreado e predatório, e a existência de um preponderante uso das terras para plantio de café e cacau, pasto e lavoura de subsistência, provocaram a erosão do solo e grandes mudanças no comportamento hidrossedimentométrico do rio.

Na zona rural encontram-se vastas áreas em estado avançado de desertificação, lagoas eutrofizadas, nascentes desprotegidas e processos erosivos. Da cobertura vegetal original, mais de 90% foi extinta. Do restante, menos de 1% encontra-se ainda em estágio primário.

2.3.3. OBRAS HIDRÁULICAS IMPLANTADAS NA BACIA

Dos dez aproveitamentos a serem contemplados pelo projeto na bacia do rio Doce, sete encontram-se em operação, sendo dois deles implantados na década de 50, outro na década de 70 e os quatro restantes implantados apenas recentemente.

O Quadro 2.3, a seguir, lista os principais aproveitamentos da bacia do rio Doce considerados no atual estudo.

QUADRO 2.3
APROVEITAMENTOS DA BACIA DO RIO DOCE

UHE	CÓDIGO	RIO	OPERADORA	INÍCIO ENCHIMENTO	INÍCIO OPERAÇÃO
Baú I	56337080	Doce	CAT-LEO	-	-
Candonga	56338075	Doce	CANDONGA	22/6/2004	7/9/2004
Guilman Amorim	56675085	Piracicaba	CEMIG	9/8/1997	2/11/1997
Sá Carvalho	56688085	Piracicaba	CEMIG	-	dez/51
Salto Grande MG	56819085	Santo Antônio	CEMIG	1º sem/1958	27/5/1958
Porto Estrela	56820075	Santo Antônio	PORTO ESTRELA	jun/01	set/01
Baguari	56846075	Doce	EXTREMAS SE	-	-
Traíra II	56861085	Suaçuí Grande	EXTREMAS SE	-	-
Aimorés	56990777	Doce	CEMIG	22/4/2005	28/6/2005
Mascarenhas	56992280	Doce	ESCELSA	-	21/9/1973

O Desenho apresentado no Anexo 1 apresenta um mapa de localização da bacia do rio Doce e dos principais aproveitamentos hidrelétricos nela implantados.

As Figuras 2.3.1 e 2.3.2, a seguir, apresentam dois diagramas esquemáticos da bacia, mostrando a localização relativa dos aproveitamentos e suas áreas de drenagem totais e incrementais, além das estações fluviométricas utilizadas na reconstituição das séries de vazões naturais.

FIGURA 2.3.1
ÁREAS DE DRENAGEM TOTAIS E INCREMENTAIS DOS APROVEITAMENTOS NA BACIA DO RIO DOCE

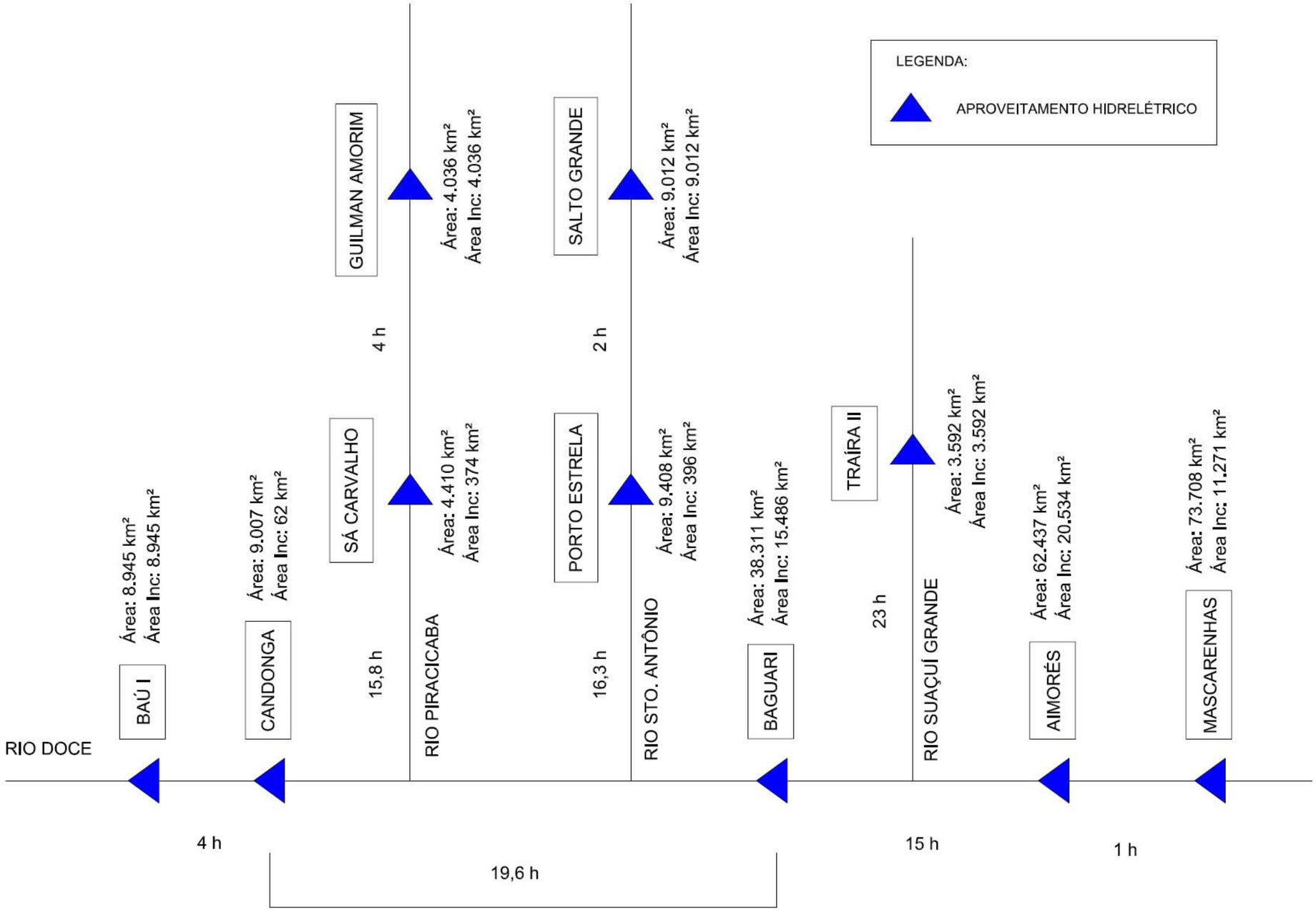
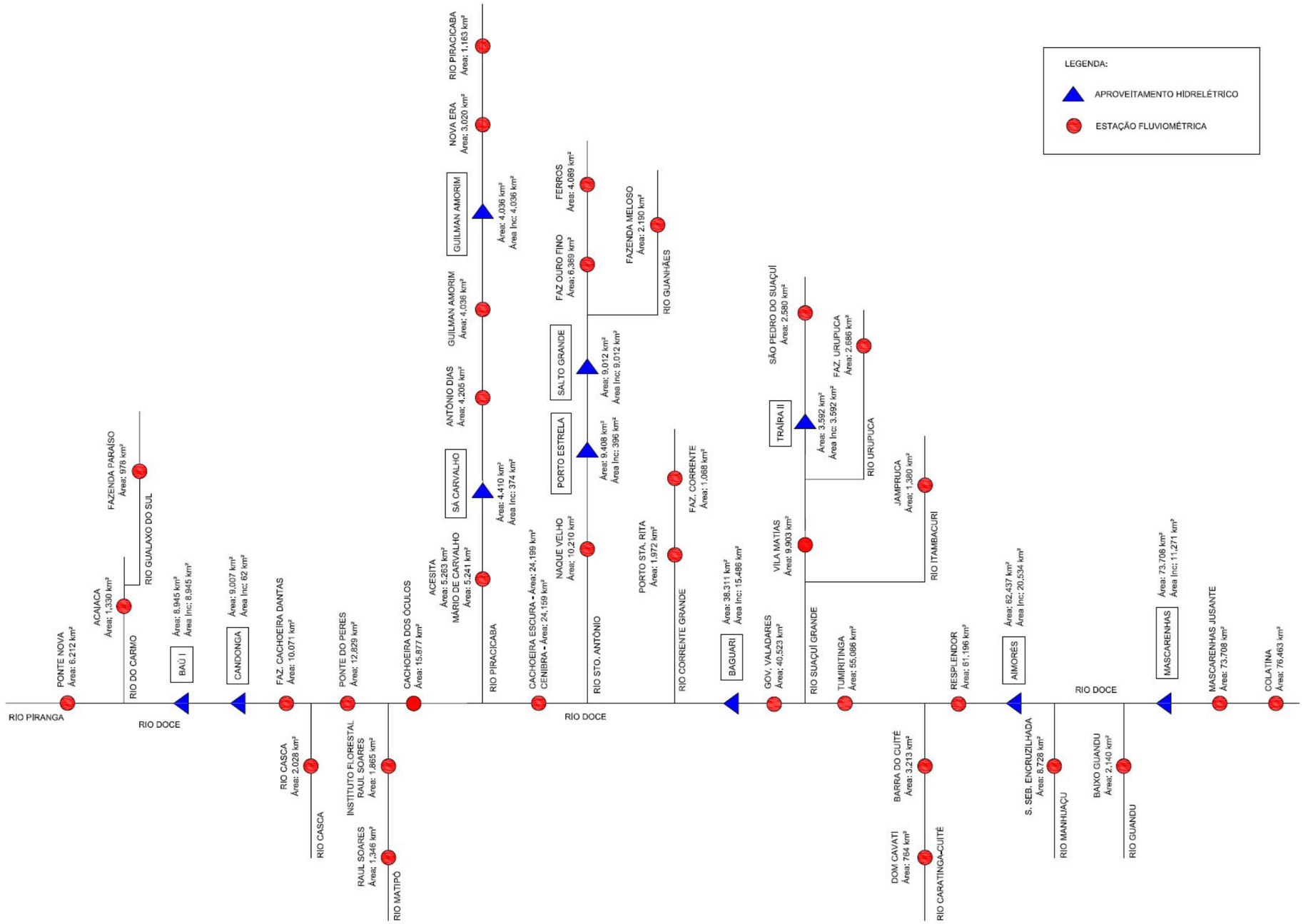


FIGURA 2.3.2
ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS UTILIZADAS NA RECONSTITUIÇÃO DAS SÉRIES NA BACIA DO RIO DOCE



3. BASE CARTOGRÁFICA

As bases cartográficas das bacias dos rios Parnaíba, Jequitinhonha e Doce foram elaboradas a partir das cartas planialtimétricas do IBGE listadas nas Figuras 3.1, 3.2 e 3.3 a seguir, todas na escala 1:250.000.

FIGURA 3.1
CARTAS PLANIALTIMÉTRICAS (1:250.000) UTILIZADAS NA ELABORAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA DO RIO PARNAÍBA

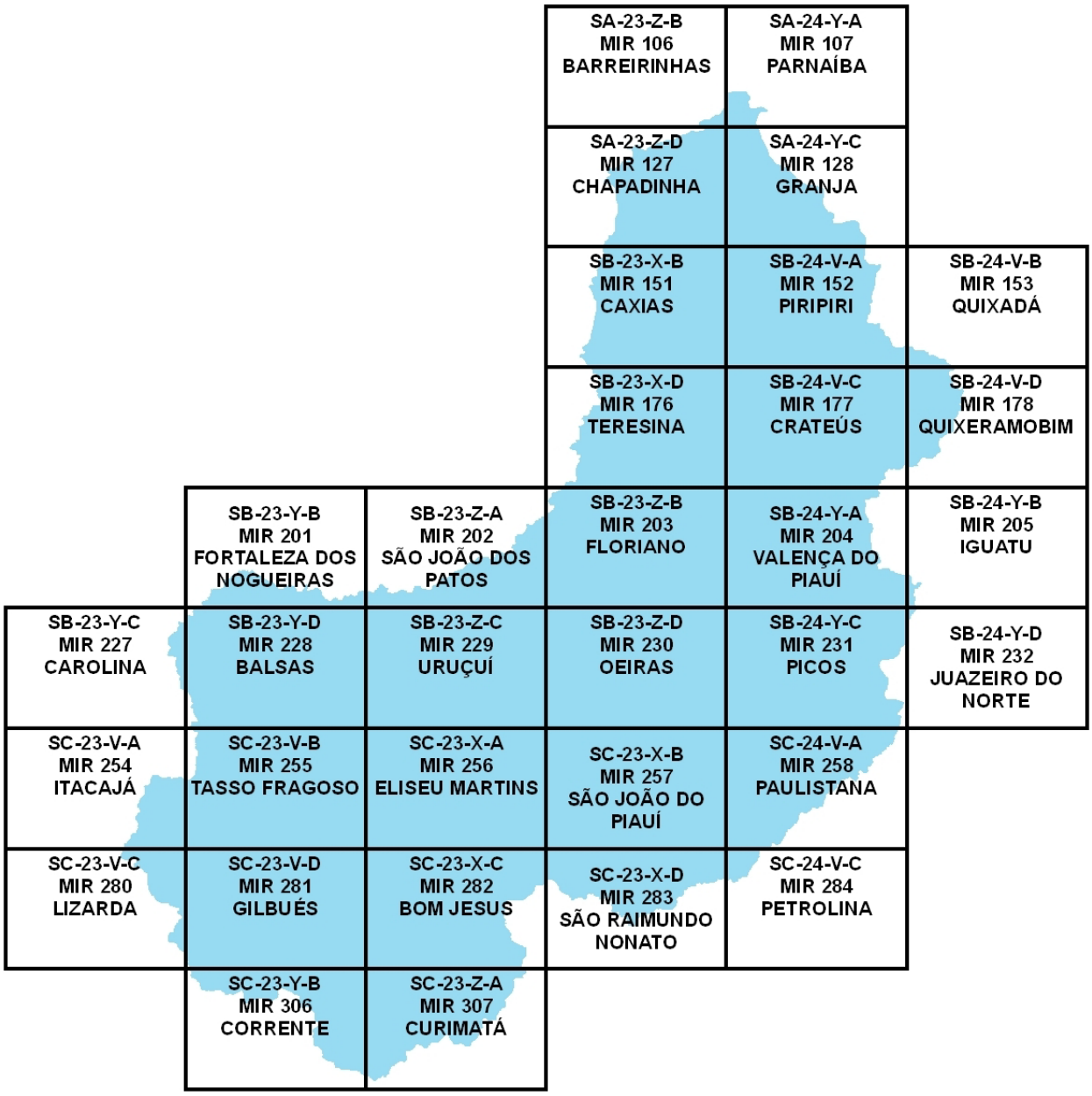


FIGURA 3.2
CARTAS PLANIALTIMÉTRICAS (1:250.000) UTILIZADAS NA ELABORAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA DO RIO JEQUITINHONHA

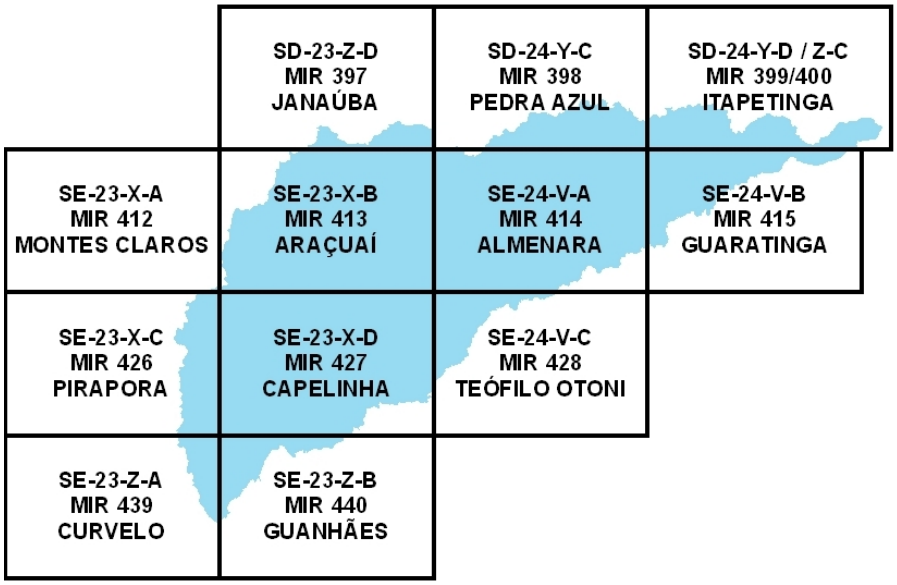
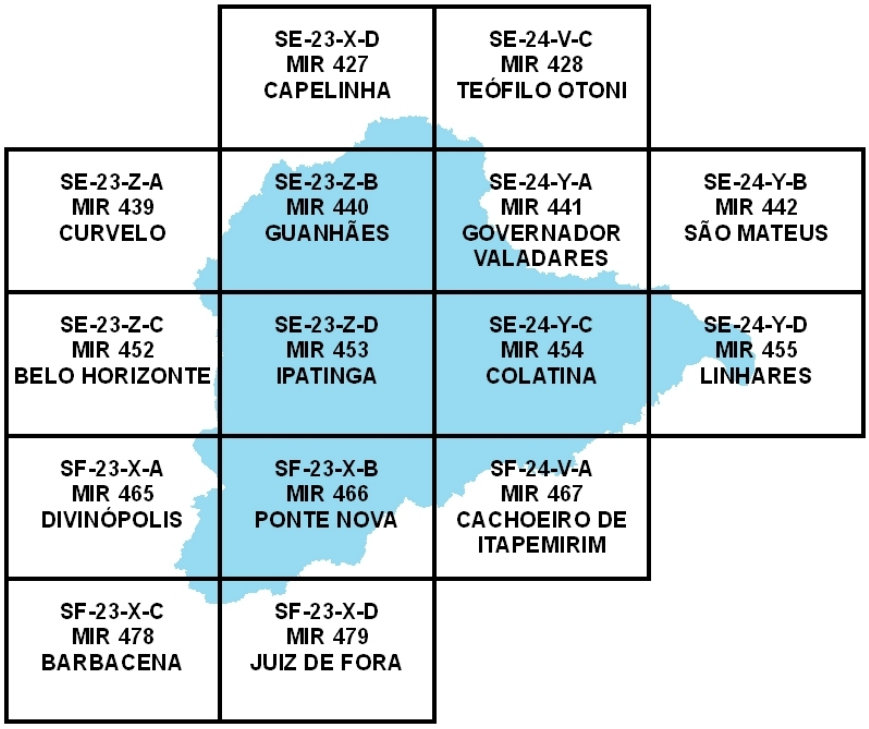


FIGURA 3.3
CARTAS PLANIALTIMÉTRICAS (1:250.000) UTILIZADAS NA ELABORAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA DO RIO DOCE



As cartas foram escaneadas e georreferenciadas, tomando o cuidado para a preservação das dimensões (distâncias) que cada uma representa. Dessa forma, criou-se uma carta-imagem para cada carta do IBGE, que serve como fundo na base cartográfica e como apoio para a delimitação das áreas de drenagem.

O sistema de projeção da superfície adotado foi o WGS84 e os arquivos resultantes são apresentados no formato *dwg*.

As bases planimétricas foram vetorizadas, com a digitalização de informações constantes das cartas do IBGE (digitalização das entidades para GIS), além da localização dos aproveitamentos hidrelétricos.

As informações constantes na base obtidas das cartas do IBGE foram dispostas em diferentes camadas (layers), conforme listado a seguir:

- Hidrografia de 1ª ordem;
- Hidrografia de 2ª ordem;
- Hidrografia de 3ª ordem;
- Reservatórios;
- Perímetro urbano, cidades e lugarejos;
- Linha de transmissão de energia;
- Estrada pavimentada federal;
- Estrada pavimentada estadual;
- Estrada de ferro;
- Limite Estadual e Municipal;
- Campo de pouso e aeroporto;
- Toponímias.

Posteriormente, foram acrescidas as seguintes informações:

- Usinas hidrelétricas;
- Estações fluviométricas;
- Estações pluviométricas;
- Limites de áreas de drenagem dos aproveitamentos;
- Limites de áreas de drenagem das estações fluviométricas.

Foram utilizados símbolos diferenciados para usina (barra), estação fluviométrica (triângulo) e estação pluviométrica (círculo).

Inicialmente, foi verificado o posicionamento georreferenciado dos aproveitamentos existentes e em expansão, tendo sido lançados também os pontos de localização das estações fluviométricas. As coordenadas geográficas levantadas durante a visita de inspeção também foram utilizadas nessa atividade, para verificar as coordenadas obtidas de outras fontes.

Basicamente, foram consideradas quatro fontes de informação: as coordenadas obtidas durante a inspeção de campo; os dados das usinas recebidos do ONS; os dados das estações disponíveis no banco de dados Hidroweb da ANA; e as fichas descritivas das estações.

Quando havia mais de uma fonte de informação, adotou-se a seguinte ordem de prevalência para a localização das usinas: primeiro, as coordenadas levantadas durante a viagem de campo; depois, as coordenadas fornecidas pelo ONS. Para as estações fluviométricas, foi adotada a seguinte ordem de prevalência: primeiro, as coordenadas levantadas durante a

viagem de campo; segundo, as coordenadas obtidas nas fichas descritivas; terceiro, as coordenadas extraídas do Hidroweb.

Após a delimitação e cálculo das áreas de contribuição das bacias hidrográficas aos aproveitamentos hidrelétricos e às estações fluviométricas, foi realizada uma comparação dos resultados obtidos com os valores conhecidos anteriormente.

Para comparação com os valores das áreas de drenagem das estações, quando havia mais de uma fonte de informação com valores diferentes, adotou-se o valor das fichas descritivas.

Admitiu-se como insignificante uma diferença igual ou inferior a 3% entre o valor da área de drenagem conhecido anteriormente e o obtido no presente estudo.

As diferenças superiores a 3% foram consideradas significativas, de modo que, para esses locais, foi verificada mais uma vez a delimitação e o cálculo da área de drenagem.

O Quadro 3.1, a seguir, apresenta as áreas de drenagem calculadas pela Hicon para os aproveitamentos hidrelétricos estudados, assim como as áreas oficiais fornecidas pelo ONS. Neste Quadro, também são apresentadas as coordenadas destes aproveitamentos.

Para efeito de transferência de vazões entre os postos fluviométricos e os locais das usinas foram sempre empregadas as áreas de drenagem delimitadas pela Hicon, por terem sido todas fruto de uma mesma metodologia aplicada a uma base cartográfica única, portanto, com erros relativos menores.

QUADRO 3.1
ÁREAS DE DRENAGEM DAS USINAS ESTUDADAS

Nome	Rio	Área Hicon (km²)	Área Oficial (km²)	Latitude	Longitude
BACIA DO RIO PARNAÍBA					
Ribeiro Gonçalves	Parnaíba	30.919	32.754	-07:34:23	-45:17:24
Uruçuí	Parnaíba	77.195	77.762	-07:14:06	-44:33:58
Boa Esperança	Parnaíba	84.746	87.500	-06:44:53	-43:34:16
Cachoeira	Parnaíba	140.231	139.500	-06:45:19	-43:03:39
Estreito	Parnaíba	151.406	156.656	-06:19:00	-42:51:17
Castelhano	Parnaíba	233.816	241.700	-05:44:20	-43:05:28
BACIA DO RIO JEQUITINHONHA					
Irapé	Jequitinhonha	15.880	16.200	-16:44:16	-42:34:29
Murta	Jequitinhonha	23.493	23.900	-16:37:01	-42:17:00
Itapebi	Jequitinhonha	67.884	68.100	-15:58:09	-39:35:28
BACIA DO RIO DOCE					
Baú I	Doce	8.945	8.819	-20:15:00	-42:53:00
Candonga	Doce	9.007	8.900	-20:12:27	-42:51:17
Baguari	Doce	38.311	38.350	-19:01:59	-42:07:01
Aimorés	Doce	62.437	62.167	-19:27:23	-41:05:41
Mascarenhas	Doce	73.708	73.487	-19:30:03	-40:55:07
Guilman Amorim	Piracicaba	4.036	4.186	-19:42:29	-42:57:36
Sá Carvalho	Piracicaba	4.410	4.369	-19:38:42	-42:50:58
Salto Grande MG	Santo Antônio	9.012	8.975	-19:08:46	-42:44:56
Porto Estrela	Santo Antônio	9.408	9.326	-19:06:59	-42:39:47
Traíra II	Suaçuí Grande	3.592	3.610	-18:22:01	-42:31:01

O Quadro 3.2, a seguir, apresenta as áreas de drenagem calculadas pela Hicon para as estações fluviométricas principais, assim como as áreas fornecidas no Hidroweb e nas fichas descritivas das estações.

QUADRO 3.2
ÁREAS DE DRENAGEM DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS PRINCIPAIS

Nome	Código	Responsável	Rio	Área Hicon (km²)	Área Hidroweb (km²)	Área Ficha Descritiva (km²)
BACIA DO RIO PARNAÍBA						
ALTO PARNAÍBA	34020000	ANA	Parnaíba	12.556	13.600	13.600
RIBEIRO GONÇALVES	34060000	ANA	Parnaíba	30.949	32.700	32.700
SÍTIO DO VELHO	34070000	ANA	Parnaíba	34.819	36.000	36.047
FAZENDA BANDEIRA	34090000	ANA	Uruçui	15.705	14.700	14.700
BALSAS	34130000	ANA	das Balsas	9.213	8.800	-
SÃO FÉLIX DAS BALSAS	34170000	ANA	das Balsas	24.978	22.800	22.800
BARRA DO LANCE	34270000	ANA	Gurgueia	47.347	48.400	48.400
BARÃO DE GRAJAÚ	34311000	ANA	Parnaíba	140.291	140.240	140.242
SÃO FRANCISCO DO PIAUÍ	34571000	ANA	Piauí	34.987	35.000	34.577
FRANCISCO AYRES	34600000	ANA	Canindé	74.443	73.900	74.121
FAZENDA VENEZA	34660000	ANA	Parnaíba	234.776	242.500	267.730
TERESINA	34690000	ANA	Parnaíba	237.228	270.000	269.823
BACIA DO RIO JEQUITINHONHA						
VILA TERRA BRANCA - JUSANTE	54010005	ANA	Jequitinhonha	7.718	7.780	-
PORTO MANDACARU	54150000	ANA	Jequitinhonha	16.097	16.343	16.343
BARRA DO SALINAS	54195000	ANA	Jequitinhonha	23.481	23.815	23.815
CORONEL MURTA	54200000	ANA	Jequitinhonha	23.626	23.981	-
ARAÇUAI	54500000	ANA	Araçuai	16.026	16.230	15.400
ITIRA	54530000	ANA	Jequitinhonha	40.594	39.394	39.394
ITAOBIM	54580000	ANA	Jequitinhonha	45.618	45.819	45.819
JEQUITINHONHA	54710000	ANA	Jequitinhonha	50.608	53.298	53.298
JACINTO	54780000	ANA	Jequitinhonha	63.023	63.300	62.365
ITAPEBI	54950000	ANA	Jequitinhonha	68.146	67.769	67.769
BACIA DO RIO DOCE						
PONTE NOVA	56110000	ANA	Piranga	6.212	6.197	-
PONTE NOVA - JUSANTE	56110005	ANA	Piranga	6.233	6.132	6.217
FAZENDA PARAÍSO	56240000	ANA	Gualaxo do Sul	978	857	857
ACAIACA	56335000	ANA	do Carmo	1.330	1.330	-
ACAIACA - JUSANTE	56335001	ANA	do Carmo	1.334	1.371	1.371
NOVA ERA	56660000	ANA	Piracicaba	3.020	3.163	-
ACESITA	56695000	ANA	Piracicaba	5.263	5.130	-
MÁRIO DE CARVALHO	56696000	ANA	Piracicaba	5.241	5.060	5.060
CACHOEIRA ESCURA	56720000	ANA	Doce	24.199	24.204	-
FERROS	56775000	ANA	Santo Antônio	4.089	4.058	-
FAZENDA OURO FINO	56776500	CEMIG	Santo Antônio	6.369	6.380	-
FAZENDA MELOSO	56810000	CEMIG	Guanhães	2.190	2.190	-

Nome	Código	Responsável	Rio	Área Hicon (km²)	Área Hidroweb (km²)	Área Ficha Descritiva (km²)
NAQUE VELHO	56825000	ANA	Santo Antônio	10.210	10.170	10.170
FAZENDA CORRENTE	56845000	ANA	Corrente Grande	1.068	1.064	1.064
GOV. VALADARES	56850000	ANA	Doce	40.523	39.828	39.828
SÃO PEDRO DO SUAÇUÍ	56860000	ANA	Suaçuí Grande	2.580	2.610	2.561
STA MARIA DO SUAÇUÍ	56870000	ANA	São Félix	624	670	907
FAZENDA URUPUCA	56880000	ANA	Urupuca	2.686	2.670	-
VILA MATIAS - MONTANTE	56891900	ANA	Suaçuí Grande	9.903	10.200	10.189
TUMIRITINGA	56920000	ANA	Doce	55.086	55.425	55.425
RESPLENDOR	56948000	ANA	Doce	61.196	61.400	-
SÃO SEBASTIÃO DA ENCRUZILHADA	56990000	ANA	Manhuaçu	8.728	8.810	8.454
BAIXO GUANDU	56992000	ANA	Guandu	2.140	2.135	2.135
CÓRREGO DO PIABA	56993551	ANA	Santa Joana	886	873	-
COLATINA	56994500	ANA	Doce	76.463	75.800	72.765

Durante a elaboração da metodologia para reconstituição das séries de vazões naturais, verificou-se a necessidade do cálculo das áreas de outras estações adicionais, que não haviam sido realizadas até o Relatório de Base Cartográfica. Estas áreas são apresentadas no Quadro 3.3, a seguir.

QUADRO 3.3
ÁREAS DE DRENAGEM DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS ADICIONAIS

Nome	Código	Responsável	Rio	Área Hicon (km²)	Área Hidroweb (km²)	Área Ficha Descritiva (km²)
BACIA DO RIO PARNAÍBA						
FAZENDA PARACATI I	34040000	ANA	Parnaíba	25.004	26.000	26.000
FAZENDA PARACATI II	34040500	ANA	Parnaíba	25.010	-	-
BENEDITO LEITE	34202000	SUDENE	Parnaíba	77.199	77.100	-
CRISTIANO CASTRO I	34250000	ANA	Gurgueia	31.066	31.500	-
CRISTIANO CASTRO II	34251000	ANA	Gurgueia	31.100	31.500	-
FLORIANO	34310000	ANA	Parnaíba	140.295	135.550	-
ITAUEIRA	34350000	ANA	Itaueiras	4.352	4.220	4.224
FAZENDA TALHADA	34480000	ANA	Canindé	29.064	28.700	28.700
OUTEIRO	34610000	ANA	Canindé	74.490	76.970	-
BACIA DO RIO JEQUITINHONHA						
VILA TERRA BRANCA	54010000	ANA	Jequitinhonha	7.718	7.780	-
GRÃO MOGOL	54110002	ANA	Itacambirucu	4.074	4.100	4.150
PONTE VACARIA	54165000	ANA	Vacaria	2.277	2.556	2.556
PEGA	54390000	ANA	Araçuaí	10.809	11.000	10.099
UHE ITAPEBI - BARRAMENTO	54960080	ITAPEBI	Jequitinhonha	68.126	67.769	-

Nome	Código	Responsável	Rio	Área Hicon (km²)	Área Hidroweb (km²)	Área Ficha Descritiva (km²)
BACIA DO RIO DOCE						
FAZENDA OCIDENTE	56337000	ANA	Gualaxo do Norte	538	531	531
RIO CASCA	56415000	ANA	Casca	2.028	2.036	2.036
FAZENDA CACHOEIRA DANTAS	56425000	ANA	Doce	10.071	10.079	10.079
PONTE DO PERES	56430000	ANA	Doce	12.829	12.280	-
RAUL SOARES	56485000	ANA	Matipó	1.346	1.386	-
CACHOEIRA DO ÓCULOS - MONTANTE	56539000	ANA	Doce	15.877	15.836	15.836
NOVA ERA IV	56659998	ANA	Piracicaba	3.020	3.203	3.203
NOVA ERA - MONTANTE	56659999	ANA	Piracicaba	3.020	3.060	-
ANTÔNIO DIAS	56681000	ANA	Piracicaba	4.205	4.510	-
CENIBRA	56719998	ANA	Doce	24.159	24.204	24.245
PORTO SANTA RITA	56846000	ANA	Corrente Grande	1.972	1.965	1.965
UHE TRONQUEIRAS	56846480	CEMIG	Tronqueiras	540	510	-
VILA MATIAS	56892000	ANA	Suaçuí Grande	9.903	10.191	-
JAMPRUCA	56915500	ANA	Itambacuri	1.380	1.390	1.264
BARRA DO CUIETÉ	56940000	ANA	Cuité	3.213	3.250	
RESPLENDOR - JUSANTE	56948005	ANA	Doce	61.196	61.610	61.610
COLATINA - JUSANTE	56994502	ANA	Doce	76.463	75.800	-

4. REDE HIDROMÉTRICA

O presente capítulo tem como objetivo apresentar o panorama atual de monitoramento hidrometeorológico nas bacias dos rios Parnaíba, Jequitinhonha e Doce.

4.1. BACIA DO RIO PARNAÍBA

A bacia do rio Parnaíba, em seu desemboque no Oceano Atlântico, drena uma área de 331.200 km². Sua rede hidrometeorológica é composta por 131 estações fluviométricas e 406 pluviométricas, além dos registros operativos da usina de Boa Esperança, localizada no curso principal da bacia. Além dessa usina, foram projetados, para a bacia do rio Parnaíba, mais 5 aproveitamentos hidrelétricos, com entrada em operação prevista até o ano de 2012.

Do total de estações, 15 fluviométricas e 3 pluviométricas estariam relacionadas com a Resolução ANEEL 396, conforme inventário de estações da ANA. Essas estações fluviométricas têm como responsáveis/operadores: ANA/CPRM (12); CHESF (2); e SUDENE (1). Em dez estações da ANA e uma estação da SUDENE, consta a CHESF como código adicional, o que provavelmente representa um convênio entre a agência e o agente de geração.

Pelo total de postos, a rede de observação teria uma taxa de 2.528 km² por estação fluviométrica e 816 km² por posto pluviométrico. No entanto, muitas dessas estações encontram-se desativadas. Continuam em operação, segundo banco de dados Hidroweb, apenas 83 estações fluviométricas e 305 postos pluviométricos.

Os registros hidrometeorológicos na bacia do rio Parnaíba, no tocante à chuva, iniciaram-se ainda na década de 1910. Quanto aos níveis d'água e medições de vazão dos rios, os registros foram iniciados apenas na década de 1950.

Os Quadros 4.1 e 4.2, a seguir, apresentam, conforme banco de dados Hidroweb, a distribuição da rede hidrometeorológica por entidade responsável pela operação das estações fluviométricas e pluviométricas, respectivamente, em operação ou desativadas.

QUADRO 4.1
ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS POR ENTIDADE NA BACIA DO RIO PARNAÍBA

RESPONSÁVEL	OPERADOR	ESTAÇÕES
ANA	CPRM	49
ANA	ANA	26
CHESF	CHESF	3
COGERH	COGERH	9
DNIT	DNIT	2
DNOCS	DNOCS	26
SUDENE	SUDENE	16
TOTAL		**131**

QUADRO 4.2
ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS POR ENTIDADE NA BACIA DO RIO PARNAÍBA

RESPONSÁVEL	OPERADOR	ESTAÇÕES
ANA	CPRM	49
ANA	ANA	4
DEPV	DEPV	1
DNOCS	DNOCS	40
EMATER	EMATER	52
FUNCEME	FUNCEME	23
INMET	INMET	21
SNIRH-MA	SNIRH-MA	2
SUDENE	SUDENE	214
TOTAL		**406**

Dessa rede, durante o desenvolvimento dos estudos de consistência de vazões naturais, inicialmente foram pré-selecionadas 25 estações fluviométricas consideradas mais representativas para o estudo.

Após um refinamento nessa seleção, baseado na representatividade das estações (localização na bacia, extensão dos registros e qualidade dos dados até então recebidos e analisados), foi definido um conjunto de estações principais, totalizando 20 (vinte) estações fluviométricas, conforme apresentado mais adiante (capítulo 6).

Considerando esta pré-seleção, foram definidas as estações mais importantes a serem inspecionadas durante a viagem de campo. O Quadro 4.3, a seguir, apresenta a listagem das estações efetivamente inspecionadas, com as áreas de drenagem calculadas no presente estudo.

QUADRO 4.3
ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS INSPECIONADAS NA BACIA DO RIO PARNAÍBA

NOME	CÓDIGO	CURSO D'ÁGUA	ÁREA DE DRENAGEM (km²)	RESPONSÁVEL
UHE Boa Esperança - Jusante	34219081	Parnaíba	84.746	CHESF
Barão de Grajaú	34311000	Parnaíba	140.291	ANA
Fazenda Veneza	34660000	Parnaíba	234.776	ANA
Teresina	34690000	Parnaíba	237.228	ANA

4.2 BACIA DO RIO JEQUITINHONHA

A bacia do rio Jequitinhonha envolve até a sua foz uma área de 69.900 km², sendo que 94,3 % situam-se no estado de Minas Gerais e 5,7% no estado da Bahia. Para o monitoramento hidrometeorológico desta região, conta-se com 72 estações fluviométricas e 152 pluviométricas. Nestes números totais estão consideradas as estações desativadas, resultando uma taxa de 970 km² por estação fluviométrica e 460 km² por posto pluviométrico. Do total de estações, 5 fluviométricas e 4 pluviométricas estariam relacionadas com a Resolução ANEEL 396.

Continuam em operação, segundo banco de dados Hidroweb, apenas 39 estações fluviométricas e 102 postos pluviométricos.

Para o monitoramento das vazões na bacia, contribuem também os dados operativos das usinas Itapebi e Irapé, estando prevista ainda a implantação do aproveitamento de Murta.

Na bacia, os registros fluviométricos iniciaram na década de 1930, enquanto os primeiros dados pluviométricos foram obtidos no final da década de 1910.

Os Quadros 4.4 e 4.5, a seguir, apresentam, conforme banco de dados Hidroweb, a distribuição da rede hidrometeorológica por entidade responsável pela operação das estações fluviométricas e pluviométricas, respectivamente, em operação ou desativadas.

QUADRO 4.4
ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS POR ENTIDADE NA BACIA DO RIO JEQUITINHONHA

RESPONSÁVEL	OPERADOR	ESTAÇÕES
ANA	CPRM	30
ANA	ANA	24
CEMIG	CEMIG	13
FURNAS	FURNAS	4
ITAPEBI	ITAPEBI	1
TOTAL		**72**

QUADRO 4.5
ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS POR ENTIDADE NA BACIA DO RIO JEQUITINHONHA

RESPONSÁVEL	OPERADOR	ESTAÇÕES
ANA	CPRM	41
ANA	ANA	21
CEMIG	CEMIG	7
CEPLAC	CEPLAC	3
COPASA	COPASA	36
CVRD	CVRD	2
DAEE-MG	DAEE-MG	5
DNOCS	DNOCS	2
FURNAS	FURNAS	1
INMET	INMET	10
ITAPEBI	ITAPEBI	4
SUDENE	SUDENE	20
TOTAL		**152**

Dessa rede, durante o desenvolvimento dos estudos de consistência de vazões naturais, inicialmente, foram pré-selecionadas 22 estações fluviométricas consideradas mais representativas para o estudo.

Após um refinamento nessa seleção, baseado na representatividade das estações (localização na bacia, extensão dos registros e qualidade dos dados até então recebidos e analisados), foi definido um conjunto de estações principais, totalizando 14 estações fluviométricas, conforme apresentado mais adiante (capítulo 6).

Considerando esta pré-seleção, foram definidas as estações mais importantes a serem inspecionadas durante a viagem de campo. O Quadro 4.6, a seguir, apresenta a listagem das estações efetivamente inspecionadas com as áreas de drenagem calculadas no presente estudo.

QUADRO 4.6
ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS INSPECIONADAS NA BACIA DO RIO JEQUITINHONHA

NOME	CÓDIGO	CURSO D'ÁGUA	ÁREA DE DRENAGEM (km²)	RESPONSÁVEL
Araçuaí	54500000	Araçuaí	16.026	ANA
Jequitinhonha	54710000	Jequitinhonha	50.608	ANA
Jacinto	54780000	Jequitinhonha	63.023	ANA
Itapebi	54950000	Jequitinhonha	68.146	ANA

4.3 BACIA DO RIO DOCE

A bacia do rio Doce possui área de drenagem total de 83.300 km², tendo 86% de sua área em terras mineiras e 14% em terras capixabas. Existem sete aproveitamentos hidrelétricos em operação na bacia e mais três projetados, com entrada em operação prevista até 2012.

O número total de estações fluviométricas cadastradas nessa bacia é 269, havendo mais 280 postos pluviométricos registrados. Desse modo, a relação entre a área total e o número de estações fluviométricas é de 310 km² por estação, enquanto para a pluviometria é de 298 km² por posto. Do total de estações, 49 fluviométricas e 19 pluviométricas estariam relacionadas com a Resolução ANEEL 396.

As primeiras estações fluviométricas da bacia começaram a operar na década de 1920, enquanto os postos pluviométricos apresentam seus registros iniciais ainda na década de 1910. Porém, continuam em operação, segundo banco de dados Hidroweb, apenas 118 estações fluviométricas e 170 postos pluviométricos.

Os Quadros 4.7 e 4.8 apresentam, conforme banco de dados Hidroweb, a distribuição de postos da rede hidrometeorológica por entidade responsável na bacia do rio Doce.

QUADRO 4.7
ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS POR ENTIDADE NA BACIA DO RIO DOCE

RESPONSÁVEL	OPERADOR	ESTAÇÕES
ANA	CPRM	69
ANA	ANA	116
ALCAN	ALCAN	12
BELGO MINEIRA	BELGO MINEIRA	5
CANDONGA	CANDONGA	1
CEMIG	CEMIG	34
CFLCL	CFLCL	7
CIA MINAS	CIA MINAS	1

RESPONSÁVEL	OPERADOR	ESTAÇÕES
CPRM	CPRM	1
CVRD	CVRD	2
DNOS	DNOS	13
ELFSM	ELFSM	4
ESCELSA	ESCELSA	3
SEMESA	SEMESA	1
TOTAL		**269**

QUADRO 4.8
ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS POR ENTIDADE NA BACIA DO RIO DOCE

RESPONSÁVEL	OPERADOR	ESTAÇÕES
ANA	CPRM	77
ANA	ANA	68
ALCAN	ALCAN	6
ALUMINAS	ALUMINAS	4
BELGO MINEIRA	BELGO MINEIRA	2
CEMIG	CEMIG	22
CEPLAC	CEPLAC	7
CFLCL	CFLCL	5
COPASA	COPASA	11
CVRD	CVRD	11
DAEE-MG	DAEE-MG	23
DNOS	DNOS	3
ESCELSA	ESCELSA	3
IAA	IAA	4
INMET	INMET	27
MMV	MMV	2
SEAMA	SEAMA	2
SUDENE	SUDENE	3
TOTAL		**280**

Dessa extensa rede hidrometeorológica, durante o desenvolvimento dos estudos de consistência de vazões naturais, inicialmente foram pré-selecionadas 102 estações fluviométricas consideradas mais representativas para o estudo.

Após um refinamento nessa seleção, baseado na representatividade das estações (localização na bacia, extensão dos registros e qualidade dos dados até então recebidos e analisados), foi

definido um conjunto de estações principais, totalizando 54 (cinqüenta e quatro) estações fluviométricas, conforme apresentado mais adiante (capítulo 6).

Considerando esta pré-seleção, foram definidas as estações mais importantes a serem inspecionadas durante a viagem de campo. O Quadro 4.9, a seguir, apresenta a listagem das estações efetivamente inspecionadas.

QUADRO 4.9
ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS INSPECIONADAS NA BACIA DO RIO DOCE

NOME	CÓDIGO	CURSO D'ÁGUA	ÁREA DE DRENAGEM (km²)	RESPONSÁVEL
Ponte Nova - Jusante	56110005	Rio Piranga	6.233	ANA
Acaiaca - Jusante	56335001	Rio do Carmo	1.334	ANA
UHE Guilman – Amorim	56675080	Rio Piracicaba	4.036	BELGO MINEIRA
UHE Mascarenhas - Jusante	56992480	Rio Doce	73.708	ESCELSA

5. ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS

O presente capítulo apresenta a Análise de Consistência dos Dados Pluviométricos e tem como objetivo apresentar os principais resultados obtidos nessa etapa, incluindo:

- A relação de dados pluviométricos disponibilizados das estações selecionadas na bacia dos rios Parnaíba, Jequitinhonha e Doce;
- Os resultados obtidos na análise de consistência dos dados mensais observados nessas estações pluviométricas selecionadas;

O item 5.1 deste documento apresenta um balanço da disponibilidade dos dados pluviométricos, após a conclusão da fase de coleta de dados. A abordagem geral da análise de consistência desenvolvida para os dados de chuva está contida no item 5.2. No item 5.3, são apresentadas as principais observações resultantes da análise desenvolvida.

As séries de totais mensais de chuva (dados brutos) registrados nas estações, abrangendo todo o período de dados disponibilizados, são apresentadas no Anexo N, em meio digital.

As séries consistidas de totais mensais pluviométricos, organizadas por grupo de análise, estão apresentadas no Anexo A.

5.1. DADOS PLUVIOMÉTRICOS DISPONIBILIZADOS

Os dados pluviométricos analisados no presente trabalho se originaram de diferentes fontes. A primeira, e mais importante remessa, foi feita pelo ONS, logo no início do trabalho, sendo constituída por dados disponíveis nos arquivos da ANA – Agência Nacional de Águas.

Após uma avaliação inicial, considerando, por um lado, todo o material recebido e, por outro lado, o objetivo do trabalho, foi realizada uma coleta complementar de dados envolvendo algumas frentes.

- O ONS adquiriu, junto ao INMET – Instituto Brasileiro de Meteorologia, os dados de algumas estações pluviométricas com registros mais antigos, incluindo informações na década de 1930, de forma a complementar a base de dados necessária para a definição dos períodos mais antigos das séries fluviométricas das três bacias.
- A HICON digitalizou as séries pluviométricas mensais de alguns postos operados pela extinta SUDENE, obtidos da publicação “Dados Pluviométricos Mensais do Nordeste, Recife, 1990”, que apresentava registros de inúmeros

postos pluviométricos atualizados até o ano 1985. Foram escolhidos para digitalização os dados dos postos de melhor posicionamento geográfico e com registros desde a década de 1930, pelo menos.

- Finalmente, foram recebidos do ONS os dados pluviométricos mensais já consistidos das bacias dos rios São Francisco e Tocantins, numa tentativa de melhorar a base de dados disponíveis na bacia do rio Parnaíba, particularmente na sua porção sul.

Um sumário do resultado da coleta de dados realizada é apresentado a seguir.

A bacia do rio Parnaíba, que drena uma área de 331.200 km², conta com dados de uma rede pluviométrica, de 406 estações, operada por várias entidades. As primeiras estações dessa bacia começaram a operar na década de 1910. Desse total, continuam em operação nessa bacia, segundo banco de dados Hidroweb, apenas 305 postos pluviométricos.

Para o presente estudo na bacia do rio Parnaíba, foram obtidos dados de 254 estações pluviométricas, dentre as quais apenas 73 continuam em operação.

A bacia do rio Jequitinhonha, que envolve até a sua foz uma área de 69.900 km², conta com 152 estações de monitoramento pluviométrico cadastradas. Continuam em operação nessa bacia, segundo banco de dados Hidroweb, 102 postos pluviométricos, sendo que as primeiras estações foram instaladas na década de 1910.

Para o presente estudo na bacia do rio Jequitinhonha, foram recebidos dados de 49 estações pluviométricas, dentre as quais apenas 27 continuam em operação.

A bacia do rio Doce, que drena uma área total de 83.300 km², dispõe de 280 postos pluviométricos cadastrados. Continuam em operação nessa bacia, segundo banco de dados Hidroweb, 170 postos pluviométricos, sendo que as primeiras estações foram instaladas na década de 1910.

Para o presente estudo na bacia do rio Doce, foram recebidos dados de 148 estações pluviométricas, dentre as quais apenas 92 continuam em operação.

O Anexo 3 apresenta três diagramas, um para cada bacia, com a disponibilidade de dados de chuva (total diário) recebidos até a conclusão do estudo de consistência. O período assinalado em amarelo é o período de operação do posto, conforme consta no Inventário de Estações Pluviométricas da ANA. Os períodos com dados efetivamente disponibilizados de totais diários de chuva aparecem assinalados com “X”.

5.2. ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS DOS POSTOS SELECIONADOS

No presente Estudo de Reconstituição de Vazões Naturais, os dados pluviométricos foram tratados para atender a três objetivos:

- Fornecer uma referência adicional para o estudo de consistência dos dados fluviométricos e operativos das usinas, complementando outros recursos utilizados na trabalho;

- Gerar uma base de dados pluviométricos mensais consistidos para cada uma das bacias hidrográficas, para o período de 1961 até 2005, conforme solicitado no Termo de Referência do projeto; e

- Fornecer, para a bacia do rio Parnaíba, uma base de dados para extensão das séries fluviométricas mensais até 1931, através de modelagem matemática.

Para atender ao primeiro desses objetivos, não foi dado tratamento especial aos dados pluviométricos recebidos, pois os mesmos foram apenas consultados em alguns períodos. As atividades desenvolvidas visando o atendimento aos dois objetivos restantes são apresentadas a seguir.

5.2.1. BASE DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS MENSAIS DE 1961 A 2005

A partir dos dados disponibilizados, foi elaborada inicialmente uma base de dados pluviométricos mensais brutos, cobrindo todo o período histórico de observação de cada posto, atualizado até dezembro de 2005. Dessa base foram selecionados, para análise de consistência dos dados, todos os postos pluviométricos com início dos registros anterior ou a partir de janeiro de 1961 e que ainda estejam em operação. A base de dados assim obtida foi identificada como Base de Dados de Análise.

Em cada uma das bacias hidrográficas que fazem parte do presente trabalho, os postos pluviométricos da Base de Dados de Análise foram agrupados pelo critério de proximidade e considerando as eventuais diversidades climáticas existentes.

Os 33 postos da bacia do Parnaíba foram reunidos em três grupos de análise. O grupo 1 (19 postos), cobrindo a porção médio-baixa da bacia, mais ao norte. O grupo 2, reunindo 11 postos dos afluentes da margem direita do trecho médio-alto do Parnaíba, região de clima semi-árido. Finalmente o grupo 3, com apenas três postos representativos do trecho alto do rio Parnaíba e seus afluentes mais caudalosos da margem esquerda.

Vale ressaltar que apesar de estarem situados na serra da Ibiapaba, que é uma região diferenciada do restante da bacia do Parnaíba por estar sob influência de efeitos orográficos, os postos Ubajara (0340031) e Tianguá (0340030) foram utilizados para o preenchimento de falhas do posto Luís Correia, pois apresentaram correlações de melhor qualidade, quando comparados com os postos do restante da bacia. No entanto, por estarem situados em uma região de microclima, estes postos só foram utilizados para preenchimento de falhas, não sendo utilizados nas análises de dupla-massa.

Além disso, durante a definição da metodologia para reconstituição das séries de vazões naturais da bacia do rio Parnaíba, utilizou-se dados de outros 2 postos pluviométricos situados na bacia vizinha do rio Tocantins: Carolina e Santa Rita de Cássia.

Os 15 postos da bacia do Jequitinhonha foram divididos em dois grupos: o primeiro reunindo oito postos das porções média e baixa da bacia, e o segundo grupo composto por sete postos da parte alta.

Finalmente, os 39 postos selecionados da bacia do rio Doce foram divididos em 4 grupos de análise: o grupo 1, reunindo 15 postos das cabeceiras do rio Doce, seus dois principais formadores (rios Piranga e do Carmo) e do rio Piracicaba, região mais pluviosa da bacia; o grupo 2 reunindo 6 postos localizados nos tributários da margem esquerda do médio rio Doce; o grupo 3 reunindo 8 postos da porção sul da bacia, com afluentes da margem direita do médio rio Doce; e, finalmente, o grupo 4, reunindo os 10 postos pluviométricos localizados no trecho baixo da bacia do rio Doce.

Os Quadros 5.2.1, 5.2.2 e 5.2.3 apresentam os postos que compõem cada um dos grupos de análise de cada bacia hidrográfica, listando suas entidades operadoras e períodos de observação.

Foram estabelecidas séries de totais pluviométricos mensais em todos os postos selecionados, para todo o período de análise, sendo que as falhas de observação foram preenchidas por correlação com postos do mesmo grupo.

Para análise de consistência dessas séries pluviométricas, foram elaboradas curvas duplo-acumulativas. Por esse método, também denominado dupla-massa, plota-se os registros totais mensais acumulados de um posto contra uma série acumulada representativa da mesma região, seja ela obtida a partir de dados de um posto confiável ou de valores médios de vários postos (média dos demais postos do mesmo grupo).

Para as análises duplo-acumulativas foi identificado um período comum de dados para cada grupo, evitando o emprego de dados preenchidos nessa fase do trabalho. A análise consistiu em se identificar graficamente os eventuais desvios da série em estudo em relação à série adotada como base de comparação.

Como produto da análise de consistência, obteve-se uma base de dados pluviométricos mensais cobrindo todo o período de análise de cada posto, desde janeiro de 1961 até dezembro de 2005.

Para a obtenção das equações de correlação entre os dados de cada par de postos, utilizou-se ajuste linear com constante igual a zero. Os preenchimentos de falhas foram feitos preferencialmente com as equações de maior coeficiente de determinação.

Os gráficos dos totais mensais acumulados de cada posto contra os acumulados dos valores médios de cada grupo (dupla massa) estão apresentados, em meio digital, no Anexo A.

Quadro 5.2.1
Estações Pluviométricas Analisadas na Bacia do Rio Parnaíba
(todas as estações encontram-se em operação)

Nome	Código ANA	Grupo de Análise	Entidade Responsável	Início de Observação
Luiz Correia	0241000	1	DNOCS	1/6/1912
Piracuruca	0341009	1	DNOCS	1/6/1912
Esperantina (Boa Esperança)	0342002	1	ANA	1/10/1962
Porto	0342006	1	DNOCS	1/3/1924
Croata	0440005	1	ANA	1/1/1962
Poranga	0440018	1	DNOCS	1/1/1912
Pedro II	0441005	1	DNOCS	1/8/1912
Piripiri	0441006	1	DNOCS	1/1/1913
Barras	0442000	1	DNOCS	1/7/1912
Batalha	0442001	1	DNOCS	1/7/1912
Coutinho	0540002	1	DNOCS	1/1/1934
Novo Oriente	0540003	1	FUNCEME	1/1/1934
Alto Longa	0542002	1	DNOCS	1/8/1912
Prata do Piauí	0542008	1	ANA	1/10/1962
Teresina	0542011	1	INMET	1/5/1920
Teresina	0542012	1	ANA	1/7/1913
Fazenda Veneza	0543009	1	ANA	1/10/1962
Palmeirais	0543010	1	ANA	1/9/1962
Amarante	0642001	1	DNOCS	1/6/1912
Pio IX (Patrocínio)	0640000	2	DNOCS	1/12/1910
Valença do Piauí (Berlengas)	0641010	2	DNOCS	1/1/1914
Itainópolis	0741003	2	ANA	1/9/1962
Jaicos	0741004	2	DNOCS	1/6/1912
Picos	0741006	2	DNOCS	1/10/1910
Santa Cruz do Piauí	0741009	2	ANA	1/9/1962
Suplício Mendes	0741010	2	DNOCS	1/2/1914
Oeiras	0742002	2	DNOCS	1/1/1913
Paulistana (Paulista)	0841005	2	DNOCS	1/1/1913

São Raimundo Nonato	0942005	2	DNOCS	1/7/1910
Açude Caracol	0943000	2	DNOCS	1/6/1914
São Felix de Balsas	0744000	3	ANA	1/10/1965
Ribeiro Gonçalves	0745003	3	ANA	1/1/1962
Cristino Castro II	0844008	3	ANA	1/9/1962

Quadro 5.2.2
Estações Pluviométricas Analisadas na Bacia do Rio Jequitinhonha
(todas as estações encontram-se em operação)

Nome	Código ANA	Grupo de Análise	Entidade Responsável	Início de Observação
Jacinto	1640000	1	ANA	1/2/1941
Fazenda Cajueiro	1640001	1	ANA	1/9/1975
Itaobim	1641001	1	ANA	1/11/1931
Jequitinhonha	1641002	1	ANA	1/6/1939
São João Grande	1641007	1	ANA	1/2/1974
Pedra Azul (Fortaleza)	1641008	1	INMET	1/10/1918
Itinga	1641010	1	ANA	1/1/1977
Medina	1641011	1	ANA	1/9/1975
Araçuaí	1642000	2	INMET	1/9/1918
Coronel Murta	1642002	2	ANA	1/1/1937
Grão Mongol	1642005	2	DNOCS	1/12/1961
Porto Mandacaru	1642007	2	ANA	1/10/1945
Salinas	1642009	2	DNOCS	1/8/1961
Mendanha - Montante	1843003	2	ANA	1/6/1945
Diamantina	1843009	2	INMET	1/4/1918

Quadro 5.2.3
Estações Pluviométricas Analisadas na Bacia do Rio Doce
(todas as estações encontram-se em operação)

Nome	Código ANA	Grupo de Análise	Entidade Responsável	Início de Observação
Rio Piracicaba	1943001	1	ANA	1/10/1935
Ferros	1943003	1	ANA	1/3/1941
Santa Bárbara	1943007	1	ANA	1/10/1941
Santa Maria de Itabira	1943008	1	ANA	1/10/1941
Morro do Pilar	1943025	1	ANA	1/6/1945

Nome	Código ANA	Grupo de Análise	Entidade Responsável	Início de Observação
Usina Peti	1943027	1	ANA	1/10/1946
Conceição do Mato Dentro	1943059	1	INMET	1/6/1925
Rio Casca	2042011	1	ANA	1/12/1941
Viçosa	2042024	1	INMET	1/10/1919
Acaiaca - Jusante	2043009	1	ANA	1/3/1941
Piranga	2043010	1	ANA	1/7/1941
Fazenda Paraíso	2043011	1	ANA	1/4/1941
Porto Firme	2043014	1	ANA	1/6/1941
Usina da Brecha	2043025	1	ANA	1/10/1959
Desterro do Melo	2143003	1	ANA	1/4/1941
Vila Matias - Montante	1841001	2	ANA	1/12/1940
Campanário	1841003	2	ANA	1/9/1941
São Pedro do Suaçuí	1842004	2	ANA	1/11/1941
Coroaci	1842005	2	ANA	1/12/1941
Guanhães	1842007	2	ANA	1/6/1945
Barra do Cuieté - Jusante	1941005	2	ANA	1/5/1939
Ipanema	1941000	3	ANA	1/7/1944
Assaraí - Montante	1941006	3	ANA	1/6/1946
Bom Jesus do Galho	1942002	3	ANA	1/4/1941
Vermelho Velho	1942006	3	ANA	1/6/1946
Caratinga	1942021	3	INMET	1/3/1924
Dores do Manhumirim	2041008	3	ANA	1/5/1946
Raul Soares - Montante	2042008	3	ANA	1/6/1941
Abre Campo	2042010	3	ANA	1/12/1941
Águia Branca	1840000	4	ANA	1/9/1947
Itarana	1940000	4	ANA	1/8/1947
São João de Petrópolis	1940001	4	ANA	1/8/1947
Cavalinho	1940005	4	ANA	1/1/1948
Pancas	1940009	4	ANA	1/6/1950
Itaimbé	1940012	4	ANA	1/4/1957
Novo Brasil	1940013	4	ANA	1/5/1957
Baixo Guandú	1941003	4	ANA	1/4/1941
Resplendor - Jusante	1941004	4	ANA	1/4/1941
Laranja da Terra	1941008	4	ANA	1/8/1947

5.2.2. DADOS COMPLEMENTARES PARA A BACIA DO RIO PARNAÍBA

Para a bacia do rio Parnaíba, após a análise de consistência de dados fluviométricos, ficou caracterizada a necessidade de se empregar modelos de reconstituição de vazões que empregassem dados pluviométricos, pelo menos para o período anterior a 1966, devido à ausência de registros fluviométricos na bacia.

Os dados pluviométricos necessários para essa modelagem deveriam cobrir toda a porção média-alta da bacia, além de apresentar um longo período de observação, incluindo as décadas de 1930 a 1960. Esta exigência restringiu bastante a busca, não tendo sido localizado nenhum posto pluviométrico nos estados de Maranhão e Tocantins, que poderiam ser úteis para compensar a pequena densidade de postos do Grupo 4 (cabeceiras do rio Parnaíba).

Para compensar essa deficiência, buscou-se trabalhar com dados da bacia do rio São Francisco, fornecidos pelo ONS já consistidos, e com os dados digitados da publicação da SUDENE já mencionada. O Quadro 5.2.4, a seguir, relaciona os dados obtidos, indicando (com fundo cinza) os postos que foram escolhidos para fundamentar os futuros estudos de modelagem chuva-deflúvio.

Quadro 5.2.4
Estações Pluviométricas da Bacia do Rio São Francisco Adicionadas à Base de Dados Pluviométricos da Bacia do Rio Parnaíba

CÓDIGO	NOME	INÍCIO	FIM
0941009	Favela	jun/1942	dez/1985
0942013	Salina do Brejo	jun/1942	dez/1985
0942016	Remanso	nov/1911	dez/1985
0942020	Campestre	abr/1911	dez/1985
1042001	Bom Sucesso	nov/1937	dez/1985
1042007	Pilão Arcado	jun/1911	dez/1985
1044007	Mansidão	ago/1936	dez/1985
1143009	Boqueirão	ago/1936	dez/1985
1144013	Taguá	jul/1919	dez/1985
1145002	Formosa do Rio Preto	set/1936	dez/1985

Foi realizada, para estes postos, uma análise semelhante à descrita no item anterior, sendo que apenas os quatro postos enfatizados no quadro tiveram seus dados preenchidos ao longo de todo o período disponível. Este procedimento foi adotado apenas para evitar a presença de dados de postos muito próximos na base de dados empregada na modelagem.

5.3. PRINCIPAIS OBSERVAÇÕES

A análise de consistência das séries pluviométricas mensais permitiu diversas observações sobre o comportamento dos dados das estações estudadas.

Após a plotagem dos totais mensais acumulados de um posto versus a série acumulada representativa da mesma região (ou grupo), foi feita a identificação gráfica dos eventuais desvios da série desse posto em análise em relação à série de referência adotada como base de comparação para o grupo.

Os resultados dessas análises de dupla-massa, resumidos por grupo, são apresentados nos Quadros 5.3.1 a 5.3.3 (bacia do rio Parnaíba), Quadros 5.3.4 e 5.3.5 (bacia do rio Jequitinhonha) e Quadros 5.3.6 a 5.3.9 (bacia do rio Doce). Estes quadros apresentam também, para cada posto, o percentual de meses preenchidos e observações que incluem, quando possível, as datas em que ocorreram desvios de tendência, ou indicações necessárias ao melhor aproveitamento dos dados, ou ainda a indicação de inconsistência, quando inevitável.

O Quadro 5.3.10 apresenta os mesmos resultados com relação aos quatro postos pluviométricos da bacia do rio São Francisco, adicionados à base de dados do rio Parnaíba.

A inspeção realizada indicou que os postos do grupo 1 da bacia do rio Parnaíba apresentaram muitas inconsistências, embora várias delas pudessem ser tratadas, no caso de aplicação prática dos dados. Entretanto, os postos desse grupo são os que apresentam menor interesse aos atuais estudos, por se situarem a jusante da área de interesse, em sua maior parte. De todos os postos analisados, apenas o posto de Luiz Correia foi considerado inconsistente.

Os grupos 2 e 3 da bacia do rio Parnaíba apresentaram dados de melhor qualidade, sendo que no grupo 3 não foi necessário preencher falhas nem manipular os dados recebidos.

Os dados da bacia do rio Jequitinhonha apresentaram, no aspecto geral, melhor qualidade que os dados do Parnaíba. Entretanto, o período comum para análise foi mais curto, devido ao grande número de falhas detectadas. A série estendida possui, portanto, elevado percentual de dados preenchidos por correlação.

Os dados da bacia do rio Doce deverão exigir maior cuidado na sua utilização, pois muitas das séries analisadas apresentaram quebras de tendência bruscas, que podem ser corrigidas através de tratamento adequado, caso seja relevante o emprego desses dados na reconstituição das séries de vazões, e caso seja possível definir a tendência correta. Apenas o grupo 4 (postos do trecho baixo da bacia) apresentou maior homogeneidade dos dados, com poucas falhas a preencher e poucas mudanças bruscas de tendência em relação ao grupo.

Os postos dos grupos 1 e 2, situados nas áreas de cabeceira da bacia, foram os que apresentaram maiores irregularidades. Mesmo assim, dentre todos os postos analisados nessa bacia, apenas o posto de São Pedro do Suaçuí foi considerado inconsistente.

Finalmente, as séries da bacia do rio São Francisco, de postos localizados na Bahia, agregadas aos dados da bacia do Parnaíba apresentaram excelente qualidade, com tendências estáveis e muito poucas falhas a serem preenchidas.

Os resultados obtidos nas séries consistidas de totais pluviométricos mensais permitiram a elaboração das isoietas de totais pluviométricos anuais nas três bacias, apresentadas no Anexo 10.

QUADRO 5.3.1
BACIA DO RIO PARNAÍBA – POSTOS PLUVIOMÉTRICOS DO GRUPO 1
Período de Análise: Outubro/1962 a Abril/2000

POSTO		MESES PREENCHIDOS		OBSERVAÇÕES
Nome	Código	nº	%	
Luiz Correia	241000	31	6,9	Inconsistente
Piracuruca	341009	40	8,9	Período inconsistente (precipitação nula) - jul/92 a set/95 - foi corrigido
Esperantina (Boa Esperança)	342002	11	2,4	-
Porto	342006	0	0,0	Mudança de comportamento a partir de mar/98
Croata	440005	0	0,0	Pequena mudança de comportamento de abr/67 a mar/70
Poranga	440018	72	16,0	Consistente apenas de out/62 a mar/73
Pedro II	441005	39	8,6	Consistente apenas de out/62 a mar/69
Piripiri	441006	46	10,2	Pequena mudança de comportamento de mar/65 a mar/80
Barras	442000	20	4,4	-
Batalha	442001	0	0,0	Consistente apenas de fev/82 a fev/98
Coutinho	540002	112	24,8	Mudança de comportamento de fev/67 a jan/76
Novo Oriente	540003	117	25,9	Pequena mudança de comportamento de fev/67 a fev/71 e a partir de mar/99
Alto Longa	542002	115	25,5	Pequena mudança de comportamento de dez/95 a dez/97
Prata do Piauí	542008	0	0,0	Mudança de comportamento a partir de jan/94
Teresina 011	542011	194	43,0	Pequena mudança de comportamento a partir de abr/95
Teresina 012	542012	28	6,2	Mudança de comportamento de abr/75 a out/79 e a partir de jan/95
Fazenda Veneza	543009	0	0,0	Mudança de comportamento a partir de fev/97
Palmeirais	543010	0	0,0	Mudança de comportamento a partir de jan/96
Amarante	642001	40	8,9	Mudança de comportamento de jan/71 a abr/78 e a partir de fev/93

Número de meses do período de análise: 451 meses.

QUADRO 5.3.2
BACIA DO RIO PARNAÍBA – POSTOS PLUVIOMÉTRICOS DO GRUPO 2
Período de Análise: Outubro/1962 a Março/2000

POSTO		MESES PREENCHIDOS		OBSERVAÇÕES
Nome	Código	n°	%	
Pio IX (Patrocínio)	0640000	24	5.3	Mudança de comportamento de jan/69 a nov/78 e a partir de jan/96
Valença do Piauí (Berlengas)	0641010	17	3.8	-
Itainópolis	0741003	0	0.0	Pequena mudança de comportamento de fev/69 a fev/78
Jaicos	0741004	11	2.4	-
Picos	0741006	117	26.0	Precipitação nula de fev/79 a dez/85 (suspeito)
Santa Cruz do Piauí	0741009	0	0.0	Inconsistente
Suplício Mendes	0741010	78	17.3	Mudança de comportamento de jan/75 a fev/82 e de jan/89 a jan/92
Oeiras	0742002	59	13.1	-
Paulistana (Paulista)	0841005	61	13.6	Mudança de comportamento de fev/67 a jan/85 e a partir de dez/95
São Raimundo Nonato	0942005	74	16.4	Inconsistente entre 1994 e 1998
Açude Caracol	0943000	56	12.4	Mudança de comportamento de dez/79 a jan/92 e a partir de out/98

Número de meses do período de análise: 450 meses.

QUADRO 5.3.3
BACIA DO RIO PARNAÍBA – POSTOS PLUVIOMÉTRICOS DO GRUPO 3
Período de Análise: Outubro/1965 a Janeiro/2006

POSTO		MESES PREENCHIDOS		OBSERVAÇÕES
Nome	**Código**	**n°**	**%**	
São Felix de Balsas	0744000	0	0.0	-
Ribeiro Gonçalves	0745003	0	0.0	-
Cristino Castro II	0844008	0	0.0	-

Número de meses do período de análise: 484 meses

QUADRO 5.3.4
BACIA DO RIO JEQUITINHONHA – POSTOS PLUVIOMÉTRICOS DO GRUPO 1
Período de Análise: Fevereiro/1977 a Dezembro/1998

POSTO		MESES PREENCHIDOS		OBSERVAÇÕES
Nome	Código	n°	%	
Jacinto	1640000	0	0.0	Mudança de comportamento de nov/80 a out/85, de jan/92 a dez/93 e a partir de mai/97
Fazenda Cajueiro	1640001	0	0.0	-
Itaobim	1641001	0	0.0	Mudança de comportamento de dez/85 a out/92 e a partir de mai/95
Jequitinhonha	1641002	0	0.0	-
São João Grande	1641007	0	0.0	-
Pedra Azul (Fortaleza)	1641008	22	8.4	-
Itinga	1641010	0	0.0	-
Medina	1641011	0	0.0	-

Número de meses do período de análise: 263 meses.

QUADRO 5.3.5
BACIA DO RIO JEQUITINHONHA – POSTOS PLUVIOMÉTRICOS DO GRUPO 2
Período de Análise: Dezembro/1961 a Dezembro/1998

POSTO		MESES PREENCHIDOS		OBSERVAÇÕES
Nome	**Código**	**n°**	**%**	
Araçuaí	1642000	121	27.2	-
Coronel Murta	1642002	0	0.0	-
Grão Mongol	1642005	36	8.1	Pequena mudança de comportamento de nov/62 a set/65 e de nov/89 a jan/91
Porto Mandacaru	1642007	43	9.7	-
Salinas	1642009	166	37.3	-
Mendanha - Montante	1843003	13	2.9	Pequena mudança de comportamento de out/62 a jan/69
Diamantina	1843009	290	65.2	-

Número de meses do período de análise: 445 meses.

QUADRO 5.3.6
BACIA DO RIO DOCE – POSTOS PLUVIOMÉTRICOS DO GRUPO 1
Período de Análise: Janeiro/1961 a Dezembro/1998

POSTO		MESES PREENCHIDOS		OBSERVAÇÕES
Nome	Código	n°	%	
Rio Piracicaba	1943001	10	2.2	Mudança de comportamento de out/62 a fev/74
Ferros	1943003	86	18.9	Mudança de comportamento a partir de set/68
Santa Bárbara	1943007	0	0.0	Quebras de tendência em out/79 e out/82
Santa Maria de Itabira	1943008	0	0.0	Mudança de tendência a partir de abril/91
Morro do Pilar	1943025	0	0.0	-
Usina Peti	1943027	0	0.0	-
Conceição do Mato Dentro	1943059	208	45.6	-
Rio Casca	2042011	0	0.0	Consistente de jan/61 a ago/67 e de mar/86 a dez/91
Viçosa	2042024	111	24.3	Mudança de comportamento de nov/64 a nov/67 e de ago/83 a dez/85
Acaiaca - Jusante	2043009	0	0.0	-
Piranga	2043010	0	0.0	Variação gradual de tendência
Fazenda Paraíso	2043011	0	0.0	Mudança brusca de tendência em set/64
Porto Firme	2043014	0	0.0	Mudança de comportamento de nov/64 a dez/73
Usina da Brecha	2043025	0	0.0	-
Desterro do Melo	2143003	0	0.0	Pequena mudança de comportamento de out/62 a nov/64 e de jul/68 a dez/70

Número de meses do período de análise: 456 meses.

QUADRO 5.3.7
BACIA DO RIO DOCE – POSTOS PLUVIOMÉTRICOS DO GRUPO 2
Período de Análise: Janeiro/1960 a Março/2006

POSTO		MESES PREENCHIDOS		OBSERVAÇÕES
Nome	**Código**	**n°**	**%**	
Vila Matias - Montante	1841001	0	0.0	Mudança de comportamento de jan/68 a dez/75
Campanário	1841003	15	2.7	Inconsistências de 1960 a 1965
São Pedro do Suaçuí	1842004	1	0.2	Inconsistente
Coroaci	1842005	0	0.0	-
Guanhães	1842007	0	0.0	Mudança de comportamento de set/72 a dez/82
Barra do Cuieté - Jusante	1941005	6	1.1	Mudança gradual de tendência ao longo do registro

Número de meses do período de análise: 555 meses.

QUADRO 5.3.8
BACIA DO RIO DOCE – POSTOS PLUVIOMÉTRICOS DO GRUPO 3
Período de Análise: Janeiro/1960 a Dezembro/2005

POSTO		MESES PREENCHIDOS		OBSERVAÇÕES
Nome	**Código**	**n°**	**%**	
Ipanema	1941000	0	0.0	Forte mudança de tendência entre jan/64 e dez/65
Assaraí - Montante	1941006	0	0.0	Mudança de comportamento de out/71 a dez/81
Bom Jesus do Galho	1942002	0	0.0	-
Vermelho Velho	1942006	1	0.2	Pequena mudança de comportamento de out/67 a dez/71
Caratinga	1942021	121	21.9	-
Dores do Manhumirim	2041008	37	6.7	Forte mudança de tendência de jan/63 até out/70
Raul Soares - Montante	2042008	1	0.2	-
Abre Campo	2042010	4	0.7	Pequena mudança de comportamento a partir de out/02

Número de meses do período de análise: 552 meses.

QUADRO 5.3.9
BACIA DO RIO DOCE – POSTOS PLUVIOMÉTRICOS DO GRUPO 4
Período de Análise: Janeiro/1969 a Fevereiro/2006

POSTO		MESES PREENCHIDOS		OBSERVAÇÕES
Nome	Código	n°	%	
Águia Branca	1840000	0	0.0	Pequena mudança de comportamento a partir de jan/05
Itarana	1940000	6	1.3	-
São João de Petrópolis	1940001	0	0.0	-
Cavalinho	1940005	0	0.0	-
Pancas	1940009	0	0.0	-
Itaimbé	1940012	0	0.0	-
Novo Brasil	1940013	0	0.0	-
Baixo Guandú	1941003	0	0.0	Pequena mudança de comportamento de jan/87 a fev/91
Resplendor - Jusante	1941004	4	0.9	-
Laranja da Terra	1941008	0	0.0	Mudança de comportamento de out/71 a dez/79 e de out/94 a jan/98

Número de meses do período de análise: 446 meses.

QUADRO 5.3.10
BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO – POSTOS PLUVIOMÉTRICOS AGREGADOS À BASE DE DADOS DO RIO PARNAÍBA
Período de Análise: Janeiro/1938 a Dezembro/1975

POSTO		MESES PREENCHIDOS		OBSERVAÇÕES
Nome	**Código**	**n°**	**%**	
Remanso	0942016	0	0.0	
Campestre	0942020	3	0.7	
Boqueirão	1143009	9	2.0	
Formosa do Rio Preto	1145002	2	0.4	

Número de meses do período de análise: 456 meses.

6. ESTUDOS FLUVIOMÉTRICOS

6.1. SELEÇÃO DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS UTILIZADAS NO PROJETO

Das redes fluviométricas das bacias hidrográficas dos rios Parnaíba, Jequitinhonha e Doce foram pré-selecionadas algumas estações fluviométricas, consideradas mais representativas para o estudo.

Em cada uma das bacias estudadas, após um refinamento da pré-seleção de estações fluviométricas, baseado na representatividade das estações (localização na bacia, extensão dos registros e qualidade dos dados até então recebidos e analisados), foi definido um conjunto de estações fluviométricas principais, que constituiu a base de dados fluviométricos submetidos à análise de consistência para serem utilizados na reconstituição das séries de vazões naturais nos locais dos aproveitamentos hidrelétricos.

O Quadro 6.1.1, a seguir, apresenta um resumo quantitativo das estações fluviométricas com dados disponíveis, pré-selecionadas e utilizadas, para as bacias dos rios Parnaíba, Jequitinhonha e Doce. Enquanto isso, o Quadro 6.1.2 apresenta a listagem completa das 88 estações selecionadas para as 3 bacias, enumeradas no Quadro anterior.

QUADRO 6.1.1
ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS DISPONÍVEIS

BACIA	QUANTIDADE DE ESTAÇÕES		
	DISPONÍVEIS	PRÉ-SELECIONADAS	SELECIONADAS
Parnaíba	131	25	20
Jequitinhonha	72	22	14
Doce	269	102	54

As localizações das estações fluviométricas principais, em cada uma das bacias, estão apresentadas nos Mapas constantes do Anexo 4.

Os diagramas apresentados no Anexo 5 ilustram a situação final de recebimento de dados para cada estação, detalhando os períodos com observação de leitura de régua e medições de descarga. Nesses diagramas, o período assinalado em azul é o período de operação do posto, conforme consta no Inventário de Estações Fluviométricas da ANA. Aparece assinalado com “x” o período de leituras de régua disponibilizado, nem sempre coincidente com o período de observação registrado no Inventário.

Os diagramas enfatizam também os períodos para os quais se dispõe de medições de descarga, assinalando, também, os períodos para os quais foram recebidas apenas as vazões diárias calculadas (sem cotas).

É importante ressaltar que, a partir da base cartográfica elaborada, as áreas das bacias hidrográficas controladas pelos postos fluviométricos foram reavaliadas, resultando, em alguns casos, em diferenças significativas em relação às áreas até então consideradas oficiais. O Capítulo 3 (3. Base Cartográfica) apresenta detalhadamente os critérios adotados para definição das áreas das estações necessárias.

QUADRO 6.1.2
ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS SELECIONADAS

Nome da Estação	Código	Entidade Responsável	Rio	Área de Drenagem (km²)	Latitude	Longitude	Início da Operação
ALTO PARNAÍBA	34020000	ANA	Parnaíba	12.556	-09:06:47,3	-45:55:34,3	1965
FAZENDA PARACATI I	34040000	ANA	Parnaíba	25.004	-08:16:50,5	-45:39:59,8	1968
FAZENDA PARACATI II	34040500	ANA	Parnaíba	25.010	-08:16:15,4	-45:40:05,6	1996
RIBEIRO GONÇALVES	34060000	ANA	Parnaíba	30.949	-07:33:28,7	-45:14:16,1	1965
SÍTIO DO VELHO	34070000	ANA	Parnaíba	34.819	-07:22:51,3	-44:49:36,0	1968
FAZENDA BANDEIRA	34090000	ANA	Uruçuí	15.705	-07:23:27,3	-44:36:51,3	1965
BALSAS	34130000	ANA	das Balsas	9.213	-07:32:04	-46:02:09	1965
SÃO FÉLIX DAS BALSAS	34170000	ANA	das Balsas	24.978	-07:04:53,2	-44:48:44,8	1963
BENEDITO LEITE	34202000	SUDENE	Parnaíba	77.199	-07:13:00	-44:34:00	1965
CRISTIANO CASTRO I	34250000	ANA	Gurgueia	31.066	-08:49:00	-44:13:00	1963
CRISTIANO CASTRO II	34251000	ANA	Gurgueia	31.100	-08:47:33	-44:12:21	1975
BARRA DO LANCE	34270000	ANA	Gurgueia	47.347	-07:14:49,7	-43:38:57,8	1967
BARÃO DE GRAJAÚ	34311000	ANA	Parnaíba	140.291	-06:45:42	-43:01:39	1983
ITAUEIRA	34350000	ANA	Itaueiras	4.352	-07:38:17,8	-43:02:52,1	1977
FAZENDA TALHADA	34480000	ANA	Canindé	29.064	-06:58:23,6	-42:06:21,9	1964
SÃO FRANCISCO DO PIAUÍ	34571000	ANA	Piauí	34.987	-07:13:58,8	-42:32:39,6	1963
FRANCISCO AYRES	34600000	ANA	Canindé	74.443	-06:37:29,7	-42:41:51,9	1983
OUTEIRO	34610000	ANA	Canindé	74.490	-06:35:00	-42:42:00	1973
FAZENDA VENEZA	34660000	ANA	Parnaíba	234.776	-05:34:21	-43:01:28	1955
TERESINA	34690000	ANA	Parnaíba	237.228	-05:08:08	-42:48:40	1963
VILA TERRA BRANCA	54010000	ANA	Jequitinhonha	7.718	-17:19:00	-43:12:00	1951
VILA TERRA BRANCA - JUSANTE	54010005	ANA	Jequitinhonha	7.718	-17:18:46	-43:12:28	1980
GRÃO MOGOL	54110002	ANA	Itacambiruçu	4.074	-16:35:32	-42:55:00	1972
PORTO MANDACARU	54150000	ANA	Jequitinhonha	16.097	-16:40:44	-42:29:08	1945
PONTE VACARIA	54165000	ANA	Vacaria	2.277	-16:11:28	-42:35:03	1975
BARRA DO SALINAS	54195000	ANA	Jequitinhonha	23.481	-16:37:04	-42:18:32	1974
CORONEL MURTA	54200000	ANA	Jequitinhonha	23.626	-16:38:00	-42:13:00	1937
PEGA	54390000	ANA	Araçuaí	10.809	-16:51:36	-42:20:54	1946
ARAÇUAI	54500000	ANA	Araçuaí	16.026	-16:51:07	-42:04:40	1931
ITIRA	54530000	ANA	Jequitinhonha	40.594	-16:45:39	-42:00:10	1979
ITAOBIM	54580000	ANA	Jequitinhonha	45.618	-16:34:07	-41:30:14	1931
JEQUITINHONHA	54710000	ANA	Jequitinhonha	50.608	-16:25:40	-41:00:49	1939

Nome da Estação	Código	Entidade Responsável	Rio	Área de Drenagem (km²)	Latitude	Longitude	Início da Operação
JACINTO	54780000	ANA	Jequitinhonha	63.023	-16:08:22	-40:17:27	1941
ITAPEBI	54950000	ANA	Jequitinhonha	68.146	-15:56:56	-39:31:28	1936
PONTE NOVA	56110000	ANA	Piranga	6.212	-20:25:00	-42:54:00	1930
PONTE NOVA - JUSANTE	56110005	ANA	Piranga	6.233	-20:23:01	-42:54:11	1974
FAZENDA PARAÍSO	56240000	ANA	Gualaxo do Sul	978	-20:22:37	-43:11:31	1928
ACAIACA	56335000	ANA	do Carmo	1.330	-20:21:00	-43:08:00	1940
ACAIACA - JUSANTE	56335001	ANA	do Carmo	1.334	-20:21:42	-43:08:22	1975
FAZENDA OCIDENTE	56337000	ANA	Gualaxo do Norte	538	-20:16:03	-43:05:56	1938
RIO CASCA	56415000	ANA	Casca	2.028	-20:13:34	-42:39:00	1930
FAZENDA CACHOEIRA DANTAS	56425000	ANA	Doce	10.071	-19:59:41	-42:40:27	1981
PONTE DO PERES	56430000	ANA	Doce	12.829	-19:54:00	-42:35:00	1965
RAUL SOARES - MONTANTE	56484998	ANA	Matipó	1.347	-20:06:13	-42:26:24	1976
RAUL SOARES	56485000	ANA	Matipó	1.346	-20:06:00	-42:26:00	1936
INSTITUTO FLORESTAL RAUL SOARES	56510000	ANA	Doce	1.800	-20:05:51	-42:27:33	1982
CACHOEIRA DOS ÓCULOS - MONTANTE	56539000	ANA	Doce	15.877	-19:46:37	-42:28:35	1974
CACHOEIRA DOS ÓCULOS	56540001	ANA	Doce	16.022	-19:46:00	-42:29:00	1972
RIO PIRACICABA	56610000	ANA	Piracicaba	1.163	-19:55:47	-43:10:10	1925
CARRAPATO (BRUMAL)	56640000	ANA	Santa Bárbara	425	-19:58:18	-43:27:20	1954
NOVA ERA IV	56659998	ANA	Piracicaba	3.020	-19:46:12	-43:02:12	1989
NOVA ERA - MONTANTE	56659999	ANA	Piracicaba	3.020	-19:46:00	-43:03:00	1974
NOVA ERA	56660000	ANA	Piracicaba	3.020	-19:46:00	-43:02:00	1938
ESTAÇÃO DRUMMOND CENTRAL	56660002	CEMIG	Piracicaba	4.080	-19:43:44	-42:59:05	1996
ANTÔNIO DIAS	56681000	ANA	Piracicaba	4.205	-19:39:00	-42:52:00	1928
ACESITA	56695000	ANA	Piracicaba	5.263	-19:32:00	-42:38:00	1974
MÁRIO DE CARVALHO	56696000	ANA	Piracicaba	5.241	-19:31:27	-42:38:27	1985
CENIBRA	56719998	ANA	Doce	24.159	-19:19:40	-42:23:51	1986
CACHOEIRA ESCURA	56720000	ANA	Doce	24.199	-19:20:00	-42:22:00	1939
FERROS	56775000	ANA	Santo Antônio	4.089	-19:13:56	-43:01:12	1940
FAZENDA OURO FINO	56776500	CEMIG	Santo Antônio	6.369	-19:10:09	-42:49:09	1976
CACHOEIRA DONA RITA	56780001	ANA	do Tanque	891	-19:26:00	-43:12:00	1942
FAZENDA BARRACA	56787000	ANA	do Tanque	1.319	-19:19:56	-43:04:12	1965
SENHORA DO PORTO	56800000	ANA	do Tanque	1.521	-18:53:41	-43:04:57	1945

Nome da Estação	Código	Entidade Responsável	Rio	Área de Drenagem (km²)	Latitude	Longitude	Início da Operação
FAZENDA MELOSO	56810000	CEMIG	Guanhães	2.190	-19:04:51	-42:52:42	1963
COQUEIROS	56820002	CVRD	Santo Antônio	9.629	-19:07:07	-42:36:37	2002
NAQUE VELHO	56825000	ANA	Santo Antônio	10.210	-19:11:18	-42:25:21	1974
FAZENDA CORRENTE	56845000	ANA	Corrente Grande	1.068	-18:53:41	-42:42:43	1950
PORTO SANTA RITA	56846000	ANA	Corrente Grande	1.972	-18:57:02	-42:21:25	1975
GOV. VALADARES	56850000	ANA	Doce	40.523	-18:52:56	-41:57:03	1937
SÃO PEDRO DO SUAÇUÍ	56860000	ANA	Suaçuí Grande	2.580	-18:21:47	-42:36:09	1965
STA MARIA DO SUAÇUÍ	56870000	ANA	São Félix	624	-18:12:06	-42:27:17	1965
FAZENDA URUPUCA	56880000	ANA	Urupuca	2.686	-18:15:00	-42:04:00	1968
VILA MATIAS - MONTANTE	56891900	ANA	Suaçuí Grande	9.903	-18:34:19	-41:54:51	1974
VILA MATIAS	56892000	ANA	Suaçuí Grande	9.903	-18:32:00	-41:55:00	1939
JAMPRUCA	56915500	ANA	Itambacuri	1.380	-18:27:46	-41:48:24	1974
TUMIRITINGA	56920000	ANA	Doce	55.086	-18:58:16	-41:38:21	1972
DOM CAVATI	56935000	ANA	Caratinga	784	-19:22:25	-42:06:18	1965
BARRA DO CUIETÉ	56940000	ANA	Cuieté	3.213	-19:04:00	-41:32:00	1938
BARRA DO CUIETÉ - JUSANTE	56940002	ANA	Cuieté	3.248	-19:03:43	-41:32:00	1975
RESPLENDOR	56948000	ANA	Doce	61.196	-19:19:00	-41:15:00	1938
RESPLENDOR - JUSANTE	56948005	ANA	Doce	61.196	-19:20:34	-41:14:45	1983
SÃO SEBASTIÃO DA ENCRUZILHADA	56990000	ANA	Manhuaçu	8.728	-19:29:30	-41:09:42	1938
BAIXO GUANDU	56992000	ANA	Guandu	2.140	-19:31:11	-41:00:52	1938
BARRA DO CÓRREGO DO PIABA	56993550	ANA	Santa Joana	873	-19:32:00	-40:44:00	1967
CÓRREGO DO PIABA	56993551	ANA	Santa Joana	886	-19:33:31	-40:43:57	1974
COLATINA	56994500	ANA	Doce	76.463	-19:32:00	-40:37:40	1937
COLATINA - JUSANTE	56994502	ANA	Doce	76.463	-19:32:00	-40:38:00	1976

6.2. ABORDAGEM GERAL DA ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA

Os dados das estações fluviométricas principais têm sido utilizados no Estudo de Consistência e Reconstituição de Séries de Vazões Naturais para:

- Comparação dos hidrogramas entre estações vizinhas para análise da consistência;
- Como referência na análise de consistência dos dados operativos das usinas;

- Na reconstituição das séries de vazões naturais nos locais dos aproveitamentos, para os períodos anteriores a sua implementação, através de mecanismos de transferência que dependem da localização relativa das estações;
- Na reconstituição de períodos de enchimento de reservatórios, quando os registros operativos não permitirem tal reconstituição;
- Como informação auxiliar na determinação das vazões incrementais entre dois aproveitamentos consecutivos, no período anterior à implantação de um deles;
- No processo de modulação das vazões incrementais diárias, como postos de referência;
- Na extensão e/ou preenchimento de lacunas nas séries de vazões médias mensais nos locais dos aproveitamentos.

Em função de sua relevância, os dados fluviométricos foram submetidos a uma análise de consistência detalhada, de modo que na atual etapa de reconstituição de vazões naturais diárias e mensais estão sendo utilizadas as séries finais resultantes da consistência dos dados fluviométricos.

As principais ferramentas, critérios e procedimentos adotados na análise de consistência são descritos na seqüência.

6.2.1. FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS UTILIZADAS

A análise de consistência dos cotagramas e fluviogramas foi feita utilizando-se o HIDRO (versão 1.0.9), que é uma aplicação de banco de dados do tipo cliente/ servidor, mantido e desenvolvido pela Agência Nacional de Águas (ANA). O HIDRO permite o gerenciamento de uma base de dados hidrometeorológica armazenada de forma centralizada em um banco de dados relacional, o cálculo de funções hidrometeorológicas básicas e a visualização dos dados através de gráficos.

Ao longo da consistência, foram geradas duas bases de dados fluviométricos. Na primeira, foram armazenados todos os dados brutos recebidos das diversas fontes, incluindo as curvas-chave recebidas. Na segunda, foram armazenados os dados brutos (só leitura de régua), os dados consistidos e as curvas-chave estabelecidas. Nessa base foram realizadas todas as revisões necessárias, até a conclusão da análise.

Como ferramenta auxiliar computacional no estudo das curvas-chave, foi utilizada de forma exaustiva a planilha eletrônica Excel para geração de gráficos cota-descarga, cota-área e cota-velocidade, assim como para plotagem das curvas-chave recebidas.

Para o caso em que foi necessário fazer o ajuste de uma equação aos pares de valores cota-descarga, foi utilizado um programa computacional desenvolvido em Excel pela HICON especificamente para o ajuste de curvas-chave.

6.2.2. ANÁLISE DOS COTAGRAMAS

A análise inicial dos cotagramas foi feita de forma visual, a partir da plotagem das séries de cotas médias diárias das estações principais, efetuando-se, sempre que possível, a análise conjunta de mais de um posto fluviométrico.

Esta análise possibilitou a detecção de erros grosseiros de leitura, anotação e digitação de cotas diárias, através de comparação com as cotas nas datas das medições de descarga

disponíveis, e a sua conseqüente correção. A relação das leituras de régua corrigidas para cada estação consta do quadro resumo, apresentado no Anexo C.

Procurou-se identificar, também, a partir da análise dos cotagramas e das informações disponíveis no histórico de cada estação, possíveis alterações na instalação das réguas linimétricas.

Em uma etapa posterior, após o estabelecimento das curvas-chave de cada estação, houve uma análise final dos cotagramas, executada simultaneamente com a análise dos fluviogramas.

Em particular para os postos homônimos, a análise dos cotagramas foi feita sempre simultaneamente, permitindo identificar possíveis divergências entre os mesmos.

6.2.3. ANÁLISE DAS MEDIÇÕES DE DESCARGA

A análise das medições de descarga foi feita com base em gráficos cota x vazão, cota x área e cota x velocidade. A partir da análise desses gráficos foram identificados e corrigidos, quando possível, os erros grosseiros.

Pontos muito dispersos da tendência, provavelmente por erro na aferição da área ou da velocidade, para os quais não foi possível proceder à correção, resultaram no desprezo da respectiva medição.

A relação das medições desprezadas para cada estação principal analisada consta do quadro resumo das curvas-chave estabelecidas, apresentado no Anexo B.

Ainda a partir da análise das relações cota x vazão, cota x área e cota x velocidade, foi possível avaliar a necessidade ou não de se ajustar curvas-chave diferentes para um mesmo posto, definindo diversos períodos de validade. Nessas mudanças buscou-se identificar a ocorrência de uma das três situações: mudança na cota do zero das réguas; alteração acentuada na forma do leito do rio; ou mudança do controle hidráulico a jusante da estação (por exemplo, a construção de uma ponte).

6.2.4. ESTABELECIMENTO DAS CURVAS-CHAVE

O passo inicial para o estabelecimento das curvas-chave das estações fluviométricas consistiu na análise das curvas-chave existentes (equação ou tabela de calibragem) e disponibilizadas para o presente estudo. Foram avaliados os diversos períodos de validade definidos e a qualidade do ajuste das curvas estabelecidas.

Para determinados postos foram disponibilizadas curvas-chave estabelecidas por mais de uma entidade (CEMIG, CHESF, ANA). Nesses casos as duas curvas foram avaliadas, optando-se pela que apresentou melhor ajuste. Quando os ajustes eram de qualidade equivalente, optou-se pela curva-chave recebida da entidade responsável pela operação do posto.

Para as estações cuja curva-chave não foi disponibilizada ou as curvas recebidas não pareciam adequadas, procedeu-se ao ajuste matemático de uma equação potencial às relações cota x descarga.

Na verificação do período de validade de cada equação ajustada, buscou-se encontrar evidências de mudanças nas relações cota x descarga, cota x área e cota x velocidade, em anotações no histórico da estação ou em mudanças no cotagrama que confirmassem uma mudança de curva-chave.

Em muitos postos, foram recebidas curvas-chave válidas para períodos recentes e foi necessário ajustar curvas-chave para os períodos mais antigos. Antes disso, procurou-se verificar se a curva-chave recebida poderia ter seu período de validade estendido.

De maneira geral, os critérios utilizados para definição dos períodos de validade de cada curva-chave foram os seguintes:

- Início do período de validade: data da primeira atividade do posto (leitura de régua ou medição de descarga).
- Fim do período de validade (geral): data da última atividade do posto (leitura de régua ou medição de descarga), ou data limite do presente estudo. Caso o posto ainda esteja em operação, os critérios são os seguintes:
  - medições disponíveis até 2003: data da última medição de descarga do resumo;
  - medições até 2004 ou 2005: data de 31/12/05 (data limite do presente estudo).
- Início dos limites intermediários:
  - data da ocorrência no histórico ou cotagrama que justifica a mudança na curva-chave;
- Fim dos limites intermediários:
  - data da ocorrência no histórico ou cotagrama que justifica a mudança na curva-chave;

Na medida do possível, privilegiou-se a manutenção dos limites intermediários dos períodos de validade das curvas-chave ajustadas por outras entidades e validadas no presente estudo. Sendo assim, muitos deste limites foram mantidos.

Estabelecidos os períodos de validade das diversas curvas-chave de uma estação, procedeu-se à extrapolação das mesmas para os valores máximos e mínimos de leitura de régua, utilizando-se o método de extrapolação logarítmica.

Em alguns casos, as tabelas de calibragem recebidas e adotadas precisaram ter seus trechos de extrapolação estendidos. Para isso, ajustou-se uma equação potencial aos pontos da tabela de calibragem e fez-se a extensão por extrapolação logarítmica.

A partir das curvas-chave estabelecidas para cada estação, foram gerados e analisados os fluviogramas, conforme descrito no item a seguir. Algumas vezes, a análise conjunta dos fluviogramas de estações vizinhas evidenciou a necessidade de revisão das curvas-chave. O estabelecimento final das curvas-chave foi feito após a conclusão desse processo iterativo.

6.2.5. ANÁLISE DOS FLUVIOGRAMAS

A partir das curvas-chave estabelecidas para cada estação e dos respectivos cotagramas, foram gerados os fluviogramas diários, utilizando-se, mais uma vez, o banco de dados HIDRO.

Os fluviogramas foram plotados individualmente ou em conjunto com outras estações, permitindo identificar possíveis inconsistências e/ou descontinuidades que indicassem a necessidade de novos ajustes nas curvas-chave estabelecidas.

O mesmo processo foi aplicado aos fluviogramas mensais, calculados a partir das séries de vazões médias diárias.

A comparação dos fluviogramas baseou-se na premissa de que a vazão de uma estação fluviométrica deve ser maior que a soma das vazões propagadas das estações situadas a montante, não somente no curso principal, mas em todos os cursos d'água que contribuem para a seção daquele posto, respeitando-se os efeitos de propagação dessas vazões.

Deve-se considerar, no entanto, que em situações especiais, explicadas pelas características geomorfológicas ou pela capacidade de amortecimento do trecho de rio onde se localizam essas estações, esta premissa pode não se verificar. Além disso, após a implantação dos reservatórios e o aumento das ações antrópicas na bacia o regime fluvial se altera.

Por isso, priorizou-se a comparação entre os fluviogramas mensais, e considerou-se essencial a constatação da continuidade das vazões médias mensais nos períodos anteriores às instalações dos primeiros reservatórios de regularização em cada uma das bacias estudadas.

6.3. PRINCIPAIS PROBLEMAS ENCONTRADOS

Na seqüência são relatados os principais problemas encontrados ao longo da análise de consistência dos dados fluviométricos das estações.

6.3.1. BACIA DO PARNAÍBA

6.3.1.1. ANÁLISE DOS COTAGRAMAS

Depois da análise visual dos cotagramas para detecção de erros grosseiros, eles foram objeto de verificação apenas quando os fluviogramas mostraram-se inconsistentes.

A observação dos cotagramas simultâneos de algumas estações homônimas mostrou que a maioria dos postos apresenta leituras de réguas coincidentes ou ligeiramente diferentes na maior parte do período comum de dados. A estação Balsas (34130000), no entanto, apresenta maior quantidade de dias com divergências entre as leituras de régua dos postos homônimos e de mesmo código.

Para as outras estações homônimas, Alto Parnaíba (34020000), Ribeiro Gonçalves (34060000) e São Félix das Balsas (34170000), as divergências entre os cotagramas são menores e ocorrem esporadicamente.

Na estação Barão de Grajaú (34311000), as réguas estão localizadas a jusante do reservatório de Boa Esperança, sob a influência da operação deste, podendo-se observar claramente seus efeitos nos cotagramas.

Para a estação Sítio do Velho (34070000), considerando a observação de seu cotagrama, os valores anteriores a 01/08/2001 devem ser considerados com reservas por apresentarem

muitas diferenças em relação aos outros postos. De fato, o cotagrama desta estação neste período apresenta um comportamento bastante duvidoso, quando comparado com os valores de Alto Parnaíba (34060000).

6.3.1.2. ESTABELECIMENTO DAS CURVAS-CHAVE

Para algumas estações foram disponibilizadas curvas-chave ajustadas pelas entidades responsáveis pela estação e, também, pela ANA ou ANEEL; algumas com diferenças apenas no ramo extrapolado. Nesses casos, procedeu-se uma avaliação da qualidade de ambas as curvas recebidas, optando-se pela que apresentasse melhor ajuste. Caso ambos apresentassem bons ajustes, foi dada preferência àquela ajustada pela entidade responsável pela estação.

Para algumas curvas-chave recebidas foi necessária uma revisão nos ajustes, de modo a evitar situações indesejadas, como extrapolações divergentes com as curvas ajustadas para os outros períodos, como ocorreu para a estação Francisco Ayres (34600000). Para os postos Sítio do Velho (34070000), São Félix das Balsas (34170000) e São Francisco do Piauí (34571000) foram modificadas as curvas recebidas, de tal forma que os ajustes dos seus diferentes períodos passassem a convergir na parte extrapolada.

Outro motivo para realização de novos ajustes foi o excesso de curvas e períodos de validade fornecidos para algumas estações, como Barão de Grajaú (34311000), Fazenda Veneza (34660000) e Teresina (34690000).

Em alguns casos, como nos postos Ribeiro Gonçalves (34060000) e Fazenda Talhada (34480000), optou-se por descartar os ajustes recebidos, de tal forma que as curvas-chave utilizadas nos estudos estivessem mais adequadas às medições de descarga da estação.

O Quadro-resumo das Curvas-chave, apresentado no Anexo B, contém as seguintes informações:

- Quem fez o ajuste da curva-chave adotada para aquele período (ANA, CHESF, SUDENE ou HICON);
- Número de medições realizadas no período;
- Cotas máxima e mínima observadas no período;
- Datas de início e fim da validade da curva;
- Tipo de ajuste (equação ou tabela de calibragem);
- Coeficientes da equação, quando for o caso;
- Observações mais relevantes sobre a curva-chave desse período.

No mesmo anexo, encontram-se, ainda, figuras ilustrativas das curvas-chave estabelecidas, que foram extraídas dos arquivos digitais em Excel, elaborados por estação e encaminhados anteriormente, onde aparece o estudo detalhado das curvas-chave por posto e período de validade.

6.3.1.3. ANÁLISE DOS FLUVIOGRAMAS

A maioria dos problemas identificados durante a análise dos fluviogramas está diretamente associada aos problemas encontrados nos cotagramas.

Outras inconsistências encontradas, sobretudo a nível diário, podem ser explicadas pelos efeitos de propagação das vazões entre duas ou mais estações.

Nos casos de inconsistências persistentes por longos períodos observadas entre fluviogramas de estações próximas, buscou-se rever as curvas-chave dos postos.

Na comparação conjunta do fluviograma da estação Sítio do Velho (34070000) com fluviogramas de estações vizinhas, como Ribeiro Gonçalves (34060000), Fazenda Paracati (34040000) e Fazenda Paracati II (34040500), foram observadas inconsistências, mesmo a nível mensal, que não puderam ser resolvidas por mudanças nas curvas-chave.

Esta mesma situação também foi verificada em alguns períodos dos postos Barão de Grajaú (34311000) e Teresina (34690000), localizados a jusante da barragem de Boa Esperança, quando comparados em conjunto com as estações de Fazenda Veneza (34660000), Itaueira (34350000) e Francisco Ayres (34600000).

Para algumas estações, foram identificados alguns períodos considerados duvidosos, tais como:

- Sítio do Velho (34070000), nos períodos de fevereiro/1984 a agosto/1984, e fevereiro/1986 a julho/1981;
- Barão de Grajaú (34311000), durante grande parte do seu histórico, porque é influenciado pela operação da usina de Boa Esperança;
- Teresina (34690000), nos períodos de setembro/82 a dezembro/82, julho/87 a novembro/87, junho/95 a outubro/95 e junho/2000 a outubro/2000;

As vazões médias mensais nos meses listados acima deverão ser obtidas através de correlação com os postos mais adequados.

6.3.2. BACIA DO JEQUITINHONHA

6.3.2.1. AUSÊNCIA DE FICHAS DESCRITIVAS E HISTÓRICO DA ESTAÇÃO

Uma das dificuldades encontradas na análise de consistência dos dados fluviométricos foi a ausência da ficha descritiva e do histórico da estação Coronel Murta (54200000). A maioria das inconsistências observadas neste posto poderia ter sido facilmente explicada pelas anotações do histórico. Como essas anotações não existiam, as causas das inconsistências precisaram ser deduzidas.

A fim de consolidar as informações disponibilizadas para as estações Vila Terra Branca (54010000) e Coronel Murta (54200000), para as quais não foram fornecidas fichas descritivas, foi elaborado um modelo de ficha descritiva pela HICON.

Foram anotadas nessas fichas todas as informações relativas à estação (código, entidade operadora, período de observações, localização, acessibilidade, fotografias, características hidráulicas etc), um histórico da operação das mesmas, com as anotações interessantes, e as principais observações obtidas durante a análise de consistência dos dados fluviométricos.

6.3.2.2. ANÁLISE DOS COTAGRAMAS

Os cotagramas foram analisados em duas etapas. Inicialmente, por inspeção visual, para identificação de erros grosseiros. E, posteriormente, após a comparação dos fluviogramas de postos vizinhos. Durante a análise de consistência dos cotagramas simultâneos de algumas estações da bacia do rio Jequitinhonha, foram observadas diversas inconsistências nos postos estudados que, muitas vezes, não puderam ser solucionadas.

Em alguns casos, as divergências entre os fluviogramas ocorriam esporadicamente e, aparentemente, surgiram em função de erros nas leituras de réguas ou ajustes de curvas-chave. Ainda assim, em alguns casos, não foi possível solucionar algumas destas inconsistências, o que, no entanto, não compromete a qualidade destes postos.

Durante a análise de consistência dos cotagramas simultâneos de algumas estações homônimas, apesar das leituras de réguas coincidirem na maior parte do histórico comum de dados, verificou-se a existência de períodos com diferenças entre as cotas fornecidas pela ANA e pela CEMIG. Estas diferenças, muitas vezes pequenas, ocorreram com freqüência maior nos postos Porto Mandacaru (54150000), Itaobim (54580000), Jequitinhonha (54710000) e Jacinto (54780000).

Nestes casos, optou-se por adotar as cotas que apresentavam melhor consistência entre as estações analisadas. Algumas vezes, decidiu-se utilizar as cotas brutas, pois a consistência realizada previamente parecia duvidosa.

Além disso, excepcionalmente, alguns períodos apresentavam leituras de régua bastante divergentes, por vezes com defasagens constantes de até 1 m nas leituras de régua entre si. Esta situação se repetiu, esporadicamente, em todos os postos homônimos.

6.3.2.3. ANÁLISE DAS MEDIÇÕES DE DESCARGA

Para o posto de Coronel Murta (54200000), no período entre 06/02/1960 e 05/12/1970, observou-se que as medições de descarga fornecidas não correspondem às leituras de régua deste mesmo período. Sendo assim, após uma análise criteriosa, optou-se por desprezar as medições de descarga deste período e assumir as leituras de régua como corretas. A curva-chave utilizada para os outros períodos do posto passou a ser empregada também durante o período duvidoso.

Com isso, Coronel Murta (54200000) passou a ter apenas uma curva-chave para todo o seu período histórico e as inconsistências verificadas anteriormente foram reduzidas pela metade.

De uma maneira geral, a qualidade das medições de descarga recebidas para a maioria dos postos é boa. Apenas os ajustes realizados para as estações Itaobim (54580000), Jacinto (54780000) e Itapebi (54950000) exigiram que uma maior quantidade de medições fosse descartada, o que, no entanto, não chegou a comprometer a qualidade dos dados destes postos.

6.3.2.4. ESTABELECIMENTO DAS CURVAS-CHAVE

Para algumas estações foram disponibilizadas curvas-chave ajustadas pelas entidades responsáveis pela estação e, também, pela ANA ou ANEEL; algumas com ligeiras diferenças apenas no ramo extrapolado. Nesses casos, procedeu-se uma avaliação da qualidade do

ajuste de ambas as curvas recebidas, optando-se pela que apresentasse melhor ajuste. Caso ambos apresentassem bons ajustes, foi dada preferência àquela ajustada pela entidade responsável pela estação.

No entanto, na bacia do rio Jequitinhonha, de maneira geral, os ajustes recebidos precisaram ser revistos por diversos motivos, conforme apresentado a seguir.

- Em Grão Mogol (54110002), optou-se por modificar a curva-chave fornecida pela CEMIG para um ajuste no qual as curvas dos dois período de validade sejam mais coerentes entre si. Já o ajuste da ANA contempla apenas as medições de um dos períodos de validade.
- Em Ponte Vacaria (54165000), foi adotado um novo ajuste, visto que as curvas-chave, além de não se adequarem muito bem às medições de descarga correspondentes, possuem um número muito grande de períodos de validade.
- Em Barra do Salinas (54195000), considerou-se conveniente a modificação da curva-chave fornecida devido ao excesso de curvas e períodos de validade.
- Em Pega (54390000), realizou-se um novo ajuste, porque a curva-chave fornecida, além de apresentar excesso de períodos, não estava bem adequada às medições de descarga dos períodos correspondentes.
- Em Araçuaí (54500000), as curvas-chave fornecidas são divergentes em seus trechos altos, quando analisadas em conjunto. Já a curva fornecida pela CEMIG, em seu trecho baixo, poderia adequar-se melhor às medições, visto que, neste trecho, a dispersão das medições é maior. Sendo assim, optou-se por dividir as medições em três períodos distintos, ajustando-se uma nova curva-chave e aproveitando as duas fornecidas pela ANA (uma das curvas da ANA é igual àquela fornecida pela CEMIG). No entanto, estas três curvas possuem o mesmo trecho de vazões altas, que é o mesmo fornecido pela CEMIG. Além disso, vale ressaltar que, durante os estudos de metodologia, foi necessária a alteração do ramo baixo da curva ajustada para o período entre 01/01/1931 e 25/08/1971, de forma a melhorar a consistência deste posto com os outros da bacia.
- Em Itira (54530000), o ajuste da ANA possui três curvas. Uma delas foi considerada adequada e continuou sendo utilizada. As outras duas foram substituídas por um novo ajuste, buscando estar mais adequado às medições, que também unificou os dois períodos.
- Em Itaobim (54580000), as curvas fornecidas não apresentam um ajuste adequado às medições referentes aos respectivos seus períodos e, também, não cobrem todo o período histórico do posto, visto que para o período entre 01/01/1931 e 31/12/1982 não foi fornecida nenhuma curva-chave, apesar de existirem medições disponíveis nesta data.
- Em Jequitinhonha (54710000), tanto a curva fornecida pela CEMIG quanto aquelas ajustadas pela ANA proporcionam vazões muito altas no trecho extrapolado; suas curvas possuem equações com expoentes elevados. No trecho baixo, verificou-se que as curvas disponibilizadas poderiam melhor se adequar às medições. Além disso, as curvas da ANA são válidas somente a partir de 01/01/1988, e a CEMIG não informou o período de validade de sua curva.
- Em Jacinto (54780000), o ajuste fornecido apresenta divergência entre as curvas em seus trechos extrapolados. Sendo assim, optou-se por realizar novos ajustes.
- Em Itapebi (54950000), a curva-chave fornecida apresenta baixa qualidade no ajuste às medições, tendo sido, portanto, revista.

Durante a reconstituição das séries de vazões naturais na bacia do rio Jequitinhonha, a única alteração necessária, relativamente às curvas-chave definidas durante reunião realizada no ONS que contou com a participação da Comissão de Acompanhamento do Projeto, foi para o

posto de Araçuaí (54500000). Para o período entre 01/01/1931 e 25/08/1971, a tabela antes utilizada na composição do ramo baixo da curva foi desprezada, optando-se por adotar a curva do trecho alto para todas as cotas.

6.3.2.5. ANÁLISE DOS FLUVIOGRAMAS

Da mesma forma que na bacia do rio Parnaíba, a maioria dos problemas identificados nos fluviogramas estão diretamente associados aos problemas encontrados nos cotagramas.

Outras inconsistências encontradas, sobretudo a nível diário, podem ser explicadas pelos efeitos de propagação das vazões entre duas ou mais estações.

Nos casos de inconsistências persistentes por longos períodos observadas entre fluviogramas de estações próximas, buscou-se rever as curvas-chave dos postos.

Na comparação conjunta do fluviograma da estação Itaobim (54580000) com fluviogramas de estações vizinhas, como Itira (54530000) e Jequitinhonha (54710000), foram observadas inconsistências, mesmo a nível mensal, que não puderam ser resolvidas por mudanças nas curvas-chave.

Em menor escala, esta mesma situação também foi verificada em alguns períodos dos postos Porto Mandacaru (54150000), Barra do Salinas (54195000), Coronel Murta (54200000), Jacinto (54780000) e Itapebi (54950000) localizados ao longo do rio Jequitinhonha, quando comparados em conjunto com as estações próximas.

Para algumas estações, foram identificados alguns períodos considerados duvidosos, tais como:

- Vila Terra Branca (54010000), nos períodos de outubro/62 a junho/63 e junho/67 a novembro/67;
- Porto Mandacaru (54150000), nos períodos de março/53 a novembro/53, abril/54 a dezembro/54, julho/58 a abril/59, abril/74 a outubro/74, dezembro/75 a abril/76, maio/89 a setembro/89, fevereiro/91 a setembro/91 e novembro/97 a outubro/98;
- Itaobim (54580000), durante boa parte do seu histórico.
- Itapebi (54950000), nos períodos de outubro/41 a dezembro/42, maio/43 a outubro/43, dezembro/44 a março/45, outubro/46 a janeiro/47, maio/49 a setembro/49, maio/52 a setembro/52, agosto/57 a junho/58, abril/83 a janeiro/85, janeiro/90 a dezembro/90 e maio/2001 a novembro/2005.

As vazões médias mensais nos meses listados acima deverão ser obtidas através de correlação com o posto mais adequado.

6.3.3. BACIA DO DOCE

6.3.3.1. AUSÊNCIA DE FICHAS DESCRITIVAS E HISTÓRICO DA ESTAÇÃO

Uma das dificuldades encontradas na análise de consistência dos dados fluviométricos foi a ausência das fichas descritivas de algumas estações e de um histórico adequado desde a sua instalação. De uma maneira geral, os históricos das estações são muito recentes e precários, tendo sido anotadas apenas as datas em que o hidrometrista visitou o posto, sem qualquer

observação sobre os problemas encontrados e as mudanças observadas ou realizadas pelo próprio. Além disso, para várias estações não foram fornecidas informações suficientes para elaboração de fichas descritivas pela HICON.

Muitas das inconsistências observadas poderiam ter sido facilmente explicadas pelas anotações do histórico. Como essas anotações não existiam, as causas das inconsistências precisaram ser deduzidas e, muitas vezes, leituras de régua ou medições de descarga inconsistentes não puderam ser corrigidas, ficando um período de observação sob suspeita.

6.3.3.2. ANÁLISE DOS COTAGRAMAS

Os cotagramas foram analisados em duas etapas. Inicialmente, por inspeção visual, para identificação de erros grosseiros. E, posteriormente, após a comparação dos fluviogramas de postos vizinhos. Durante a análise de consistência dos cotagramas simultâneos de algumas estações da bacia do rio Doce, foram observadas diversas inconsistências nos postos estudados que, muitas vezes, não puderam ser solucionadas.

Em algumas estações, as divergências entre os fluviogramas ocorriam esporadicamente e, aparentemente, surgiram em função de erros nas leituras de réguas. Em alguns casos, não foi possível solucionar essas inconsistências, o que, no entanto, não chega a comprometer a qualidade geral destes postos, conforme descrito a seguir.

- Cachoeira dos Óculos – Montante (56539000) quando analisado em conjunto com Fazenda Cachoeira D'Antas (56425000) e Raul Soares – Montante (56484998), ou Instituto Florestal Raul Soares (56510000).
- Cenibra (56719998) quando analisado em conjunto com Mario de Carvalho (56696000) e Cachoeira dos Óculos – Montante (56539000).
- Fazenda Ouro Fino (56776500), quando analisado em conjunto com Ferros (56775000).
- Porto Santa Rita (56846000), quando analisado em conjunto com Fazenda Corrente (56845000);
- Governador Valadares (56850000), quando analisado em conjunto com Cenibra (56719998), Naque Velho (56825000) e Porto Santa Rita (56846000).
- Tumiritinga (56920000), quando analisado em conjunto com Governador Valadares (56850000), Vila Matias – Montante (56891900) e Jampruca (56915500).

Em outras estações, durante os estudos realizados, verificou-se um número maior de inconsistências que não puderam ser corrigidas, o que pode levar ao comprometimento dos dados dessas estações. São elas:

- Resplendor (56948000) ou Resplendor – Jusante (56948005), quando analisados com Tumiritinga (56920000), Dom Cavati (56935000) e Barra do Cuieté (56940000) ou Barra do Cuieté – Jusante (56940002).
- Colatina (56994500) ou Colatina – Jusante (56994502), quando analisados com Resplendor (56948000), Resplendor – Jusante (56948005), São Sebastião da Encruzilhada (56990000) e Baixo Guandu (56992000).

Foram identificados alguns casos onde as inconsistências ocorrem em um pequeno período de operação em comum dos postos analisados, isto é, enquanto uma estação estava entrando em operação, a outra estava sendo desativada, tendo sido observado durante as seguintes análises:

- Cachoeira dos Óculos – Montante (56539000), quando analisado com Ponte do Peres (56430000) e Raul Soares (56485000);
- Cachoeira dos Óculos (56540001), quando analisado com Ponte do Peres (56430000) e Raul Soares (56485000);
- Cachoeira Escura (56720000), quando analisado com Acesita (56695000) e Cachoeira dos Óculos – Montante (56539000);
- Governador Valadares (56850000), quando analisado com Cachoeira Escura (56720000), Naque Velho (56825000) e Porto Santa Rita (56846000).

6.3.3.3. ANÁLISE DAS MEDIÇÕES DE DESCARGA

De uma maneira geral, a qualidade das medições de descarga recebidas para a maioria dos postos é boa. Apenas os ajustes realizados para as estações Fazenda Paraíso (56240000), Rio Piracicaba (56610000), Ferros (56775000), Barra do Cuieté (56940000) e Colatina (56994500) exigiram que uma maior quantidade de medições fosse desprezada, o que, no entanto, não chegou a comprometer a qualidade dos dados destes postos.

No caso específico da definição e ajuste das curvas-chave da estação Baixo Guandu (56992000), observou-se que as medições de descarga apresentam grande dispersão, o que indicaria a existência de 24 curvas para períodos de validade diferentes. Além disso, foi realizada uma maior quantidade de descartes de medições recebidas, quando comparado com os outros postos. Essa condição provavelmente é conseqüência de uma calha fluvial com fundo móvel.

6.3.3.4. ESTABELECIMENTO DAS CURVAS-CHAVE

A exemplo das outras bacias, para algumas estações foram disponibilizadas curvas-chave ajustadas pelas entidades responsáveis pela estação e, também, pela ANA ou ANEEL, apresentando ligeiras diferenças apenas no ramo extrapolado. Nesses casos, foi realizada uma avaliação da qualidade do ajuste das curvas recebidas, optando-se pela que apresentasse melhor ajuste. Caso ambos mostrassem bons ajustes, foi dada preferência àquela curva ajustada pela entidade responsável pela estação.

Algumas vezes, as curvas fornecidas por estas entidades só cobriam uma parte do período de operação do posto, tendo sido ajustadas novas curvas para os outros períodos. A seguir, são descritos os motivos que justificaram novos ajustes.

- Em Ponte Nova (56110000), o ajuste fornecido pela ANA não considerou as medições realizadas anteriormente a 05/06/1938. Por isso, para estas medições, foram ajustadas duas novas curvas.
- Em Ponte Nova – Jusante (56110005), optou-se por modificar o ajuste recebido da ANA, de tal forma que as duas curvas do posto tivessem a mesma extrapolação.
- Em Fazenda Paraíso (56240000), considerou-se conveniente a modificação da curva-chave fornecida pela ANA devido ao excesso de curvas e períodos.
- Em Acaiaca (56335000), a partir da análise das medições de descarga, considerou-se conveniente unificar o período entre 23/09/1940 e 12/02/1967, que possuía três ajustes diferenciados. Desta forma, para este período foi adotada apenas uma curva-chave.
- Em Fazenda Ocidente (56337000), considerou-se conveniente a modificação da curva-chave fornecida pela ANA devido ao excesso de curvas e períodos.

- Em Ponte do Peres (56430000), durante a realização da consistência de séries de vazões médias mensais, verificou-se a necessidade da realização de um ajuste que melhor se adequasse às medições de descarga e, por conseqüência, diminuísse as vazões no local do posto, com relação àquelas geradas pela curva-chave da ANA.
- Em Raul Soares (56485000), considerou-se adequada a divisão do período entre 27/05/1936 e 27/12/1956 em dois. Sendo assim, foram adotadas duas curvas-chave, uma para o período entre 27/05/1936 e 14/12/1944 e outra para 15/12/1944 a 27/12/1956. Os demais períodos tiveram suas curvas mantidas.
- Em Cachoeira dos Óculos (56540001), optou-se por realizar um novo ajuste, pois o disponibilizado pela ANA fornecia vazões muito altas no trecho extrapolado, não condizendo com os gráficos cota x área e cota x velocidade.
- Em Rio Piracicaba (56610000), considerou-se conveniente a modificação da curva-chave fornecida pela ANA devido ao excesso de curvas e períodos.
- Em Carrapato – Brumal (56640000), o ajuste da ANA foi alterado, pois possui as extrapolações das curvas, para períodos diversos, eram divergentes. Além disso, a partir da análise das medições de descarga disponibilizadas, optou-se por reduzir o número de curvas e períodos fornecidos.
- Em Nova Era IV (56659998), adotou-se um novo ajuste, pois o disponibilizado pela ANA fornecia vazões muito altas no trecho extrapolado, não condizendo com os gráficos cota x área e cota x velocidade.
- Em Nova Era (56660000), considerou-se conveniente a modificação da curva-chave fornecida pela ANA devido ao excesso de curvas e períodos.
- Em Cenibra (56719998), o ajuste da ANA descartou todas as medições altas realizadas no local, o que foi considerado inconveniente. Com relação às curvas ajustadas pelo agente de geração, elas se mostraram divergentes quando observadas em conjunto, visto que possuem uma tendência de separação em seus trechos extrapolados. Por isso, optou-se por realizar um novo ajuste.
- Em Cachoeira Escura (56720000), considerou-se conveniente a modificação da curva-chave fornecida pela ANA devido ao excesso de curvas e períodos.
- Em Ferros (56775000), considerou-se conveniente a modificação da curva-chave fornecida pela ANA devido ao excesso de curvas e períodos.
- Em Fazenda Ouro Fino (56776500), o ajuste fornecido pela ANA não contempla as medições do período anterior a 01/06/1976. Por isso, foi adicionada mais uma curva-chave, e mais um período, ao ajuste da ANA.
- Em Cachoeira Dona Rita (56780001), o ajuste fornecido pela ANA não contempla as medições de descarga mais antigas. Foram ajustadas, então, duas curvas paralelas a curva fornecida pela ANA.
- Em Fazenda Barraca (56787000), considerou-se conveniente a modificação da curva-chave fornecida pela ANA devido ao excesso de curvas e períodos.
- Em Senhora do Porto (56800000), para o período entre 01/10/1999 e 31/12/2005, a qualidade do ajuste da ANA foi considerada insatisfatória. Sendo assim, foi ajustada uma nova curva-chave para este período. Para os outros períodos, foram mantidas as curvas da ANA.
- Em Fazenda Meloso (56810000), considerou-se conveniente a modificação da curva-chave fornecida pela ANA devido ao excesso de curvas e períodos.
- Em Naque Velho (56825000), as curvas fornecidas, além de se mostrarem divergentes quando observadas em conjunto, apresentam equações com expoentes elevados e um número excessivo de períodos de validade. Com o objetivo de solucionar estes problemas,

optou-se pela realização de um novo ajuste. Além disso, vale ressaltar que, durante os estudos de metodologia, foi necessária a alteração dos períodos de validade das curvas-chave ajustadas, de forma a melhorar a consistência deste posto com os outros da bacia.

- Em São Pedro do Suaçuí (56860000) foi realizado um novo ajuste, de tal forma que as extrapolações de todas as curvas válidas no posto passassem a convergir.
- Em Fazenda Urupuca (56880000) foi realizado um novo ajuste, de tal forma que a extrapolação da curva válida para o período entre 16/05/1968 e 11/11/1971 passasse a convergir com as outras.
- Em Vila Matias – Montante (56891900), considerou-se conveniente a modificação da curva-chave fornecida pela ANA devido ao excesso de curvas e períodos. As duas curvas-chave adotadas são aquelas que melhor se adaptam às medições de descarga dentre as seis fornecidas pela ANA.
- Em Vila Matias (56892000) foi realizado um novo ajuste, de tal forma que as extrapolações de todas as curvas válidas no posto passassem a convergir.
- Em Jampruca (56915500) optou-se por abandonar a curva-chave da ANA, adotando um novo ajuste, que possui extrapolações mais condizentes com o comportamento do rio Itambacuri no local da estação.
- Em Tumiritinga (56920000), considerou-se conveniente a modificação da curva-chave fornecida pela ANA devido ao excesso de curvas e períodos.
- Em Dom Cavati (56935000), considerou-se conveniente a modificação da curva-chave fornecida pela ANA devido ao excesso de curvas e períodos.
- Em Resplendor (56948000), considerou-se conveniente a modificação da curva-chave fornecida pela ANA devido ao excesso de curvas e períodos.
- Em Resplendor-Jusante (56948005), o ajuste da ANA descartou todas as medições altas realizadas no local, o que foi considerado inconveniente. Optou-se, então, pela realização de um novo ajuste. Além disso, as medições, que estavam agrupadas em dois períodos distintos, foram agrupadas em apenas um período, com uma curva.
- Em São Sebastião da Encruzilhada (56990000), considerou-se conveniente a modificação da curva-chave adotada pela ANA devido ao excesso de curvas para os períodos fornecidos.
- Em Baixo Guandu (56992000), o ajuste da ANA possui 48 períodos. Na tentativa de reduzir este número de períodos, foi realizado um novo ajuste, que, no entanto, ainda possui nove curvas divididas em 16 períodos.
- Em Colatina (56994500), considerou-se conveniente a modificação da curva-chave fornecida pela ANA devido ao excesso de curvas e períodos.
- Em Colatina-Jusante (56994502), para este posto, considerou-se que as curvas recebidas não se ajustam bem às medições de descarga. Foi então realizado o ajuste de duas novas curvas, de tal forma que as mesmas passem pelas medições correspondentes ao local do posto.

Durante a reconstituição das séries de vazões naturais na bacia do rio Doce, a única alteração necessária, relativamente às curvas-chave definidas durante reunião realizada no ONS que contou com a participação da Comissão de Acompanhamento do Projeto, foi para o posto de Naque Velho (56825000). A curva válida para o período entre 04/12/1980 e 13/01/1992 teve sua validade estendida para 02/04/1994. Por conseqüência, a curva válida para o período seguinte também teve sue período de validade alterado, passando a ser válida desde 14/01/1992.

O Quadro-resumo das Curvas-chave, apresentado no Anexo B, contém, para as estações fluviométricas da bacia do rio Doce consideradas principais para o estudo, informações detalhadas sobre os ajustes e respectivos períodos de validade.

No mesmo anexo, encontram-se, ainda, figuras ilustrativas das curvas-chave estabelecidas, que foram extraídas dos arquivos digitais em Excel, elaborados por estação e encaminhados anteriormente, onde aparece o estudo detalhado das curvas-chave por posto e período de validade.

6.3.3.5. ANÁLISE DOS FLUVIOGRAMAS

Da mesma forma que na bacia do rio Parnaíba, a maioria dos problemas identificados nos fluviogramas está diretamente associada aos problemas encontrados nos cotagramas.

Outras inconsistências encontradas, sobretudo a nível diário, podem ser explicadas pelos efeitos de propagação das vazões entre duas ou mais estações.

Nos casos de inconsistências persistentes por longos períodos observadas entre fluviogramas de estações próximas, buscou-se rever as curvas-chave dos postos.

Na comparação conjunta do fluviograma da estação Resplendor (56948000), ou Resplendor – Jusante (56948005), com fluviogramas de estações vizinhas, como Tumiritinga (56920000) e Barra do Cuieté (56940000), ou Barra do Cuieté – Jusante (56940002) foram observadas inconsistências, mesmo a nível mensal, que não puderam ser resolvidas por mudanças nas curvas-chave.

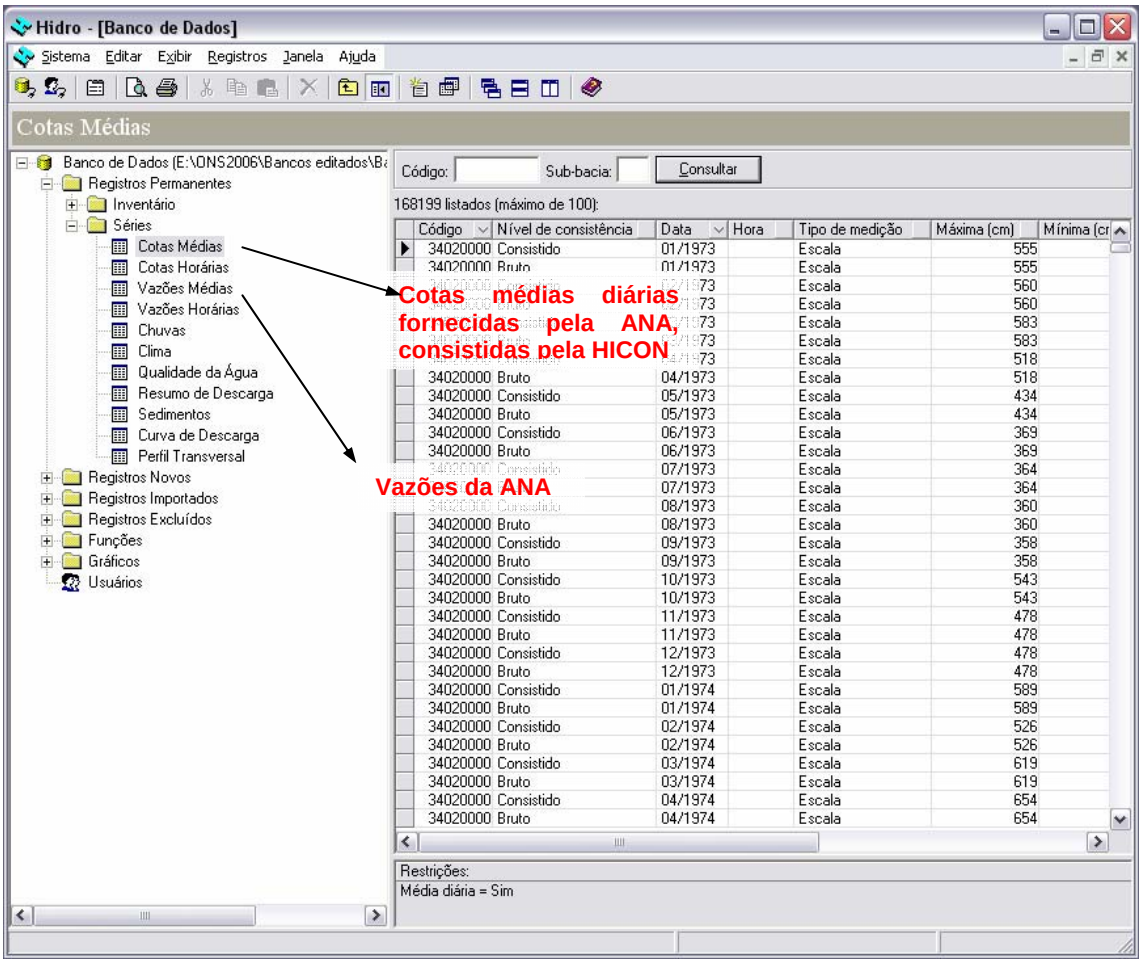
Esta situação também foi observada na análise conjunta dos postos Colatina (56994500), ou Colatina – Jusante (56994502), com Resplendor (56948000), ou Resplendor – Jusante (56948005), São Sebastião da Encruzilhada (56990000) e Baixo Guandu (56992000).

6.4. SÉRIES DE VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS E MENSAIS CONSISTIDAS

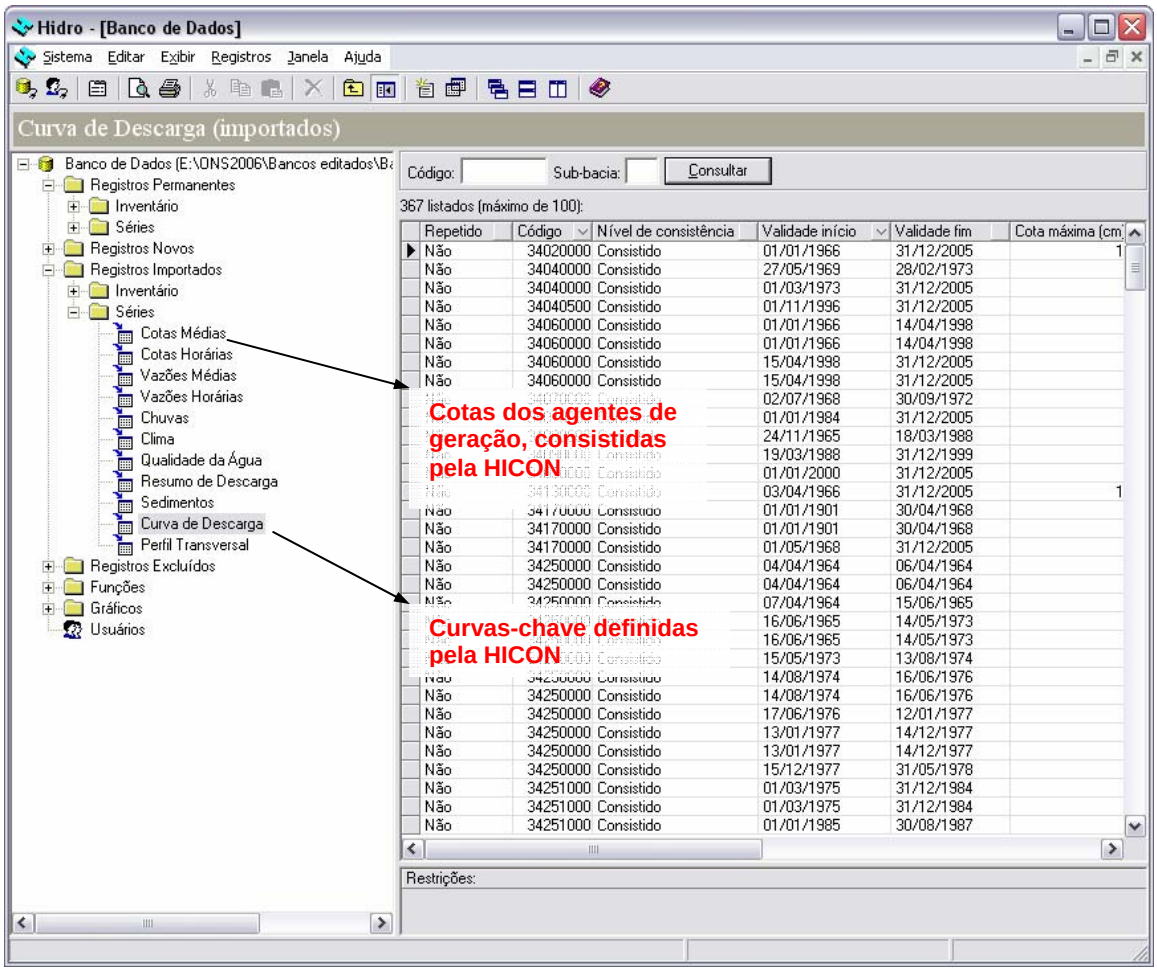
As cotas médias diárias, as curvas-chave estabelecidas e as vazões médias diárias e mensais das estações fluviométricas principais obtidas após as diversas etapas de consistência são apresentadas no arquivo digital *Consistência-Flu.mdb*, em anexo no CD (Anexo E). Este arquivo constitui a base de dados consistidos para o banco de dados HIDRO.

As informações contidas neste arquivo estão dispostas da seguinte forma:

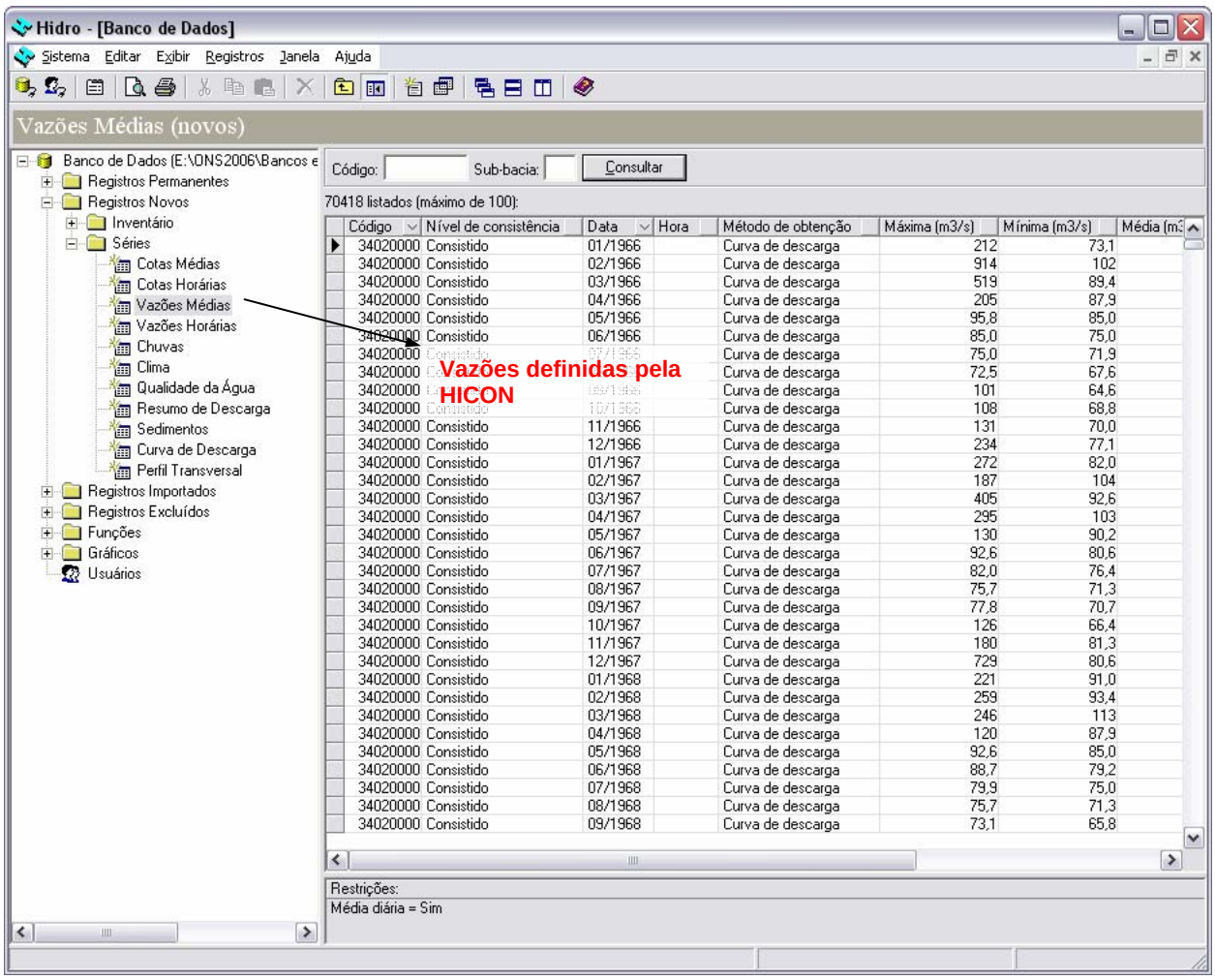
- Em *Registros Permanentes* estão armazenadas as cotas médias diárias, brutas e consistidas, fornecidas pela ANA através do ONS. As cotas que possuem o status de consistidas são as cotas consistidas da ANA que foram consistidas novamente pela HICON e, posteriormente, utilizadas para a geração das vazões da HICON. Nesta mesma pasta, também estão armazenadas as vazões médias diárias fornecidas pela ANA. Estas vazões permaneceram inalteradas, sendo utilizadas apenas para comparações, quando necessárias.



- Em *Registros Importados* estão armazenadas as cotas fornecidas pelos agentes de geração. As cotas que possuem o status de consistidas são as cotas consistidas pelos agentes de geração, que foram consistidas novamente pela HICON e, posteriormente, utilizadas para a geração das vazões da HICON. Nesta pasta também estão armazenadas as curvas-chave definidas pela HICON, que foram utilizadas na geração das vazões.



- Em *Registros Novos* estão armazenadas as vazões geradas pela HICON, através das cotas consistidas e utilizando as curvas-chave definidas. Estas vazões foram utilizadas na reconstituição das séries de vazões naturais.



Código	Nível de consistência	Data	Hora	Método de obtenção	Máxima (m3/s)	Mínima (m3/s)	Média (m3
34020000	Consistido	01/1966		Curva de descarga	212	73,1	
34020000	Consistido	02/1966		Curva de descarga	914	102	
34020000	Consistido	03/1966		Curva de descarga	519	89,4	
34020000	Consistido	04/1966		Curva de descarga	205	87,9	
34020000	Consistido	05/1966		Curva de descarga	95,8	85,0	
34020000	Consistido	06/1966		Curva de descarga	85,0	75,0	
34020000	[illegible]	[illegible]		Curva de descarga	75,0	71,9	
34020000	[illegible]	[illegible]		Curva de descarga	72,5	67,6	
34020000	[illegible]	[illegible]		Curva de descarga	101	64,6	
34020000	[illegible]	[illegible]		Curva de descarga	108	68,8	
34020000	Consistido	11/1966		Curva de descarga	131	70,0	
34020000	Consistido	12/1966		Curva de descarga	234	77,1	
34020000	Consistido	01/1967		Curva de descarga	272	82,0	
34020000	Consistido	02/1967		Curva de descarga	187	104	
34020000	Consistido	03/1967		Curva de descarga	405	92,6	
34020000	Consistido	04/1967		Curva de descarga	295	103	
34020000	Consistido	05/1967		Curva de descarga	130	90,2	
34020000	Consistido	06/1967		Curva de descarga	92,6	80,6	
34020000	Consistido	07/1967		Curva de descarga	82,0	76,4	
34020000	Consistido	08/1967		Curva de descarga	75,7	71,3	
34020000	Consistido	09/1967		Curva de descarga	77,8	70,7	
34020000	Consistido	10/1967		Curva de descarga	126	66,4	
34020000	Consistido	11/1967		Curva de descarga	180	81,3	
34020000	Consistido	12/1967		Curva de descarga	729	80,6	
34020000	Consistido	01/1968		Curva de descarga	221	91,0	
34020000	Consistido	02/1968		Curva de descarga	259	93,4	
34020000	Consistido	03/1968		Curva de descarga	246	113	
34020000	Consistido	04/1968		Curva de descarga	120	87,9	
34020000	Consistido	05/1968		Curva de descarga	92,6	85,0	
34020000	Consistido	06/1968		Curva de descarga	88,7	79,2	
34020000	Consistido	07/1968		Curva de descarga	79,9	75,0	
34020000	Consistido	08/1968		Curva de descarga	75,7	71,3	
34020000	Consistido	09/1968		Curva de descarga	73,1	65,8	

Cabe ressaltar que, mesmo em nível mensal, não foi possível eliminar todas as inconsistências observadas. Nos períodos em que isso acontece, as séries de vazões devem ser consideradas com reservas, dando preferência à utilização de séries de estações que sejam consistentes nestes períodos.

7. ANÁLISE DOS DADOS OPERATIVOS

7.1. DADOS CARACTERÍSTICOS DOS APROVEITAMENTOS

Os dados físicos e operativos relativos aos aproveitamentos hidrelétricos existentes nas bacias dos rios Parnaíba, Jequitinhonha e Doce, e que fazem parte do SIN, foram essenciais para o desenvolvimento do Estudo de Reconstituição de Vazões Naturais.

Para cada aproveitamento hidrelétrico, foram solicitadas ao agente de geração responsável pela sua operação, as seguintes informações:

- Política de operação da usina;
- Vazões de restrição máxima e mínima;
- Registros das vazões afluentes, turbinadas e vertidas;
- Registros dos níveis d'água do reservatório;
- Registros diários dos níveis d'água a jusante do canal de fuga;
- Históricos diários de geração da usina.
- Curva cota x área x volume (tabela e equações ajustadas);
- Curva de descarga do vertedouro;
- Curva-chave do canal de fuga;
- Metodologia utilizada no balanço hídrico;
- Rendimento das turbinas/ Curva de produtibilidade empregada no balanço hídrico;
- Registros específicos do período de enchimento;
- Série de vazões médias mensais do projeto;
- Metodologia de obtenção da série de vazões médias mensais;
- Área de drenagem do eixo do barramento;
- Lista de estações utilizadas em modelo de previsão, se for o caso.

As solicitações foram encaminhadas, pelo ONS, aos agentes de operação com aproveitamentos existentes nas três bacias no período estudado.

O diagrama de disponibilidade apresentado no Anexo 7 ilustra a situação dos dados operativos recebidos, e que foram submetidos à análise de consistência. Em alguns casos, depois das buscas mais apuradas de cada Agente, concluiu-se que os dados de alguns períodos estavam definitivamente extraviados. Essas condições também são indicadas nesse diagrama, já que constituem limitações à aplicação da metodologia de reconstituição de séries de vazões naturais nestes locais.

No mesmo anexo, um quadro resume a situação dos dados físicos recebidos e também distingue, para cada tipo de informação solicitada, os períodos para os quais foram recebidos dados operativos diários ou somente mensais.

Além disso, em um outro quadro, é detalhada a situação dos dados relativos aos períodos iniciais de operação das usinas, relativos à fase de enchimento dos reservatórios. Em alguns casos foi possível obter registros desse período, enquanto

que em outros será necessário conviver com esta deficiência de informação para a reconstituição. Outra dificuldade encontrada relacionada com o enchimento dos reservatórios refere-se à definição dos trechos inferiores das curvas cota-área-volume dos reservatórios, pois em muitos casos, os Agentes possuem apenas a faixa destas curvas que é utilizada no dia-a-dia da operação das usinas, correspondente ao volume útil dos reservatórios.

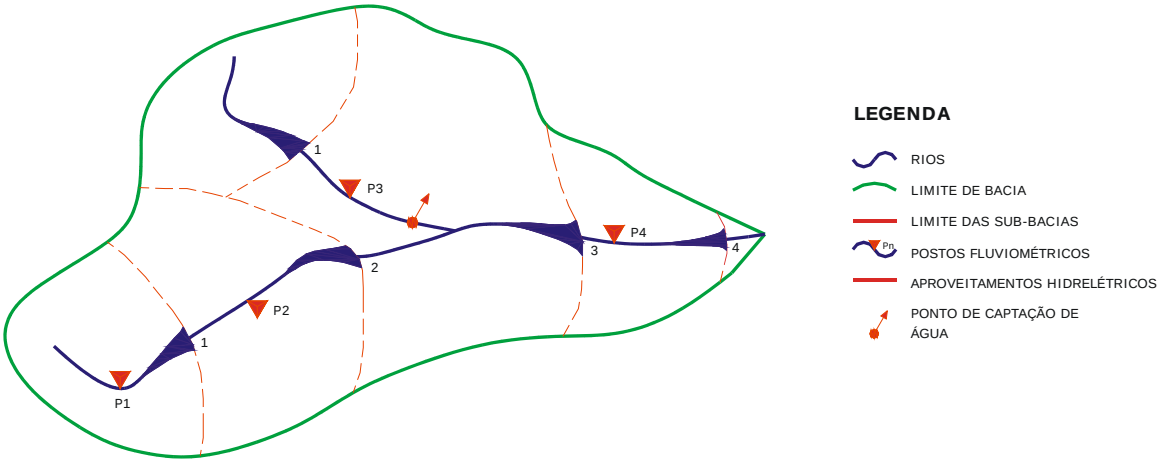
No Anexo 8, são apresentadas fichas cadastrais resumidas de oito das dez usinas existentes nas bacias, confeccionadas com base nas fichas cadastrais mais completas fornecidas pelo ONS. Nestas fichas, foram incluídas algumas informações adicionais elaboradas no presente trabalho, tais como localização das usinas e áreas de drenagem obtidas na base cartográfica elaborada. Não foram recebidas fichas referentes às usinas de Candonga e Sá Carvalho, ambas operando na bacia do rio Doce.

7.2. ABORDAGEM GERAL DA ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DOS DADOS OPERATIVOS

7.2.1. CONCEITOS GERAIS E TERMINOLOGIA EMPREGADA

A Figura 7.2.1, a seguir, apresenta um esquema genérico de uma bacia hidrográfica com a localização de aproveitamentos hidrelétricos, reservatórios de regularização, postos fluviométricos e pontos de captação de água para usos diversos. Alguns dos conceitos e terminologias a serem empregados no presente trabalho são apresentados e discutidos com base nesta figura inicial.

FIGURA 7.2.1
ESQUEMA DA BACIA HIDROGRÁFICA



Os pontos de interesse para determinação das séries de vazões naturais são os locais dos aproveitamentos hidrelétricos existentes e programados para futura implantação nas bacias.

Os locais onde existem postos fluviométricos com observações diárias de níveis d'água e medições de vazão são pontos auxiliares, e a partir das vazões conhecidas nestes pontos é possível calcular as vazões nos locais dos aproveitamentos para os períodos anteriores à implantação dos reservatórios.

Numerando-se todos os pontos em ordem crescente, de montante para jusante, chega-se a uma topologia geral na qual o local *i+1* fica imediatamente a jusante do local *i*. Uma exceção é o caso de um aproveitamento situado a jusante de uma confluência, que pode apresentar dois aproveitamentos imediatamente a montante, um em cada confluente.

A **Vazão Observada** num dado local no dia t – $Q_{obs}^{i}(t)$ – é a vazão calculada ou medida a partir de observações registradas (leituras de régua em postos fluviométricos, registros operativos de usinas e reservatórios).

A **Vazão Natural** neste mesmo local – $Q_{nat}^{i}(t)$ – é vazão que teria sido observada neste local caso não existissem retiradas de água para consumo nem reservatórios em operação a montante do ponto considerado.

A vazão natural pode ser calculada a partir da vazão observada, desde que sejam conhecidos os processos antrópicos implantados na bacia a montante do ponto *i*, tais como reservatórios em operação e retiradas de água para usos consuntivos diversos.

Vazão Incremental entre dois locais consecutivos ao longo da calha fluvial – $Q_{increm}^{i+1}(t)$ é a contribuição da sub-bacia incremental entre os locais *i* e *i+1*, que, por hipótese, aflui diretamente ao local *i+1.*

Vazão Consumida entre dois locais consecutivos ao longo da calha fluvial – $Q_{consum}^{i+1}(t)$ – é a vazão retirada do corpo hídrico para usos consuntivos na bacia incremental *i→i+1*, que afeta diretamente as afluências no ponto *i+1.*

Evaporação Líquida em um dado reservatório – $Q_{evap}^{i}(t)$ – é a diferença entre o volume correspondente à evaporação real sobre a área do reservatório, num dado período, e o volume correspondente à evapotranspiração real que ocorreria nessa mesma área, caso não existisse tal reservatório, dividida pela duração do período considerado .

Precipitação Líquida em um dado reservatório – $Q_{prec}^{i}(t)$ – é a diferença entre o volume precipitado diretamente sobre a área do reservatório, num dado período, e a parcela deste volume que se transformaria em escoamento, caso não existisse o reservatório, dividida pela duração do período considerado.

Vazão Armazenada – $Q^{i}_{armaz}(t)$ – é o volume de água retido dentro do reservatório em um determinado intervalo de tempo, dividido por este intervalo.

Transferência de Vazões é o processo de obtenção de vazões num local de interesse a partir de vazões conhecidas em outros locais, por métodos estatísticos (correlação, proporcionalidade de áreas de drenagem) ou por métodos hidrológicos (propagação pela calha fluvial).

Vazão Propagada $\left[\overrightarrow{Q^{i}(t)}^{\,i\to i+1}\right]$ é a vazão transferida de um local *i* para outro *i+1*, situado a jusante, por propagação hidrológica.

7.2.2. APRECIAÇÃO INICIAL DOS DADOS OPERATIVOS

Os dados recebidos dos Agentes de Geração foram submetidos a uma apreciação geral inicial, enquanto eram armazenados em uma forma adequada à realização das futuras análises. Nesta fase, foram identificadas as principais lacunas existentes nos registros recebidos, dando origem a solicitações complementares.

Durante as visitas de inspeção às usinas haviam sido registrados os métodos empregados em cada local para obtenção dos dados operativos básicos (níveis d'água no reservatório e no canal de fuga, geração, vazões vertidas e turbinadas). Posteriormente, foram recebidos ainda, de cada Agente, documentos descrevendo as metodologias de cálculo das vazões turbinadas a partir dos níveis d'água de montante e jusante e da geração da usina.

De uma maneira geral, as vazões turbinadas são calculadas a partir da energia gerada hora a hora em cada unidade geradora da usina, sendo somadas e integradas ao final do dia para a obtenção da vazão turbinada média diária. O cálculo da vazão turbinada horária é feito com auxílio de tabelas de produtibilidade, sendo uma operação automatizada em todas as usinas visitadas.

Os registros de níveis d'água nos reservatórios são feitos com precisão de centímetro, ou seja, as cotas reais são sempre arredondadas para o centímetro mais próximo. Este arredondamento acarreta variações nas vazões calculadas por balanço hídrico, para mais ou para menos, que acabam sendo compensadas ao longo do tempo. Seu efeito é mais significativo em reservatórios que apresentam grandes áreas superficiais, comparativamente às áreas incrementais associadas.

Visando uma caracterização inicial dos reservatórios das bacias dos rios Parnaíba, Jequitinhonha e Doce, foram elaboradas as tabelas apresentadas no Quadro 7.2.1, a seguir, que mostra, para cada aproveitamento, os níveis d'água máximo e mínimo normal, os volumes e áreas associados a estas cotas.

Pode-se observar, neste quadro, que os reservatórios de Boa Esperança, na bacia do rio Parnaíba, e Irapé, na bacia do Jequitinhonha, possuem volumes úteis significativos, ou seja, grande capacidade de regularização.

Com relação ao espelho d'água, além dos reservatórios citados, os reservatórios de Itapebi, também na bacia do Jequitinhonha, e Aimorés, na bacia do rio Doce, também apresentam áreas superficiais elevadas.

QUADRO 7.2.1
CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS RESERVATÓRIOS DOS APROVEITAMENTOS HIDRELÉTRICOS DAS BACIAS DOS RIOS PARNAÍBA, JEQUITINHONHA E DOCE

APROVEITAMENTO	Nível do Reservatório		Área do Reservatório		Volume do Reservatório			Área de Drenagem (km²)
	Max. Normal (m)	Min. Normal (m) (1)	NA máx normal (km²)	NA mín normal (km²)	NA máx normal (hm³)	NA mín normal (hm³)	Volume Útil (hm³)	
UHE Boa Esperança	304,00	298,00	363,0	267,0	5085	3173	1912	84746
UHE Irapé	510,00	470,80	148,51	69,66	5963,92	2271,15	3692,77	15880
UHE Itapebi	110,00	107,00	61,58	55,72	1633,56	1445,27	188,29	67884
UHE Candonga	327,50	326,50	2,86	2,71	54,44	52,09	2,35	9007
UHE Guilman Amorim	495,00	492,00	1,0	0,7	11,521	8,80	2,73	4036
UHE Sá Carvalho								4410
Antônio Dias	372,50	369,50	0,34 (2)	0,11 (2)	0,8389	0,1825	0,6564	4213
Severo	369,50	367,00	0,02 (2)	0,01 (2)	0,0793	0,0432	0,0361	197
UHE Salto Grande								9012
Santo Antônio	362,50	356,60	1,3 (2)	1,0 (2)	20,50	13,350	7,150	6541
Guanhães	356,00	346,00	5,59	3,59	78,0	31,0	47,0	2472
UHE Porto Estrela	257,70	248,70	3,425	2,298	98,98	65,86	33,12	9408
UHE Aimorés	90,00	89,60	30,868	30,868	185,22	173,08	12,14	62437
UHE Mascarenhas	60,75	59,50	3,9	-(3)	21,85	17,812	4,04	73708

(1) Para os aproveitamentos com reservatórios a fio d'água, as faixas operativas foram determinadas utilizando-se os níveis mínimo minimorum fornecidos pelos Agentes.

(2) Valores obtidos por aproximação a partir da curva cota x volume

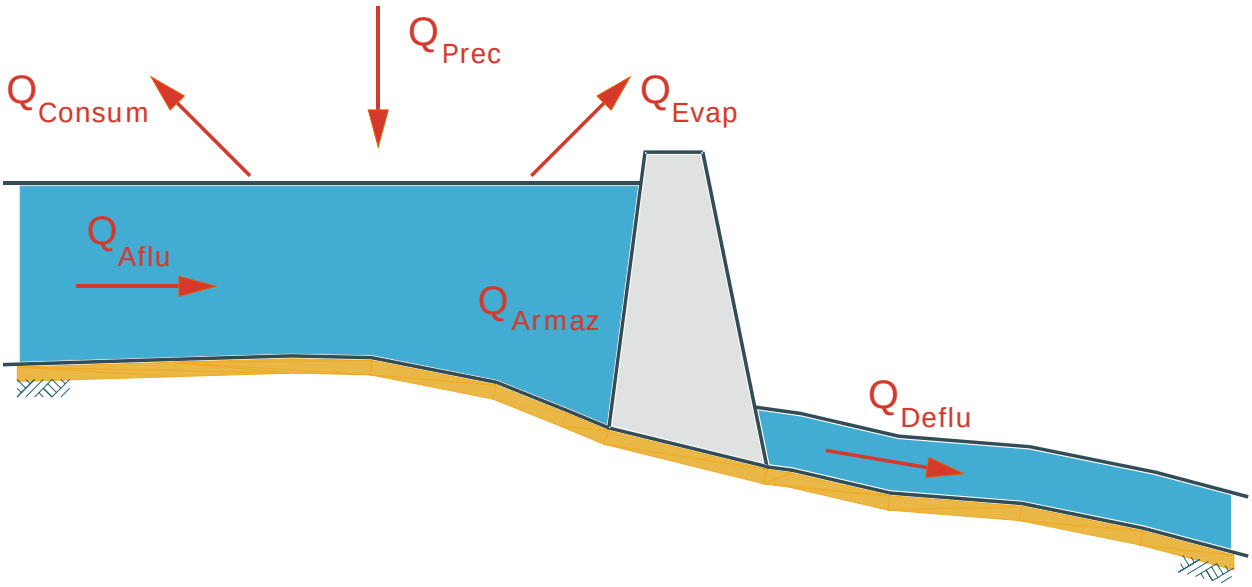
(3) Informação não disponibilizada

7.2.3. BALANÇO HÍDRICO EM UM RESERVATÓRIO

Na reconstituição das vazões naturais em um determinado local, para os períodos posteriores à implantação das usinas e seus respectivos reservatórios, foi necessário utilizar o conceito de balanço de um reservatório, descrito sucintamente a seguir.

A equação de continuidade estabelece que o volume diário afluente ao reservatório – $Q^i_{aflu}(t)$ – somado ao volume correspondente à precipitação líquida – $Q^i_{prec}(t)$ – é igual ao volume defluente – $Q^i_{deflu}(t)$ somado ao volume armazenado ao longo do dia – $Q^i_{armaz}(t)$, mais o volume retirado pela evaporação líquida – $Q^i_{evap}(t)$, mais o volume consumido por usos diversos existentes a montante do reservatório – $Q^i_{consum}(t)$. A Figura 7.2.2 ilustra o que foi dito.

FIGURA 7.2.2
BALANÇO HÍDRICO EM UM RESERVATÓRIO



De uma forma geral, pode-se escrever:

$$Q^i_{aflu}(t) + Q^i_{prec}(t) = Q^i_{deflu}(t) + Q^i_{armaz}(t) + Q^i_{evap}(t) + Q^i_{consum}(t)$$

Nos procedimentos rotineiros de operação das usinas, o cálculo das vazões afluentes é realizado por um balanço hídrico simplificado, onde são desprezadas as parcelas de

precipitação e evaporação líquidas e de uso consuntivo da água do reservatório, de modo que a equação da continuidade pode ser escrita da seguinte forma:

$$Q^{i}_{aflu}(t) = Q^{i}_{deflu}(t) + Q^{i}_{armaz}(t)$$

Para isso, dispõe-se usualmente de registro das seguintes variáveis operativas:

- Nível d'água diário do reservatório (montante) às 24h00;
- Nível d'água diário do canal de fuga (jusante) às 24h00;
- Vazão turbinada média diária; e
- Vazão vertida média diária.

A partir desses dados é possível calcular as duas parcelas da equação anterior, pois

$$Q^{i}_{deflu}(t) = Q^{i}_{turb}(t) + Q^{i}_{vert}(t)$$

e o volume armazenado ao longo do dia – $Q^{i}_{armaz}(t)$ pode ser calculado a partir da curva cota-volume e dos níveis d'água do reservatório no início e no final do dia.

Dessa forma, para um reservatório isolado, estes dados permitem o cálculo direto da vazão média diária afluente (***Q_{aflu}***), através do balanço hídrico simplificado, cuja equação pode ser escrita de uma forma mais conveniente:

$$Q^{1}_{aflu}(t) = Q^{1}_{armaz}(t) + Q^{1}_{turb}(t) + Q^{1}_{vert}(t)$$

7.2.4. ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DO BALANÇO HÍDRICO

As análises realizadas com os dados operativos recebidos tiveram por objetivo localizar e eliminar, se possível, as inconsistências existentes nas variáveis de balanço hídrico, provocadas por erros acidentais grosseiros ou sistemáticos.

Os erros grosseiros foram identificados através das três verificações listadas a seguir, numeradas na seqüência de sua aplicação. Após cada uma dessas verificações, os dados identificados como inconsistentes eram assinalados e alterados.

i. As variações diárias de nível do reservatório apresentam valores exagerados? Essa verificação de variações diárias suspeitas foi feita por análise gráfica dos níveis do reservatório informados.

ii. A evolução do nível do reservatório, que indica a vazão armazenada, é compatível com a diferença entre as vazões afluente e defluente? Obviamente,

se o nível do reservatório subiu, a diferença deve ser positiva, e se o nível do reservatório baixou, a diferença deve ser negativa.

iii. A vazão defluente é igual à soma das vazões turbinada e vertida?

Aprofundando a análise e utilizando o conceito de balanço hídrico no reservatório, buscou-se identificar outros erros, inclusive sistemáticos, e suas possíveis causas, através das seguintes verificações adicionais.

i. Apreciação qualitativa da curva cota-volume, através de análises gráficas e da verificação dos seus limites de aplicação.

ii. A vazão afluente fornecida pelo Agente corresponde à soma da vazão defluente com a variação de volume do reservatório? Caso o Agente tenha calculado a vazão afluente por balanço hídrico, esta verificação permite identificar outros erros que ainda não haviam sido percebidos nas análises anteriores.

iii. Cálculo do rendimento médio diário da usina em função da energia gerada e dos níveis de montante e jusante, visando identificar e eliminar valores absurdos (por exemplo, rendimentos superiores a 1).

7.2.5. ANÁLISE DE CONTINUIDADE NOS CURSOS D'ÁGUA

Após as análises de consistência baseadas no balanço hídrico do reservatório, foram feitas verificações com base no conceito da continuidade ao longo do trecho do curso d'água no qual o reservatório está inserido.

Este trabalho foi feito em duas etapas. Na primeira etapa foram tratados os dados diários e eliminadas as inconsistências inerentes a esta escala. A análise dos dados mensais, feita posteriormente, permitiu verificar quais das inconsistências não solucionadas na análise diária acarretavam inconsistências nas séries mensais, dando origem, nestes casos, a novas tentativas de correção.

Na análise dos dados diários, em primeiro lugar, foram comparados os hidrogramas das vazões defluentes de uma usina, calculadas por balanço hídrico do seu reservatório, com os das vazões afluentes à usina imediatamente a jusante, também calculadas por balanço hídrico.

Além disso, foram selecionados postos fluviométricos intermediários, cujas séries de vazões médias diárias foram consideradas como séries de referência. Nesses casos, o hidrograma da vazão afluente obtida por balanço hídrico foi comparado com a série de montante e, da mesma forma, o hidrograma das vazões defluentes foi comparado com a série de referência de jusante.

É importante ressaltar que os dados dos postos fluviométricos empregados como referência na análise dos dados operativos foram os mais atualizados possível, na data da análise, já que a consistência de dados fluviométricos também estava em andamento naquela ocasião. Nos casos de postos homônimos, foi feita uma composição para o local, aproveitando para cada período os dados do posto que parecesse mais consistente. Esta composição é apresentada em detalhe no Relatório de Análise de Consistência dos Dados Fluviométricos das Estações.

Nos gráficos apresentados nas planilhas de consistência, os hidrogramas das vazões de referência são plotados com linhas pontilhadas, na mesma cor das linhas correspondentes aos dados operativos da usina, plotados com linha cheia.

As inconsistências eram identificadas quando a relação entre o hidrograma afluente à usina, obtido por balanço hídrico, e o hidrograma da referência de montante apresentava alguma mudança de comportamento não justificável, sem que houvesse um motivo aparente para se suspeitar da própria referência. O mesmo raciocínio se aplicava analisando-se a relação entre a vazão defluente e a referência de jusante.

Como a vazão afluente à usina por balanço é a soma entre a defluente e a armazenada, as situações em que havia inconsistência a montante e não havia a jusante tendiam a ser resolvidas com alterações nos níveis do reservatório informados. As situações em que havia inconsistência a jusante, por sua vez, tendiam a ser resolvidas com alterações na defluência, mediante correções nas vazões turbinadas ou vertidas. Corrigiam-se as vazões turbinadas quando os rendimentos estimados com os dados de geração apresentavam valores suspeitos.

Às vezes estas inconsistências de continuidade a jusante eram causadas, também, por registros equivocados de vazão vertida. Estes casos, em geral, exigiam a análise de dados fluviométricos para confirmar a existência ou não de tais vertimentos.

As vazões afluentes informadas pelo operador, quando consideravelmente diferentes da obtida por balanço hídrico, eram usadas, também, como referência, pois podiam representar uma correção feita pelo Agente de uma inconsistência não perceptível através da análise dos dados brutos.

Em alguns casos, a análise de continuidade foi feita considerando diversas usinas a jusante, quando não se conseguia solucionar divergências entre usinas vizinhas.

7.3. ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA ESPECÍFICA DE CADA USINA

A análise de consistência de dados operativos das usinas foi totalmente realizada utilizando planilhas eletrônicas Excel, desenvolvidas para realizar os cálculos de balanço hídrico, verificação de continuidade, estimação de vazões incrementais, correção de dados operativos e elaboração de gráficos analíticos.

As planilhas utilizadas são descritas detalhadamente no Relatório de Análise de Consistência dos Dados Operativos dos Aproveitamentos Hidrelétricos (**ONS-062/07**).

Os resultados da análise de consistência dos dados operativos diários e mensais das usinas encontram-se apresentados em meio magnético, anexados a este relatório (Anexo G).

7.3.1. COMENTÁRIOS GERAIS SOBRE A ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA

Os níveis d'água dos reservatórios são medidos em centímetro, apresentando, portanto, imprecisões que podem ser de grande importância na análise de consistência, cujos dados foram empregados na análise de consistência dos dados operativos.

O Quadro 7.3.1 apresenta, para cada um dos aproveitamentos das bacias dos rios Parnaíba, Jequitinhonha e Doce, as vazões médias associadas à variação de 1 cm/dia no nível do reservatório. Estas vazões são apresentadas em valores absolutos e, também, como um percentual da vazão média da bacia incremental associada.

O Quadro mostra ainda o tempo de residência médio de cada reservatório, obtido dividindo-se o volume total do reservatório pela vazão natural média de longo termo. Para os valores do Quadro 7.3.1 foram utilizadas as vazões médias existentes no SIPOT – Sistema de Informações do Potencial Energético Brasileiro.

Observa-se no Quadro 7.3.1 que os reservatórios de Boa Esperança, no rio Parnaíba, e Irapé, no rio Jequitinhonha, são os maiores, proporcionalmente à área de drenagem que controlam (ou à vazão média de longo termo afluente), apresentando tempos de residência entre quatro meses (Boa Esperança) e quinze meses (Irapé).

Os mesmos reservatórios de Boa Esperança e Irapé são os que apresentam maiores vazões associadas à variação de 1 cm/dia no nível d'água. Por este motivo, a imprecisão no registro dos níveis d'água desses reservatórios tende a resultar em grandes oscilações nos hidrogramas afluentes obtidos por balanço hídrico. Ao longo do tempo, estas oscilações tendem a se compensar.

Considerando as vazões expressas em percentual da vazão média da bacia incremental, verifica-se que, somente para o reservatório de Porto Estrela, elas representam valores superiores a 50% das respectivas vazões incrementais médias.

Considerando os períodos de estiagem, esta relação pode chegar a 100%, ou seja, para esse aproveitamento esperam-se, nas estiagens, oscilações nos hidrogramas afluentes diários com magnitudes superiores à própria vazão incremental. Seguem-se os reservatórios de Boa Esperança e Irapé, com valores da ordem de 10% das respectivas vazões incrementais médias.

QUADRO 7.3.1
CARACTERÍSTICAS DOS RESERVATÓRIOS DAS BACIAS DOS RIOS PARNAÍBA, JEQUITINHONHA E DOCE

Aproveitamento	Tempo de Residência (dias)	Vazão Correspondente à Variação diária de 1 cm no Reservatório			
		Para o NA máx normal		Para o NA mín normal	
		(m^3/s)	(% da vazão incremental)	(m^3/s)	(% da vazão incremental)
UHE Boa Esperança	130,0	46,30	10,23%	34,72	7,67%
UHE Irapé	455,6	16,09	10,62%	6,83	4,51%
UHE Itapebi	47,7	7,87	3,22%	6,25	2,55%
UHE Candonga	4,0	0,29	0,19%	0,29	0,19%
UHE Guilman Amorim	1,6	0,12	0,14%	0,08	0,10%
UHE Sá Carvalho					
Antônio Dias	0,1	0,05	-	0,01	-
Severo	0,2	0,00	0,00%	0,00	0,00%
UHE Salto Grande					
Santo Antônio	-	-	-	-	-
Guanhães	6,2	0,69	0,48%	0,46	0,32%
UHE Porto Estrela	4,8	0,39	67,85%	0,27	45,90%
UHE Aimorés	2,7	3,44	0,87%	3,44	0,87%
UHE Mascarenhas	0,3	0,41	0,30%	0,36	0,27%

Algumas situações observadas durante a análise de consistência se revelaram comuns a um conjunto de usinas ou mesmo a todas elas. Com o objetivo de evitar a repetição enfadonha de comentários em vários pontos do relatório, e procurando situar estes casos dentro do contexto de cada bacia, estas situações são comentadas a seguir.

As curvas cota-volume recebidas dos Agentes cobriam, de forma geral, toda a faixa operativa dos respectivos reservatórios. Apenas para os reservatórios de Antônio Dias, da usina Sá Carvalho, e de Guanhães, da usina de Salto Grande, foi necessário extrapolar a curva cota-volume para possibilitar os volumes acima das cotas 373,00m e 356,00m, respectivamente. Observou-se também carência de dados para que os períodos de enchimento fossem devidamente analisados.

Verificou-se que, em todos os aproveitamentos, os cálculos de balanço hídrico foram realizados com base em uma única tabela cota-volume, ao longo de todo o período de operação da usina. Deve-se considerar, no entanto, que esta tabela dificilmente é capaz de retratar a capacidade real de armazenamento do reservatório após muitos anos de operação da usina, tendo em vista a evolução do processo de assoreamento dos reservatórios.

Esta simplificação não tem conseqüências indesejáveis nos dados operativos das usinas operadas ao fio d'água, pois os possíveis desvios no balanço hídrico devido às variações de nível do reservatório são compensados no dia-a-dia da operação.

Já para os reservatórios de regularização plurianual, como Boa Esperança e Irapé, a situação pode gerar alguma inconsistência, caso o assoreamento seja grande, pois estes reservatórios passam longos períodos sendo deplecionados. Nestes períodos, o volume liberado pelo reservatório pode estar sendo superestimado, conduzindo a vazões afluentes calculadas por balanço subestimadas. Durante o re-enchimento do reservatório, o processo se inverte e o balanço geral é compensado, mas as vazões afluentes calculadas por balanço podem estar sendo superestimadas.

Não foi possível detectar nos dados qualquer discrepância que pudesse ser explicada por este fato, mas considerando a idade e as dimensões dos reservatórios de alguns aproveitamentos, seria interessante se dispor de uma avaliação da parcela atualmente comprometida de seus volumes úteis.

Para a UHE Mascarenhas, no rio Doce, embora se saiba que houve um intenso processo de assoreamento do reservatório desde a implantação da usina, foi empregada no cálculo do balanço hídrico apenas a curva cota-volume atual, revisada a partir de batimetria realizada em 1998. Como os dados operativos diários foram disponibilizados somente a partir de 1999, a curva atual reflete melhor a realidade.

Para todos os aproveitamentos foram feitas verificações de rendimento das turbinas, tomando por base dados de geração, níveis d'água a montante e a jusante e vazões turbinadas. Na falta dos níveis de jusante, os mesmos foram estimados com base nas curvas-chave informadas pelo SIPOT ou pelo agente. As análises de rendimento são apresentadas nas planilhas auxiliares das usinas, sendo comentados no texto apenas os casos mais relevantes para as verificações de consistência.

Um resumo das análises e correções feitas para os dados de cada usina é apresentado a seguir, nos subitens 7.3.2 a 7.3.7.

7.3.2. CONSISTÊNCIA DOS DADOS OPERATIVOS DA UHE BOA ESPERANÇA

O enchimento do reservatório da UHE Boa Esperança foi concluído em outubro de 1970. O primeiro registro de nível d'água do reservatório data de 08/05/1970. Para o período anterior a esta data foram disponibilizadas somente vazões afluentes a partir de 01/01/1970 e geração a partir de 31/01/1970. A usina é operada pela CHESF.

Para análise de consistência das vazões afluentes da UHE Boa Esperança foram utilizadas como referência de montante as séries de vazões diárias dos postos fluviométricos de Ribeiro Gonçalves e Sítio do Velho, no rio Parnaíba, Fazenda Bandeira, no rio Uruçui Preto e São Félix de Balsas, no rio das Balsas, que controlam mais de 80% da área de contribuição ao aproveitamento. Como referência de jusante foram utilizadas as séries de vazões diárias dos postos fluviométricos de Barão de

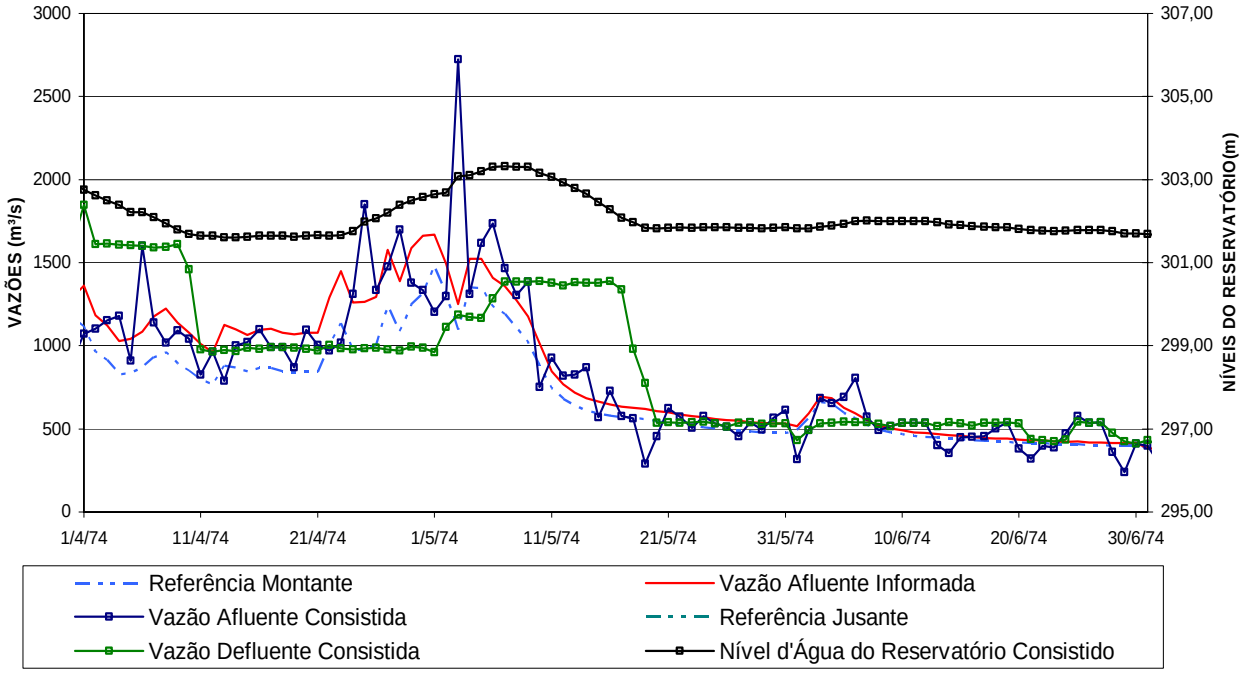
Grajaú e Floriano, no rio Parnaíba, e Cristino Castro, Cristino Castro II e Barra do Lance, todos no rio Gurguéia.

A referência fluviométrica de montante foi concebida como simples soma de vazões dos postos, sem transferência proporcional por área de drenagem. Foi feito dessa forma porque as vazões específicas nos postos não eram iguais às da usina. Em alguns trechos da série em que havia falta de dados dos afluentes das Balsas ou Uruçuí Preto, a série de referência de montante não era corrigida, mesmo que apresentasse valores menores do que o esperado, sendo esse efeito levado em conta durante o trabalho de consistência das séries operativas.

Foram identificados diversos níveis inconsistentes no reservatório, levando inclusive a vazões afluentes diárias negativas quando calculadas por balanço. Os níveis foram, então, consistidos eliminando-se este problema.

A Figura 7.3.1, a seguir, apresenta um trecho de hidrograma diário após a correção das inconsistências mencionadas.

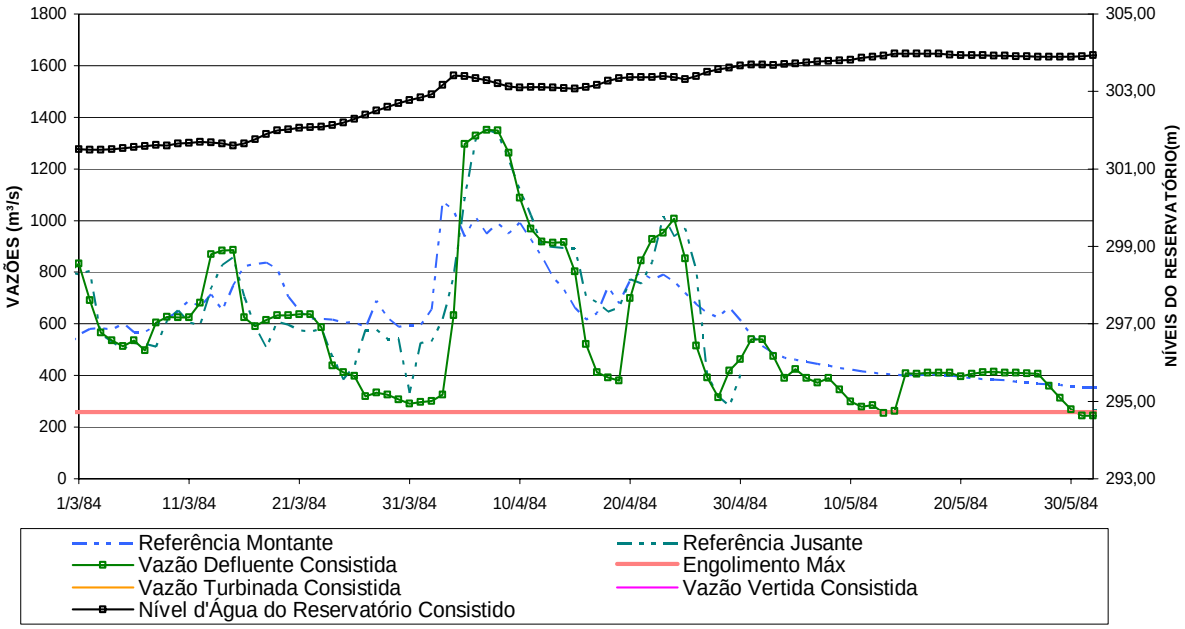
FIGURA 7.3.1
UHE Boa Esperança – Período Abril/1974 a Junho/1974



Após a consistência dos níveis e do cálculo das vazões afluentes por balanço, verificou-se a diferença entre a vazão afluente consistida e a informada, constatando-se diferenças razoáveis em nível diário. A afluente informada deve ter sido obtida pelo Agente por meio de um processo de modulação, o que explica as diferenças encontradas. De todo o modo, as diferenças em nível mensal são bem inferiores.

A vazão defluente informada acompanhava muito bem a referência de jusante estimada, sugerindo boa qualidade nos dados de defluência da usina, conforme trecho em detalhe apresentado na Figura 7.3.2.

FIGURA 7.3.2
UHE Boa Esperança – Período Março/1984 a Maio/1984



Não foram identificados erros sistemáticos ou mesmo acidentais nas vazões turbinadas ou vertidas. Para os períodos de 01/01/1999 a 31/12/2001 e 01/01/2005 a 31/12/2005, as vazões turbinadas não foram informadas, no entanto, estes valores puderam ser determinados a partir das vazões vertidas e defluentes consistidas.

Para checar a consistência da vazão turbinada, foram estimados os rendimentos diários a partir das vazões turbinadas diárias, dos níveis do reservatório e da geração diária. Para o período em que não havia níveis de jusante disponíveis, utilizou-se a curva-chave no canal de fuga informada pelo ONS, que comparada com os níveis de jusante históricos informados (a partir de agosto de 2001), apresenta um bom comportamento.

Plotando-se os resultados num gráfico “Rendimento x Vazão Turbinada / Engolimento Máximo” (Figura 7.3.3), nota-se que o rendimento não apresenta quedas substanciais para vazões turbinadas baixas, oscilando entre 0,90 e 1,00. Observam-se, também, dias em que os rendimentos médios diários estimados foram superiores a 1,00.

Uma análise detalhada da evolução do rendimento ao longo do tempo, dos níveis d’água de montante e jusante e da relação entre a vazão turbinada e o engolimento máximo, mostrada na Figura 7.3.4, permite observar um crescimento sistemático do rendimento médio estimado (inclusive com valores superiores a 1,00), associado aos períodos em que o nível do reservatório diminui. Isso sugere que a vazão turbinada possa ter sido calculada pelo agente sem levar em consideração a variação dos níveis de montante e jusante, ou seja, a queda.

FIGURA 7.3.3
UHE BOA ESPERANÇA – Rendimento x Vazão Turbinada/ Engolimento Máximo

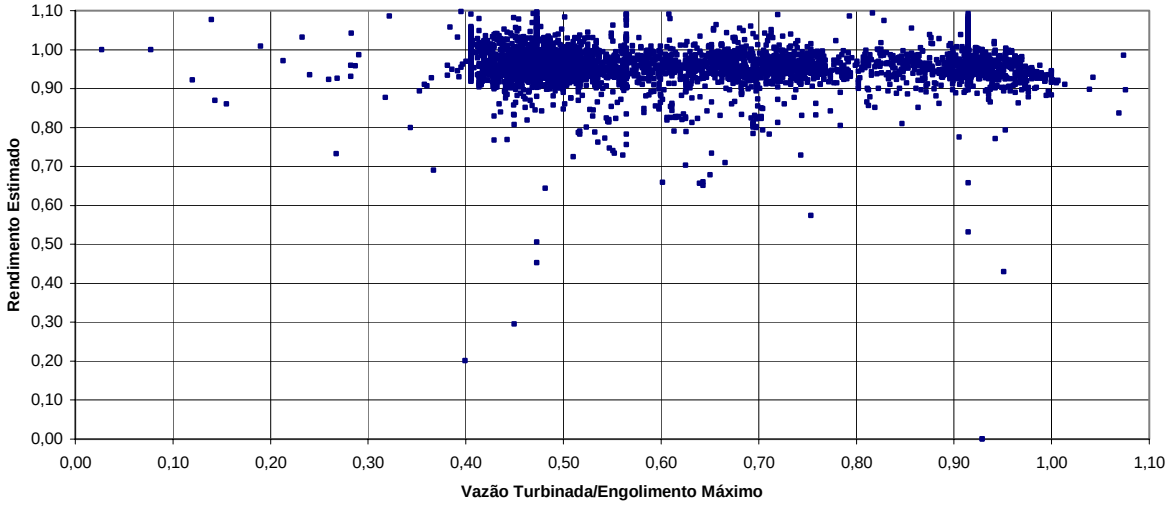
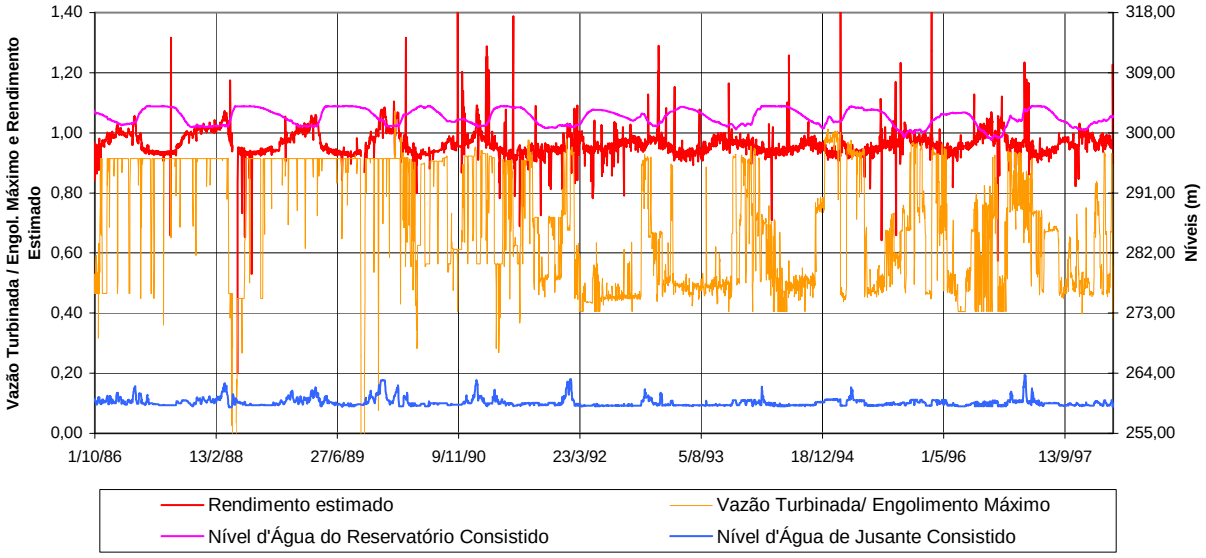


FIGURA 7.3.4
UHE BOA ESPERANÇA – Evolução do Rendimento ao Longo do Tempo – Função dos NAs de Montante e Jusante e da Vazão Turbinada/Engolimento Máximo



7.3.3. CONSISTÊNCIA DOS DADOS OPERATIVOS DA UHE IRAPÉ

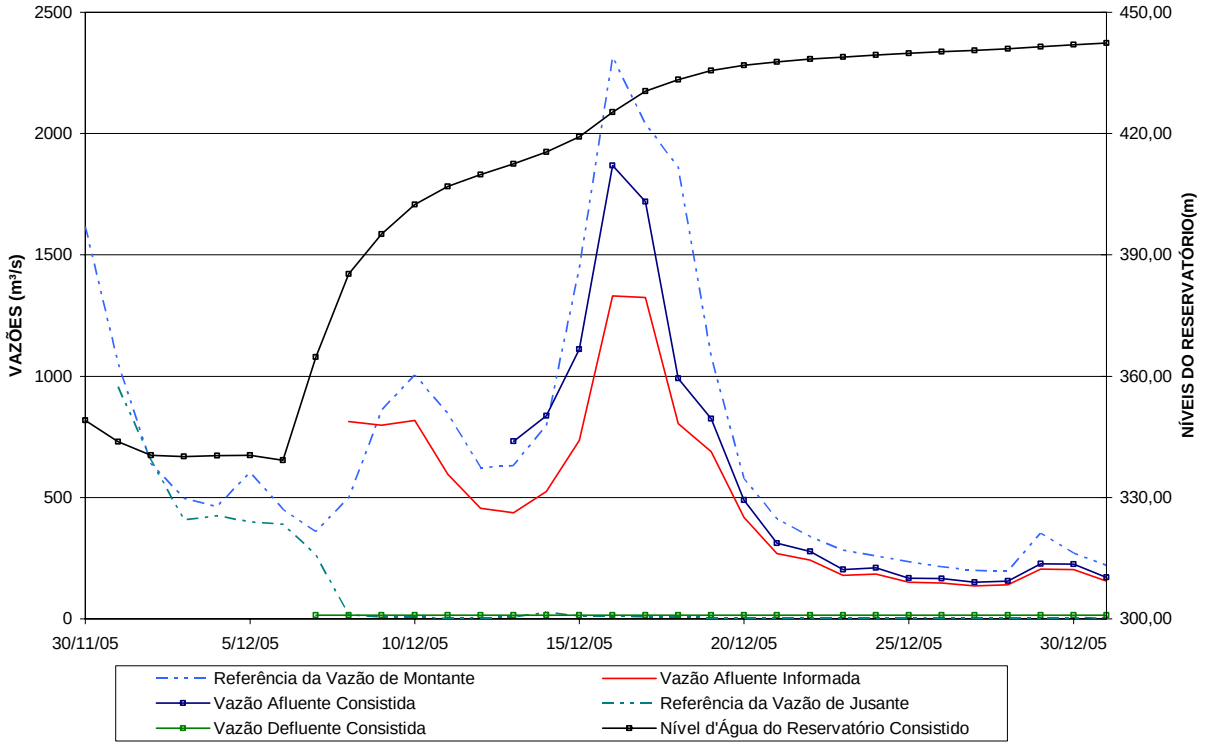
Os dados operativos fornecidos pela CEMIG para a UHE Irapé refletem apenas parte do período do enchimento do seu reservatório, que ocorreu entre 07/12/2005 e 13/02/2006. Considerando-se a data de 31/12/2005 como data final de referência do atual estudo de consistência, os dados disponibilizados cobrem menos que um mês de registros, um período muito curto. Embora tenham sido verificadas algumas

inconsistências nesse período, a massa de dados é ainda pequena para que se possa formular alguma explicação para as mesmas.

A Figura 7.3.5 a seguir apresenta os dados referentes a UHE Irapé, cujo primeiro registro data de 30/11/2005, quando foi verificado o nível d'água do reservatório de 349,10 m.

Para análise de consistência das vazões afluentes da UHE Irapé foi utilizada como referência de montante a série de vazões diárias do posto fluviométrico Vila Terra Branca-Jusante, no rio Jequitinhonha, que controla cerca de 50% da área de contribuição ao aproveitamento. Como referência de jusante foi utilizada a série de vazões diárias do posto fluviométrico Porto Mandacaru, também no rio Jequitinhonha.

FIGURA 7.3.5
UHE Irapé – Período Novembro/2005 a Dezembro/2005



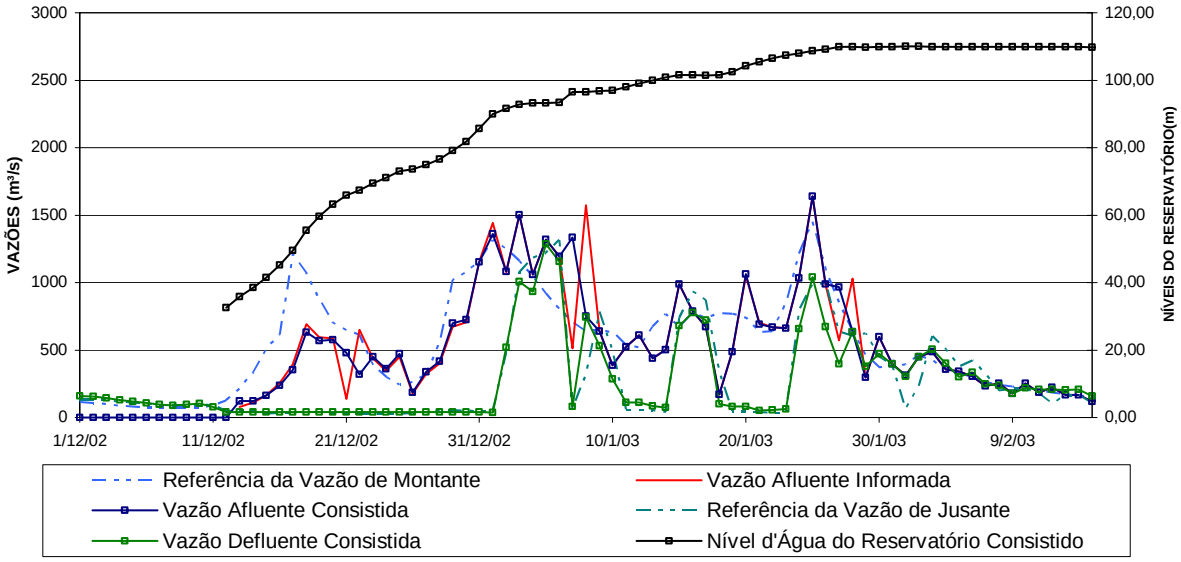
7.3.4. CONSISTÊNCIA DOS DADOS OPERATIVOS DA UHE ITAPEBI

O enchimento do reservatório da UHE Itapebi teve início em 12/12/2002 e foi concluído em janeiro de 2003. O primeiro registro operativo da usina data de 01/12/2002, e consiste na vazão defluente de 158 m³/s. O primeiro nível d'água informado, 32,50 m, data de 12/12/2002.

A partir de 26/01/2003 a usina já iniciou a geração, mesmo não tendo atingido o nível d´água máximo normal de seu reservatório. Nesta data o nível d'água informado era de 109,18 m, inferior, portanto, ao NA máximo normal de 110,00 m.

A Figura 7.3.6 mostra a evolução dos níveis d'água do reservatório e das vazões afluentes e defluentes da UHE Itapebi, desde o início do enchimento até atingir a cota do NA máximo normal de 110,00 m.

FIGURA 7.3.6
UHE Itapebi – Período Dezembro/2002 a Fevereiro/2003 – Período de Enchimento



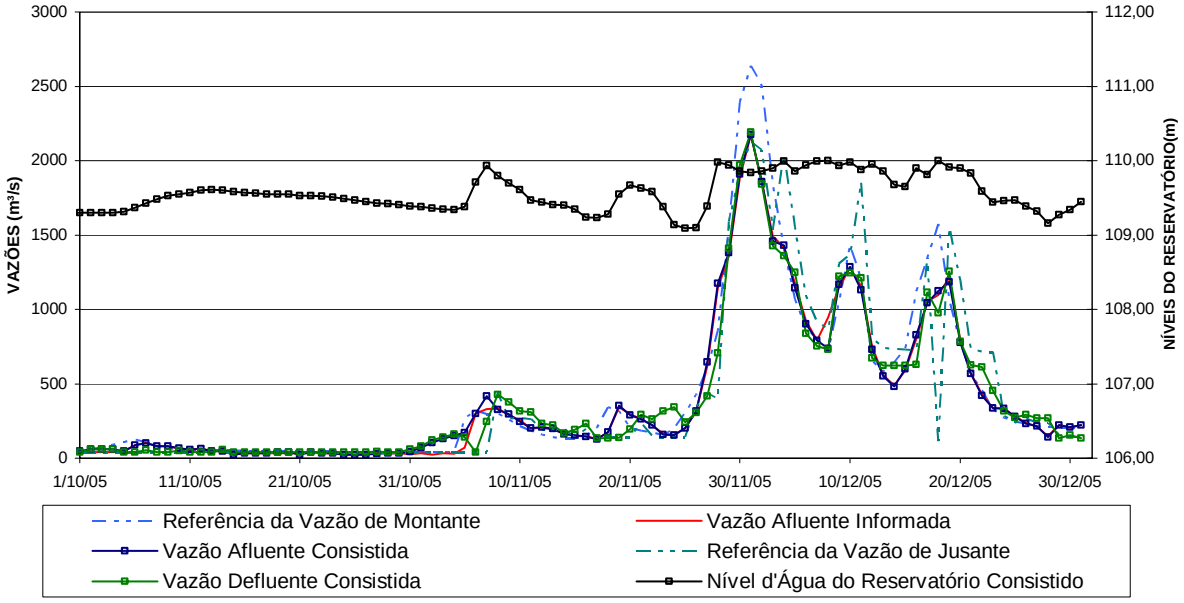
Para análise de consistência das vazões afluentes da UHE Itapebi a série de vazões diárias do posto fluviométrico de Jacinto, no rio Jequitinhonha, foi utilizada como referência de montante. Este posto possui uma área de drenagem de 63.300 km², o que equivale a cerca de 93% da área de drenagem da UHE Itapebi.

Como referência de jusante foi utilizada a série de vazões diárias do posto fluviométrico Itapebi, também no rio Jequitinhonha, com área de drenagem de 67.769 km².

A análise de consistência dos dados diários referentes ao período entre dezembro de 2002 e dezembro de 2005 permitiu identificar alguns níveis do reservatório inconsistentes, assim como alguns valores informados de vazões vertidas, turbinadas ou defluentes.

A Figura 7.3.7, a seguir, apresenta um trecho de hidrograma diário após a correção das inconsistências mencionadas, correspondente ao período de outubro a dezembro de 2005.

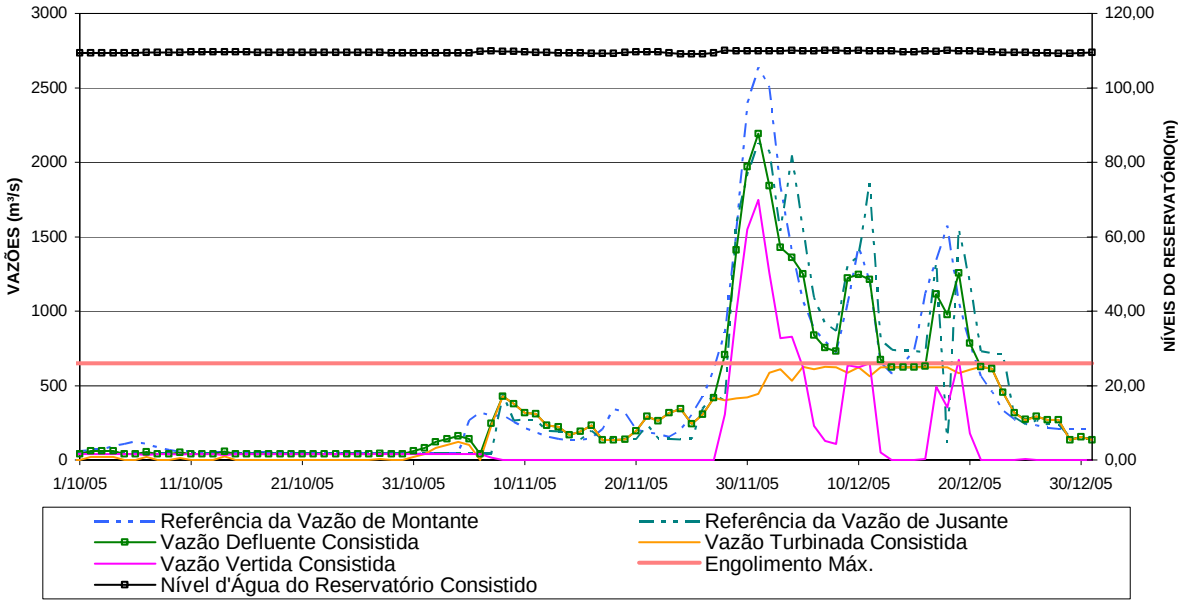
FIGURA 7.3.7
UHE Itapebi – Período Outubro/2005 a Dezembro/2005



Após a consistência dos níveis e do cálculo das vazões afluentes por balanço, verificou-se a diferença entre a vazão afluente consistida e a informada. Em geral, a vazão afluente obtida por balanço hídrico era praticamente igual à informada pelo Agente. No entanto, foram constatadas algumas diferenças razoáveis em níveis diários, que, se analisadas em níveis mensais, mostram-se bem inferiores.

Para o ano de 2005 as vazões turbinadas não foram informadas, sendo seus valores determinados a partir das vazões vertidas e defluentes consistidas. A Figura 7.3.8 mostra um detalhe das vazões defluentes, vertidas e turbinadas consistidas para o mesmo período de outubro a dezembro de 2005.

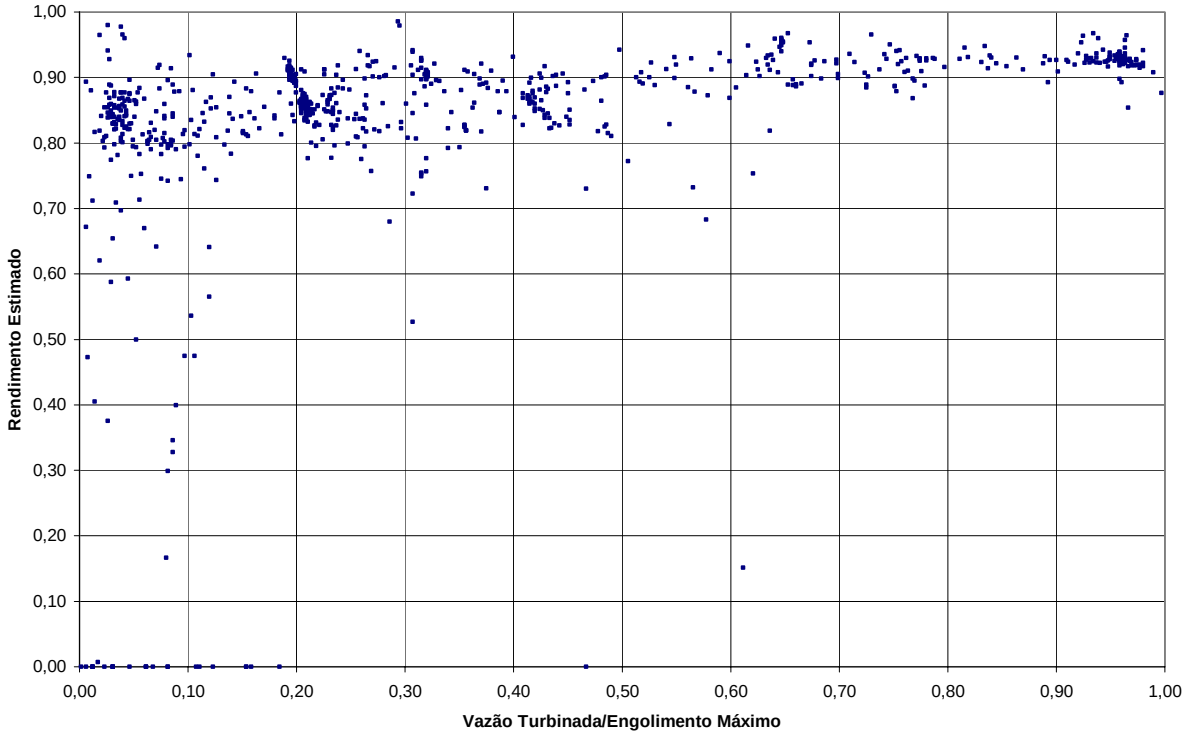
FIGURA 7.3.8
UHE Itapebi – Período Outubro/2005 a Dezembro/2005



Para verificar a consistência da vazão turbinada, estimou-se o rendimento da usina com base nos dados diários de geração, vazão turbinada, nível do reservatório e nível de jusante. Como para o período anterior a 01/07/2003 os níveis de jusante não foram informados, utilizou-se a curva-chave do canal de fuga informada pelo ONS para sua determinação. Uma verificação desta curva aos pares de níveis e vazões registrados, conforme apresentado na planilha auxiliar em meio digital, mostra sua compatibilidade.

A Figura 7.3.9 mostra o acompanhamento dos rendimentos estimados em função das vazões turbinadas, ao longo de todo o período analisado. Observa-se que para vazões turbinadas mais altas os rendimentos são superiores a 0,90, e que os mesmos decrescem até o entorno de 0,80 à medida que as vazões turbinadas decrescem.

FIGURA 7.3.9
UHE ITAPEBI– Rendimento x Vazão Turbinada/ Engolimento Máximo

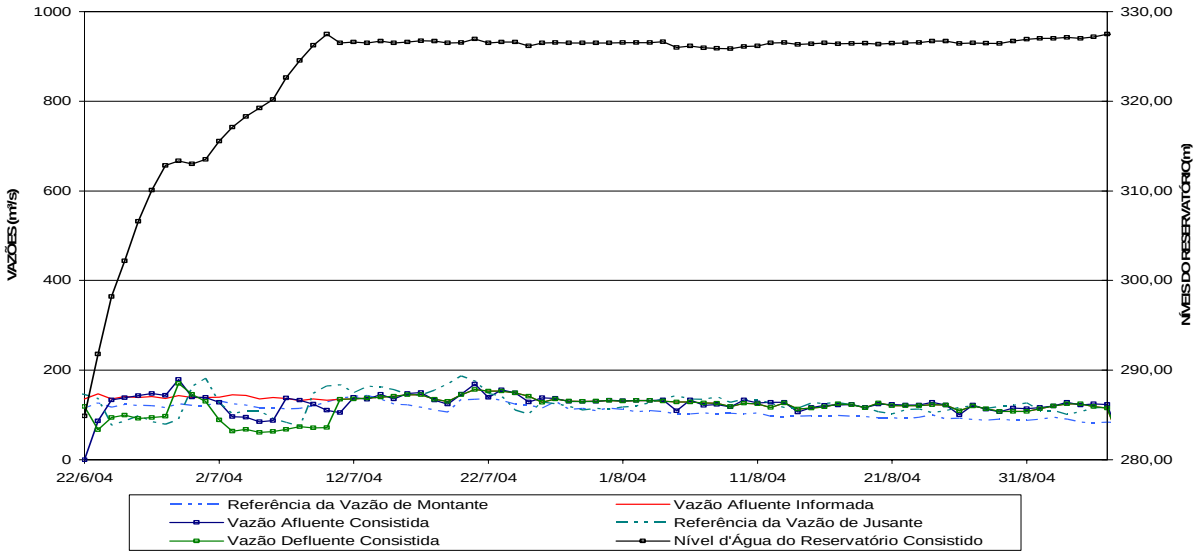


7.3.5. CONSISTÊNCIA DOS DADOS OPERATIVOS DA UHE CANDONGA

A UHE Candonga é, atualmente, a usina mais a montante em operação no rio Doce. O enchimento de seu reservatório deu-se no período de 22 de junho a 07 de setembro de 2004, quando teve início sua operação comercial.

A Figura 7.3.10 mostra a evolução dos níveis d'água do reservatório e das vazões afluentes e defluentes da UHE Candonga desde o início do enchimento até atingir a cota do NA máximo normal de 327,50 m.

FIGURA 7.3.10
UHE Candonga – Período Junho/2004 a Setembro/2004 – Período de Enchimento

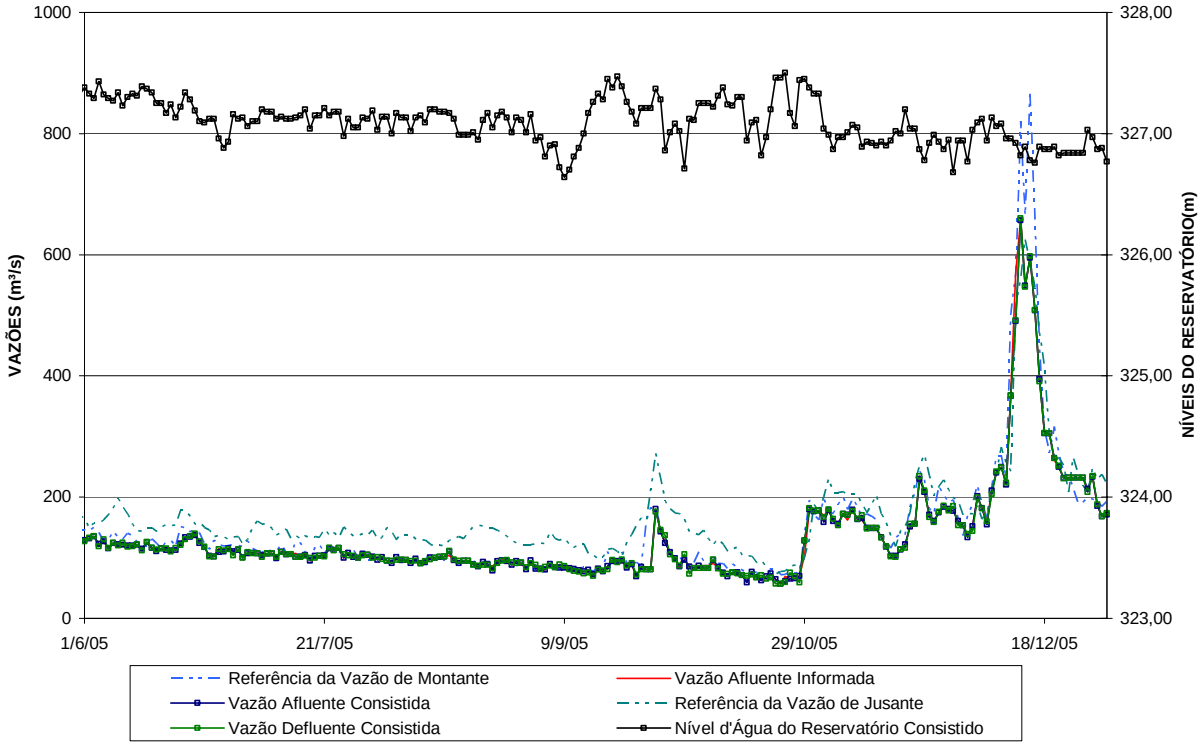


A série de vazões diárias utilizada, como referência fluviométrica de montante na análise consistência das vazões afluentes da UHE Candonga, foi estabelecida a partir das séries diárias dos postos fluviométricos de Ponte Nova–Jusante, no rio Piranga, Acaiaca-Jusante, no rio do Carmo e Fazenda Ocidente, no rio Gualaxo Norte. Estes postos controlam, juntos, cerca de 90% da área de drenagem da usina.

Para referência de jusante utilizou-se a série de vazões diárias do posto Fazenda Cachoeira d'Antas, no rio Doce, subtraída das vazões do posto fluviométrico Rio Casca, no rio de mesmo nome, quando disponível. Desta forma, a área equivalente controlada corresponde a 110% da área de drenagem da usina.

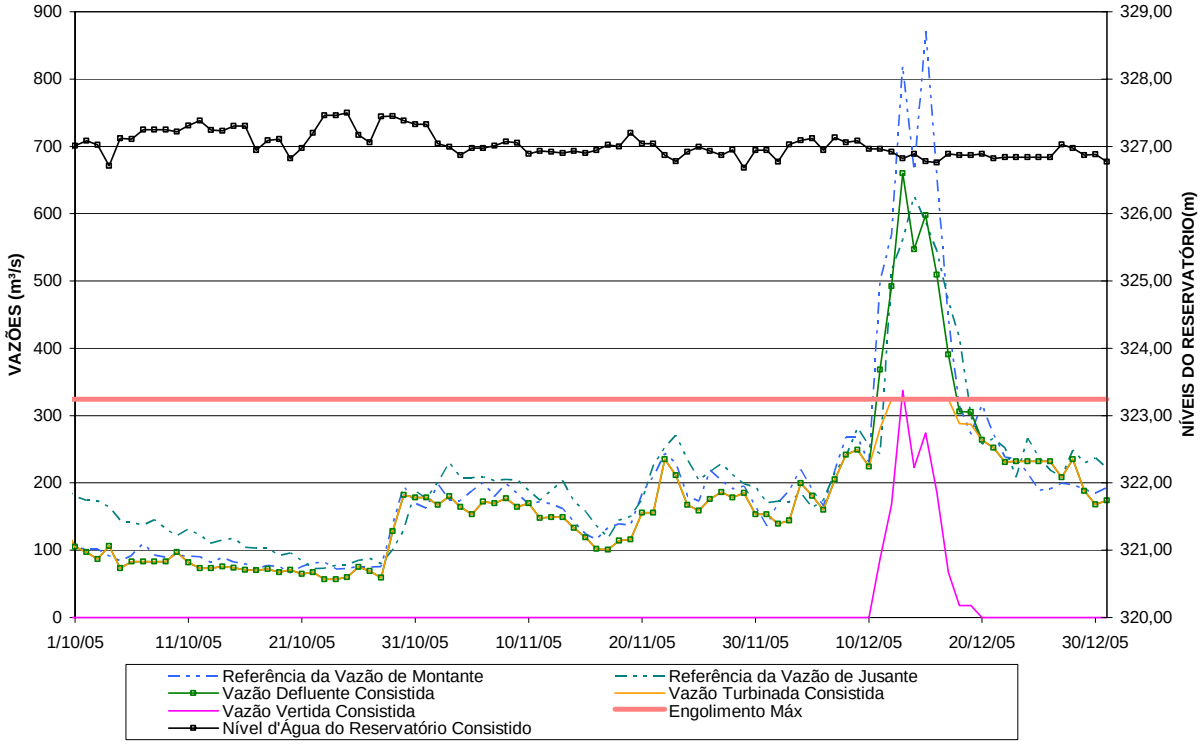
Sobre os níveis d'água do reservatório pôde-se verificar que, em geral, estavam consistentes e poucas vezes foram alterados. As alterações efetuadas em apenas três registros deveram-se a erros de digitação. A Figura 7.3.11, a seguir, apresenta um trecho de hidrograma diário correspondente ao período de junho a dezembro de 2005, e permite observar um bom comportamento das vazões consistidas quando comparadas às referências fluviométricas de montante e jusante.

FIGURA 7.3.11
UHE Candonga – Período Junho/2005 a Dezembro/2005



Além das três alterações nos níveis do reservatório, foi corrigido apenas um valor informado de vazão defluente, possivelmente também devido a erro de digitação. Os valores de vazões turbinadas não foram informados diretamente, tendo sido obtidos a partir da diferença entre as vazões defluentes e vertidas consistidas. A Figura 7.3.12 mostra um detalhe das vazões defluentes, vertidas e turbinadas consistidas para o período de outubro a dezembro de 2005.

FIGURA 7.3.12
UHE Candonga – Período Outubro/2005 a Dezembro/2005

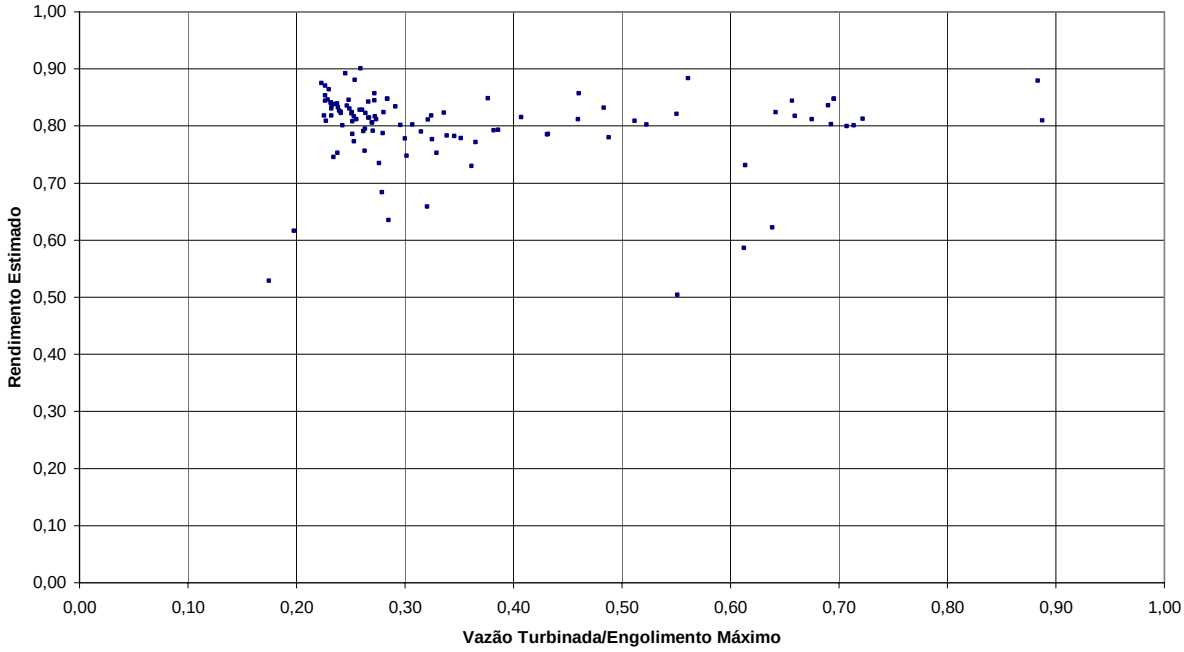


Os valores de vazão afluente obtidos por balanço hídrico foram, na maior parte do tempo, praticamente iguais às vazões afluentes informadas, tanto em nível diário quanto em nível mensal, o que indica ter sido a metodologia adotada pelo Agente idêntica à empregada no presente trabalho.

A respeito do rendimento da usina, só foi possível estimar rendimentos diários para o período de 07/09/2004 a 29/12/2004, quando foram disponibilizados dados de geração. Como não foram recebidos níveis médios de jusante históricos para a UHE Candonga, os valores foram obtidos a partir da curva-chave do canal de fuga informada pelo ONS, considerando as vazões defluentes consistidas.

A Figura 7.3.13 apresenta a variação dos rendimentos estimados com a relação entre a vazão turbinada e o engolimento máximo. Observa-se que, em geral, os pontos formam uma nuvem em torno do rendimento de 85%.

FIGURA 7.3.13
UHE CANDONGA – Rendimento x Vazão Turbinada/ Engolimento Máximo



7.3.6. CONSISTÊNCIA DOS DADOS OPERATIVOS DA UHE AIMORÉS

A UHE Aimorés encontra-se localizada no curso baixo do rio Doce, próximo à sua confluência com o rio Manhuaçu. Atualmente existe apenas uma usina no rio Doce a montante de Aimorés: a UHE Candonga, que controla uma área de drenagem muito inferior à área de contribuição a Aimorés. A UHE Aimorés encontra-se a jusante também de duas outras usinas existentes, Sá Carvalho e Porto Estrela, localizadas, respectivamente, nos rios Piracicaba e Santo Antônio, afluentes pela margem esquerda do rio Doce.

O início da operação comercial da UHE Aimorés, operada pela CEMIG, se deu em 28/06/2005, com o reservatório parcialmente cheio, uma vez que, por conta do processo de licenciamento ambiental da operação da usina, o enchimento do seu reservatório foi realizado em duas etapas. Na primeira etapa, a licença de operação foi obtida para a usina operar somente até o nível do reservatório na elevação 84,00 m. Posteriormente, após atendidas todas as condicionantes ambientais exigidas pelo órgão de licenciamento, a licença foi dada para que o reservatório pudesse ser completamente cheio, atingindo finalmente a elevação 90,00 m, correspondente ao nível d'água máximo normal de projeto.

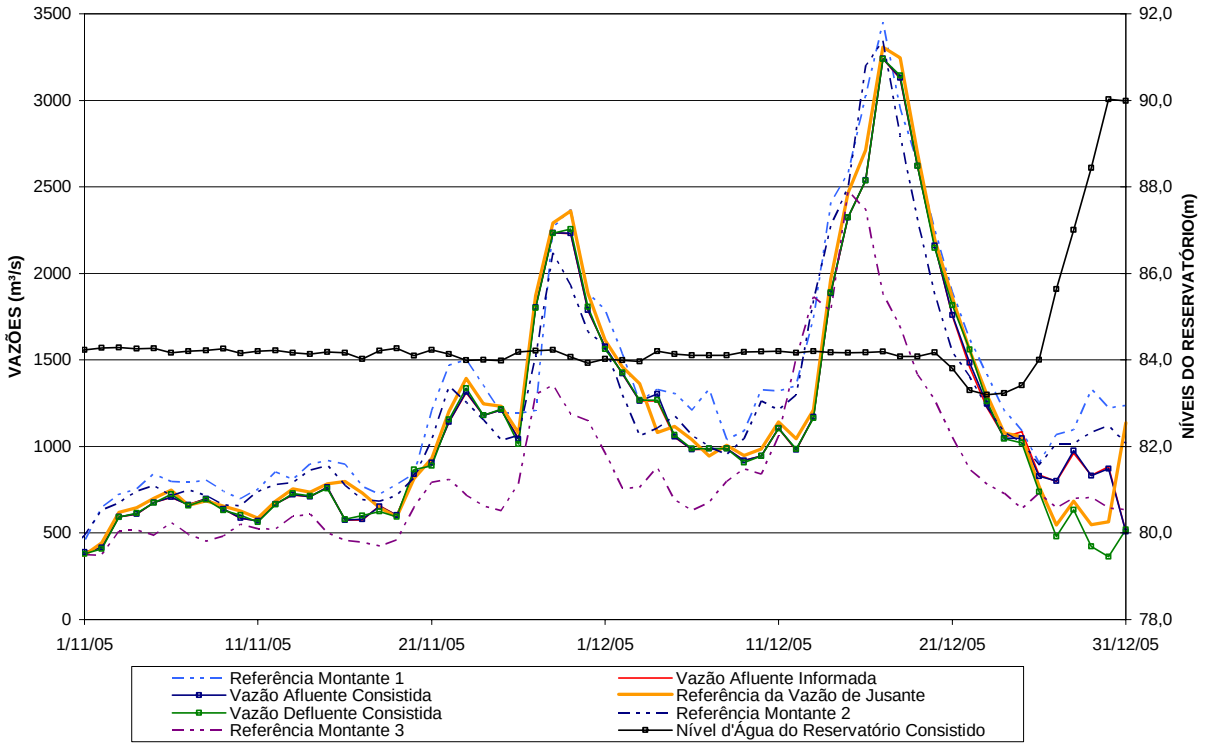
A primeira fase do enchimento teve início em 21/04/2005, atingindo rapidamente a elevação 84,00 m, nos primeiros dias do mês de maio. Somente em 30/12/2005 o nível d'água de 90,00 m foi atingido.

Para a análise de consistência foram utilizadas três referências de montante. A primeira referência de montante utilizada foi a série diária de vazões do posto fluviométrico Tumiritinga, no rio Doce, cuja área de drenagem (55.425 km²), controla cerca de 89% da área de contribuição da usina. A segunda referência de montante consiste na soma das vazões diárias dos postos fluviométricos Governador Valadares, no rio Doce, e Vila Matias-Montante, no rio Suaçuí Grande, que juntos controlam cerca de 80% da área de contribuição à usina. A terceira série de referência foi obtida a partir do somatório das vazões defluentes consistidas das usinas de Candonga, Sá Carvalho e Porto Estrela e das vazões diárias registradas no posto fluviométrico Vila Matias-Montante, localizado no rio Suaçuí Grande. Esta soma equivale a um percentual de 53% da área controlada pela usina.

A referência de jusante utilizada nas análises foi a série diária de vazões afluentes consistidas da UHE Mascarenhas, descontada das vazões diárias registradas no posto fluviométrico São Sebastião da Encruzilhada, localizado no rio Manhuaçu, afluente pela margem direita do rio Doce.

Dos níveis do reservatório informados para o período de 21/04/2005 a 31/12/2005, apenas dois valores foram alterados/consistidos. A Figura 7.3.14, a seguir, apresenta um trecho de hidrograma diário correspondente ao período de novembro a dezembro de 2005, e permite observar que as vazões consistidas apresentam comportamento compatível, na forma, com as séries de referência de montante e jusante, mas valores discrepantes das mesmas.

FIGURA 7.3.14
UHE Aimorés – Período Novembro/2005 a Dezembro/2005

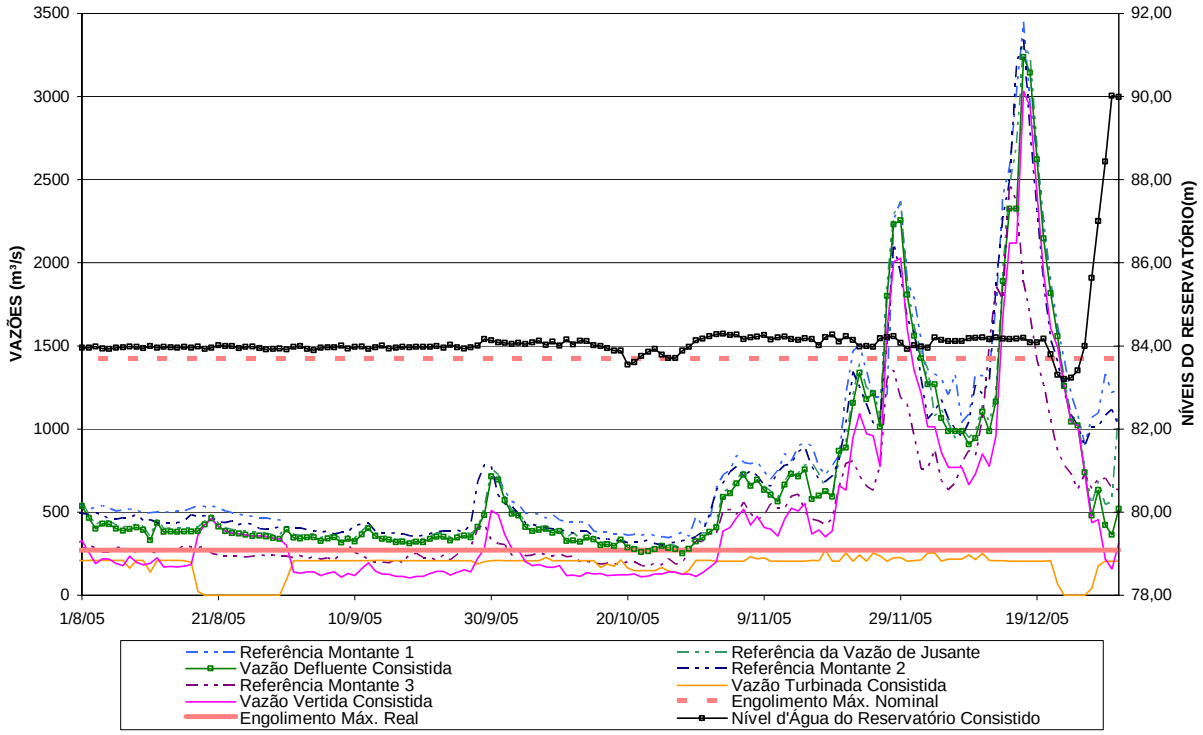


No período de dados disponibilizados foram corrigidos também um registro de vazão vertida e quatro de vazão defluente. Os valores de vazões turbinadas consistidas foram obtidos a partir da diferença entre as vazões defluentes e vertidas consistidas. A Figura 7.3.15 mostra um detalhe das vazões defluentes, vertidas e turbinadas consistidas para o período de agosto a dezembro de 2005.

Pode-se observar, também, na Figura 7.3.15 a evolução do engolimento máximo da usina. O engolimento nominal de cada unidade geradora é de 475 m³/s, o que equivale a 1.425 m³/s, considerando-se as três unidades. No entanto, como a operação da usina teve início antes mesmo do reservatório ter atingido seu nível máximo operacional (90,00 m), a vazão máxima turbinada até que este nível fosse atingido limitou-se a 273 m³/s, valor máximo registrado no período. Isto ocorreu em função de restrições hidráulicas no canal de adução, devido ao aumento excessivo da perda de carga na adução a partir de valores de vazão superiores a 273 m³/s, para níveis do reservatório inferiores a 90,00 m.

O nível do reservatório só atingiu a cota 90,00 m a partir de 30/12/2005, antes desta data a cota do reservatório era de 84,00 m.

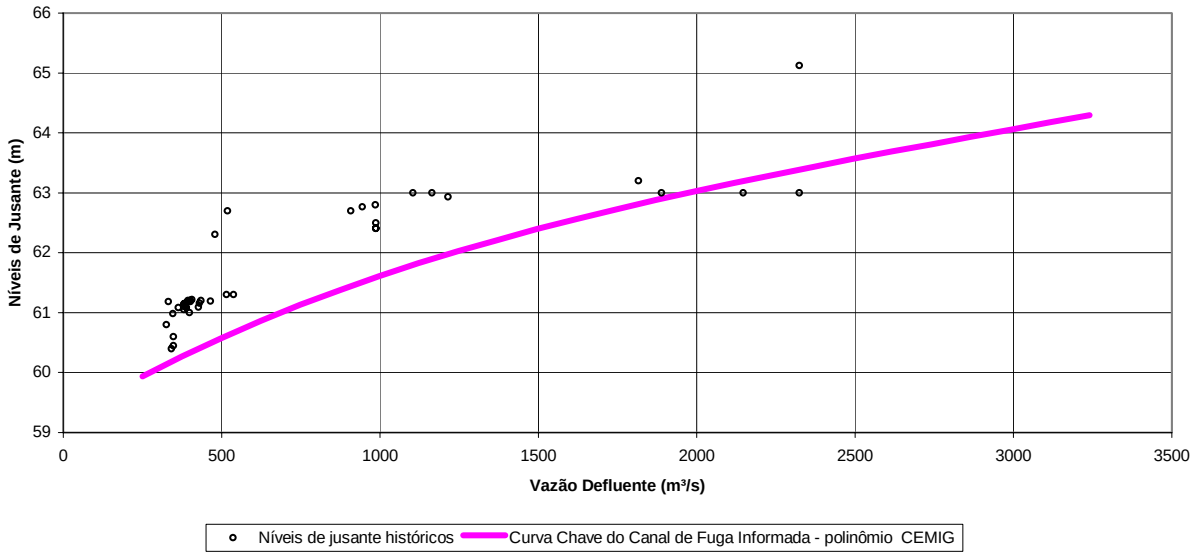
FIGURA 7.3.15
UHE Aimorés – Período Agosto/2005 a Dezembro/2005



Uma análise dos valores obtidos, para a diferença entre as vazões afluentes consistidas e informadas, permite concluir que, a menos dos dias em que se considerou o valor informado inconsistente, esta diferença é mínima, tanto em nível diário quanto mensal.

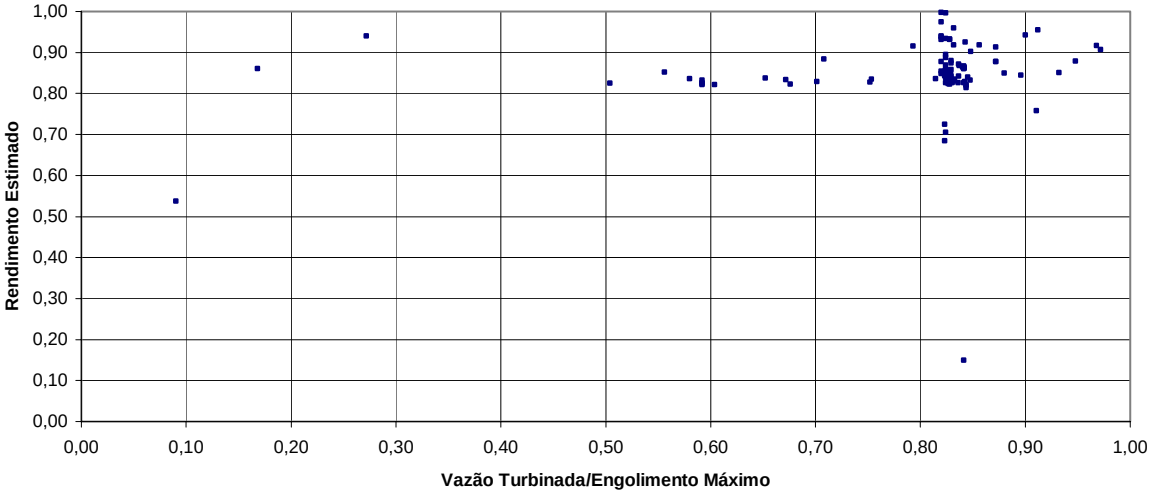
Para verificar a consistência da vazão turbinada, estimou-se o rendimento da usina com base nos dados diários de geração, vazão turbinada, nível do reservatório e nível de jusante. Para os dias em que não se dispunha de níveis de jusante informados, os mesmos foram estimados com base na curva-chave do canal de fuga informada pelo ONS. No entanto, com os níveis de jusante históricos foi possível verificar que a curva-chave informada do canal de fuga encontra-se abaixo da nuvem de pontos observados na operação da usina, sobretudo para a faixa de vazões mais freqüentes, conforme pode ser apreciado na Figura 7.3.16. Por não se dispor de outra curva-chave mais adequada, esta curva-chave foi utilizada para estimar os níveis de jusante para os dias em que os valores não foram informados.

FIGURA 7.3.16
UHE AIMORÉS – Curva-Chave do Canal de Fuga informada e Vazão Defluente x Nível de Jusante



A Figura 7.3.17 mostra o acompanhamento dos rendimentos estimados em função das vazões turbinadas no período analisado. Cabe ressaltar que neste período, como o nível d'água do reservatório ainda não havia atingido seu valor máximo operacional (90,00 m), a vazão turbinada máxima média no período foi da ordem de 250 m³/s, valor bem inferior ao engolimento máximo nominal a ser atingido quando o reservatório alcançar seu nível máximo operacional e quando as três unidades estiverem trabalhando à plena carga. O rendimento variou numa faixa entorno de 85%.

FIGURA 7.3.17
UHE AIMORÉS – Rendimento x Vazão Turbinada/ Engolimento Máximo



7.3.7. CONSISTÊNCIA DOS DADOS OPERATIVOS DA UHE MASCARENHAS

A UHE Mascarenhas é a última usina localizada no rio Doce, e está situada a cerca de 12 km a jusante da UHE Aimorés. A diferença entre as áreas de contribuição dessas usinas é de 11.271 km².

A operação comercial da UHE Mascarenhas teve início em 21 de setembro de 1973. Recentemente, foi instalada a quarta máquina na usina, com capacidade de 49 MW de potência.

Para a análise de consistência foram utilizadas três referências de montante. A primeira referência de montante utilizada foi obtida a partir da soma das séries diárias de vazões dos postos fluviométricos Tumiritinga, no rio Doce, e São Sebastião da Encruzilhada, no rio Manhuaçu, que juntos controlam cerca de 87% da área de drenagem de Mascarenhas. A segunda referência de montante consiste na soma das vazões diárias de três postos fluviométricos: Governador Valadares, no rio Doce, Vila Matias-Montante, no rio Suaçuí Grande, e São Sebastião da Encruzilhada, no rio Manhuaçu, que juntos controlam 80% da área de contribuição à usina. A terceira série de referência, disponível somente a partir de abril de 2005, considera as vazões defluentes consistidas das usinas de Aimorés somadas as vazões diárias do posto fluviométrico São Sebastião da Encruzilhada, no rio Manhuaçu. Esta soma equivale a um percentual de 97% da área controlada pela usina.

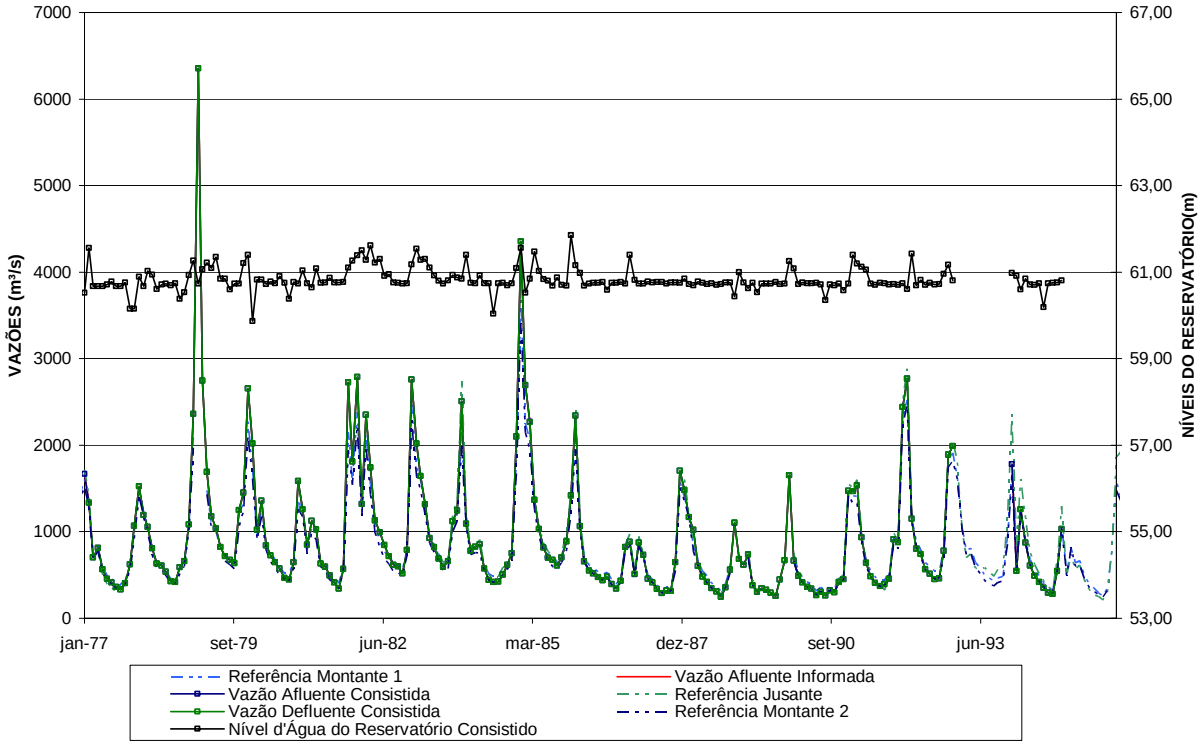
Como referência de jusante foi utilizada a série diária de vazões do posto fluviométrico UHE Mascarenhas-Jusante, no rio Doce, com área de drenagem de 73.708 km². Para os dias em que não havia registro disponível neste posto, utilizou-se alternativamente o posto Colatina, também no rio Doce, com 76.463 km² de área de drenagem, apenas 3,7% superior à área de drenagem da usina.

Os dados operativos em nível diário da usina de Mascarenhas foram disponibilizados apenas a partir de 01 de janeiro de 1999. Para o período de janeiro de 1977 a dezembro de 1994 foram disponibilizados somente os registros mensais, assim mesmo com falhas durante todo o ano de 1993.

Para o período de janeiro de 1977 a dezembro de 1994 não foram informadas as vazões defluentes, que foram obtidas a partir das vazões afluentes informadas por balanço hídrico. A partir das vazões defluentes calculadas por balanço hídrico e das vazões vertidas consistidas foi possível obter as vazões turbinadas consistidas.

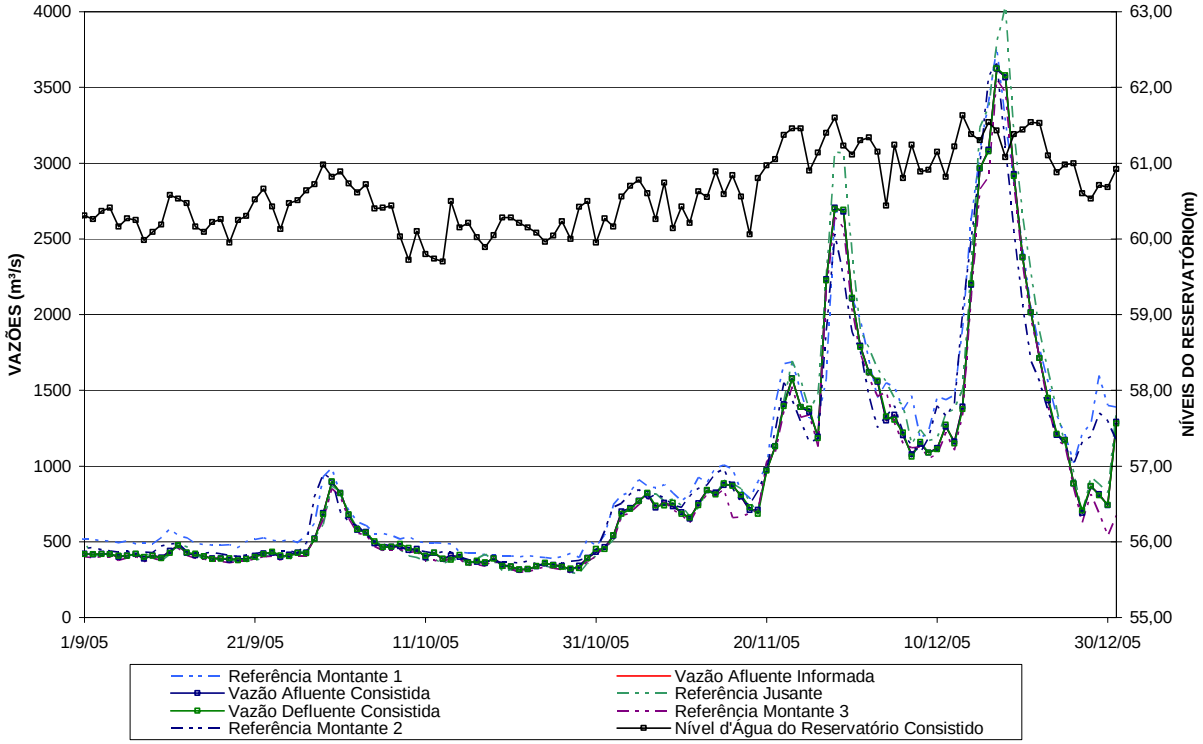
A Figura 7.3.18, a seguir, apresenta um trecho do hidrograma mensal correspondente ao período de janeiro de 1977 a dezembro de 1994, e permite observar um bom comportamento das vazões consistidas quando comparada com as séries de referência de montante e jusante.

FIGURA 7.3.18
UHE Mascarenhas – Período Janeiro/1977 a Dezembro/1994



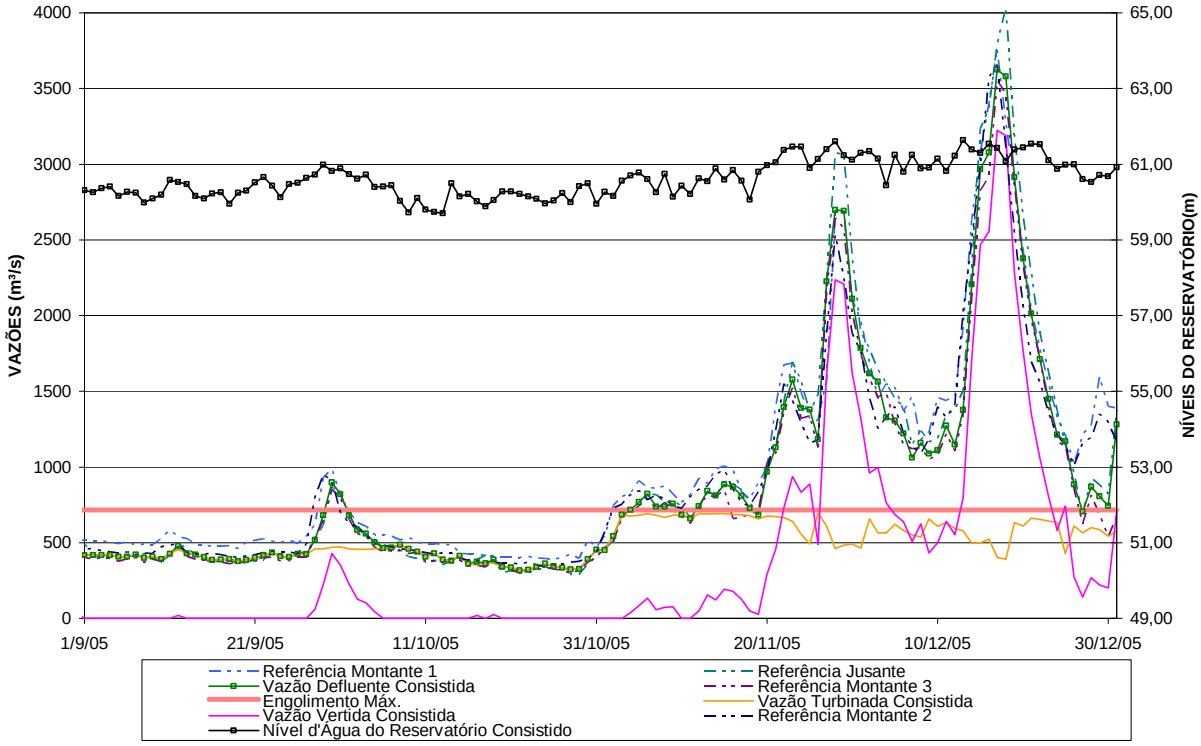
Dos níveis do reservatório informados para o período de 01/01/1999 a 31/12/2005, apenas um valor foi alterado/consistido. A Figura 7.3.19, a seguir, apresenta um trecho de hidrograma diário correspondente ao período de setembro a dezembro de 2005, e permite observar um bom comportamento das vazões consistidas quando comparadas com as séries de referência de montante e jusante.

FIGURA 7.3.19
UHE Mascarenhas – Período Setembro/2005 a Dezembro/2005



No período de dados diários foram disponibilizados valores de vazões turbinadas somente para os anos de 2002 a 2004. Para os demais anos (1999 a 2001 e 2005), os valores de vazões turbinadas consistidas foram obtidos a partir da diferença entre as vazões defluentes e vertidas consistidas. A Figura 7.3.20 mostra um detalhe das vazões defluentes, vertidas e turbinadas consistidas para o período de setembro a dezembro de 2005.

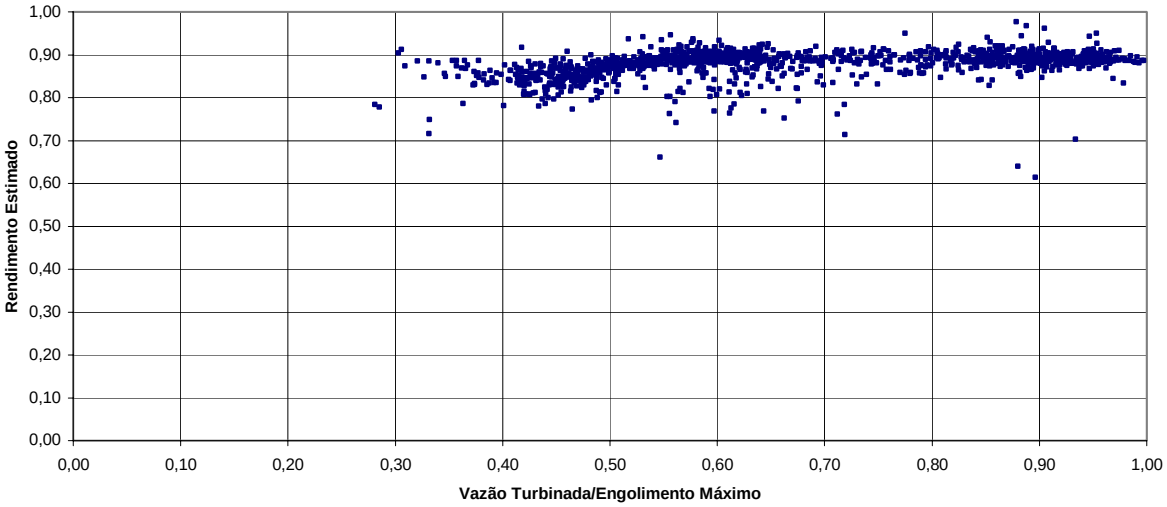
FIGURA 7.3.20
UHE Mascarenhas – Período Setembro/2005 a Dezembro/2005



Os valores obtidos para a diferença entre as vazões afluentes consistidas e informadas no período de janeiro de 1999 a dezembro de 2005 são praticamente insignificantes, tanto em nível diário quanto em nível mensal. Isto indica que a metodologia adotada pelo Agente para cálculo da vazão afluente é idêntica à empregada no presente trabalho.

Os dados de geração da usina foram disponibilizados somente a partir de janeiro de 2002. Com isso, foi possível verificar-se a consistência da vazão turbinada, estimando-se o rendimento da usina com base nos dados diários de geração, vazão turbinada, nível do reservatório e nível de jusante. Para os dias em que não se dispunha de níveis de jusante informados, os mesmos foram estimados com base na curva-chave do canal de fuga informada pelo ONS. A Figura 7.3.21 mostra o acompanhamento dos rendimentos estimados em função das vazões turbinadas, ao longo do período analisado. Observa-se que, para a faixa de vazões turbinadas maiores os rendimentos situam-se numa faixa de 0,90, enquanto que, à medida que as vazões turbinadas decrescem, os rendimentos sofrem uma ligeira queda, variando entre 0,80 e 0,85. Cabe ressaltar que na análise aqui apresentada não foi considerada a quarta máquina instalada em Mascarenhas, uma vez que a análise foi feita somente até dezembro de 2005, antes da operação comercial desta última unidade geradora.

FIGURA 7.3.21
UHE MASCARENHAS – Rendimento x Vazão Turbinada/ Engolimento Máximo



Finalmente, cabe lembrar que o reservatório de Mascarenhas sofreu um processo muito acelerado de assoreamento e que a curva cota-volume disponível foi revisada em 1998. Como os dados diários operativos somente foram disponibilizados a partir de 1999, o emprego da curva atual foi adequado. Para os períodos mais antigos, o balanço hídrico foi feito em base mensal, de forma que as diferenças nas curvas cota-volume passam a ter conseqüências insignificantes.

7.3.8. CONSISTÊNCIA DOS DADOS OPERATIVOS DA UHE GUILMAN AMORIM

O enchimento do reservatório da UHE Guilman Amorim teve início em 15/08/1997. Sua operação comercial foi iniciada em 02/11/1997. A usina localiza-se no rio Piracicaba, a montante da UHE Sá Carvalho.

Para a análise de consistência das vazões foram tomadas como referências de montante duas séries definidas a partir das vazões de postos fluviométricos do rio Piracicaba e do ribeirão Santa Bárbara. A estimativa foi feita a partir das vazões dos postos Estação Drumond – Central, Nova Era IV e Rio Piracicaba, no rio Piracicaba, e do posto Carrapato (Brumal), no ribeirão Santa Bárbara, sempre utilizando o posto mais a jusante do rio Piracicaba, quando os dados eram disponíveis, ou a soma de postos localizados a montante, tanto no rio Piracicaba como no ribeirão Santa Bárbara.

Como referência de jusante foi utilizada a série de vazões afluentes à UHE Sá Carvalho, cuja área de drenagem é superior à área de drenagem de Guilman Amorim em apenas 264 km². Esta série, obtida por balanço hídrico, está disponível somente a partir de janeiro de 1999.

Os dados operativos disponibilizados apresentam muitas falhas. Com relação aos registros de nível do reservatório apenas um valor foi alterado para consistência.

Alguns valores de vazões defluentes, vazões turbinadas e vazões vertidas informadas também foram corrigidos, quando evidente erro de digitação, falha na observação ou inconsistência com as referências.

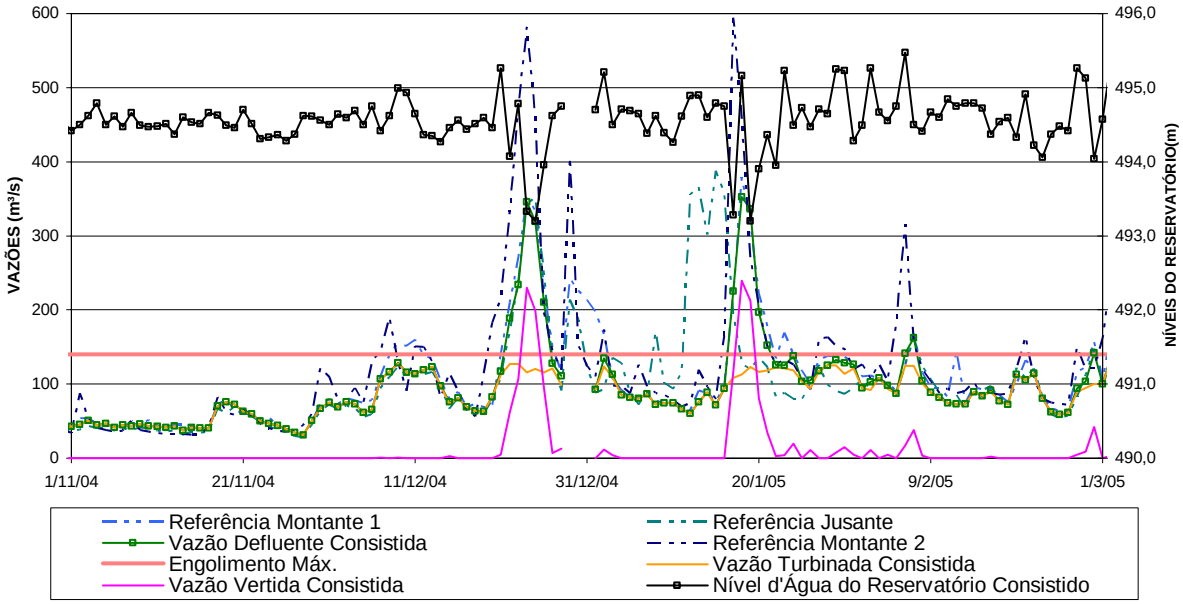
Nos anos de 1998 e 1999 os valores de vazões vertidas consideram a soma das vazões que passam pelo vertedouro e as que passam pela crista da barragem.

Para os anos de 2000, 2001 e 2005 o operador não informou as vazões turbinadas, por isso, as vazões turbinadas consistidas foram obtidas a partir das vazões defluentes e vertidas informadas.

Em alguns dias dos meses de janeiro e novembro de 1998, verificou-se que, apesar das vazões registradas nas duas séries de referência de montante utilizadas, serem altas, as vazões afluentes obtidas por balanço hídrico não resultaram em valores altos. A justificativa é que, provavelmente, o vertimento do período foi subestimado ou mesmo desconsiderado. Neste caso, convém que os valores calculados por balanço não sejam considerados.

A Figura 7.3.22, a seguir, apresenta um trecho de hidrograma diário correspondente ao período operativo de novembro de 2004 a fevereiro de 2005, permitindo observar o comportamento das vazões e níveis representativos da usina.

FIGURA 7.3.22
UHE Guilman Amorim – Período de Novembro/2004 a Fevereiro/2005

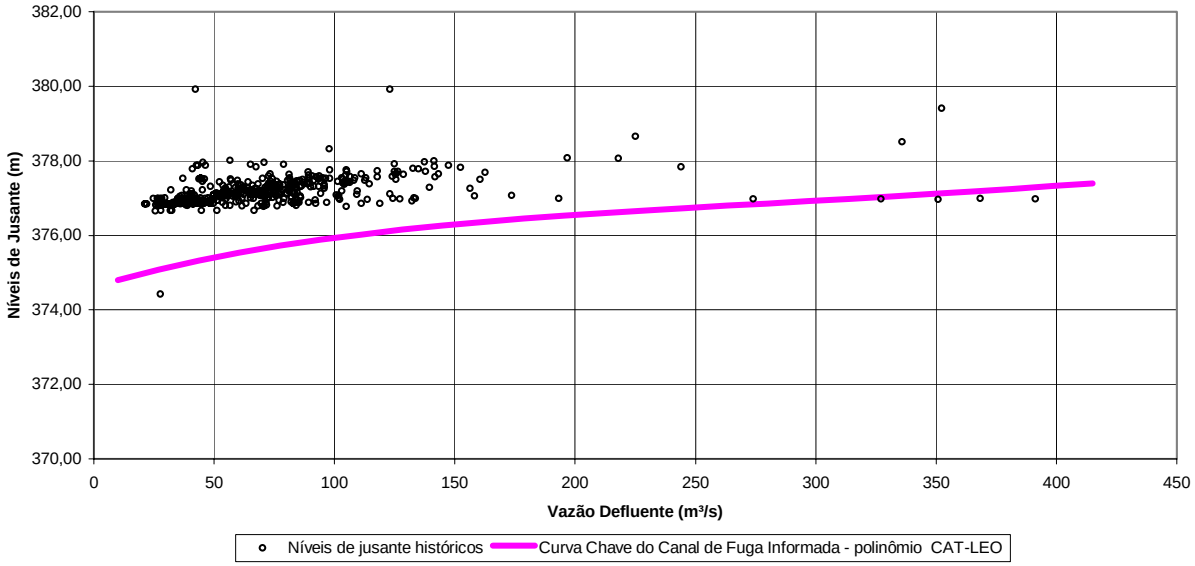


Uma análise dos valores obtidos para a diferença entre as vazões afluentes consistidas e informadas permite concluir que, a menos dos dias em que se considerou o valor informado inconsistente, como no dia 29/11/2005, onde houve nitidamente um erro de digitação, esta diferença é mínima, tanto em nível diário quanto em nível mensal.

Os dados de geração da usina foram disponibilizados somente a partir de julho de 1998. Com isso, foi possível verificar-se a consistência da vazão turbinada, estimando-se o rendimento da usina com base nos dados diários de geração, vazão turbinada, nível do reservatório e nível de jusante.

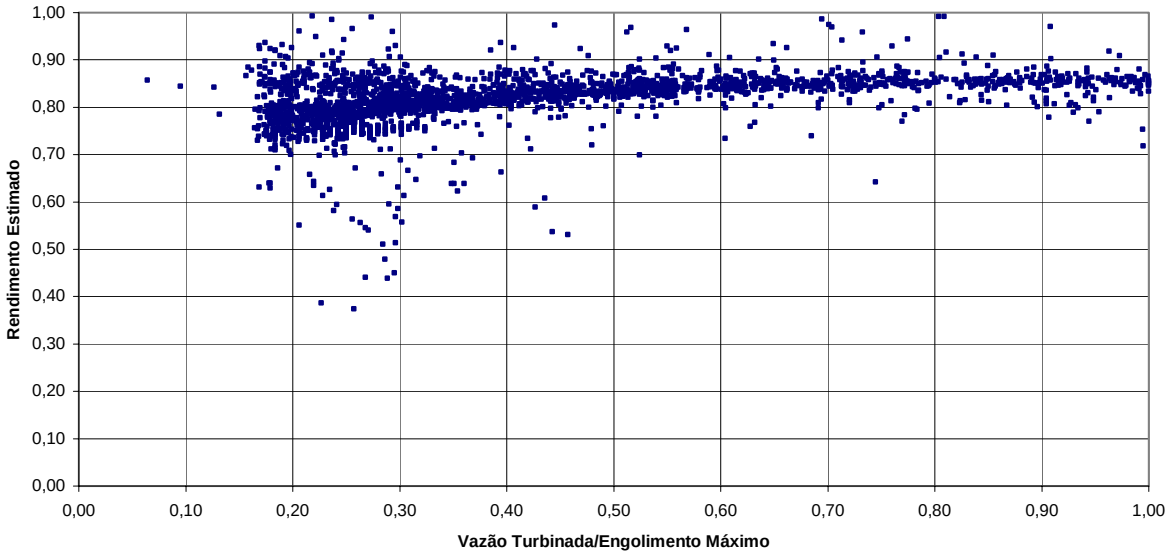
Para os dias em que não se dispunha de níveis de jusante informados, os mesmos foram estimados com base na curva-chave do canal de fuga informada pelo operador. No entanto, com os níveis de jusante históricos foi possível verificar que a curva-chave do canal de fuga informada encontra-se abaixo da nuvem de pontos observados na operação da usina, conforme pode ser apreciado na Figura 7.3.23. Por não se dispor de outra curva-chave mais adequada, esta curva-chave foi utilizada para estimar os níveis de jusante para os dias em que os valores não foram informados.

FIGURA 7.3.23
UHE GUILMAN AMORIM – Curva-Chave do Canal de Fuga informada e Vazão Defluente x Nível de Jusante



A Figura 7.3.24 mostra o acompanhamento dos rendimentos estimados em função das vazões turbinadas, ao longo do período analisado. Observa-se que, para a faixa de vazões turbinadas maiores os rendimentos situam-se numa faixa de 0,85, enquanto que, à medida que as vazões turbinadas decrescem, os rendimentos sofrem uma ligeira queda, situando-se na faixa de 0,80 ou menos.

FIGURA 7.3.24
UHE GUILMAN AMORIM – Rendimento x Vazão Turbinada/ Engolimento Máximo



7.3.9. CONSISTÊNCIA DOS DADOS OPERATIVOS DA UHE SÁ CARVALHO

A UHE Sá Carvalho está localizada no rio Piracicaba, afluente pela margem esquerda do rio Doce, a jusante da UHE Guilman Amorim. A usina possui dois reservatórios, denominados Antônio Dias e Severo, que se interligam através de um circuito de adução formado por túnel.

O enchimento dos reservatórios da usina se deu no ano de 1951, porém, segundo informação do agente os registros referentes ao período do enchimento, bem como os dados operativos do período de 1951 a 1998 não estão disponíveis. O primeiro registro operativo disponibilizado para esta usina data de janeiro de 1999.

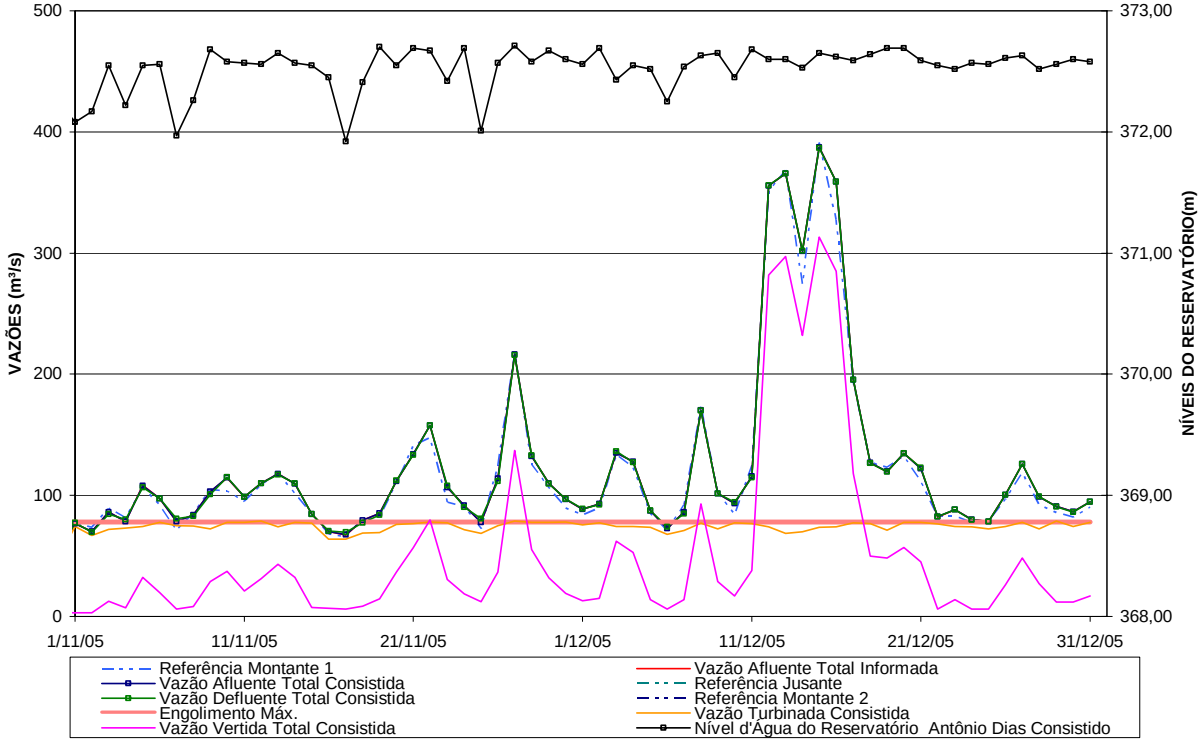
Para a análise de consistência foram utilizadas duas referências de montante. A primeira referência de montante utilizada foi a série diária de vazões defluentes consistidas da UHE Guilman Amorim, cuja área de drenagem (4.186 km²), equivale a cerca de 94% da área de contribuição à usina de Sá Carvalho (4.450, 2 km²). A segunda referência foi obtida utilizando-se os postos fluviométricos Nova Era IV e Rio Piracicaba, no rio Piracicaba, e Carrapato (Brumal), no ribeirão Santa Bárbara. O posto Nova Era IV possui uma área de drenagem de 3.203 km², o que equivale a 72% da área de contribuição da usina.

A referência de jusante utilizada nas análises foi a série diária de vazões registradas no posto fluviométrico Mário de Carvalho, no rio Piracicaba, cuja área de drenagem (5.060 km²) é cerca de 14% superior à área de drenagem da usina.

Avaliando-se os níveis do reservatório, pôde-se verificar que, em geral, estavam consistentes e poucas vezes foram alterados. As alterações foram feitas somente em três registros, quando os níveis apresentavam, em geral, erros de digitação.

A Figura 7.3.25, a seguir, apresenta um trecho de hidrograma diário correspondente ao período de novembro a dezembro de 2005, e permite observar um bom comportamento das vazões consistidas quando comparadas com as séries de referência de montante e jusante.

FIGURA 7.3.25
UHE Sá Carvalho – Período Novembro a Dezembro/2005



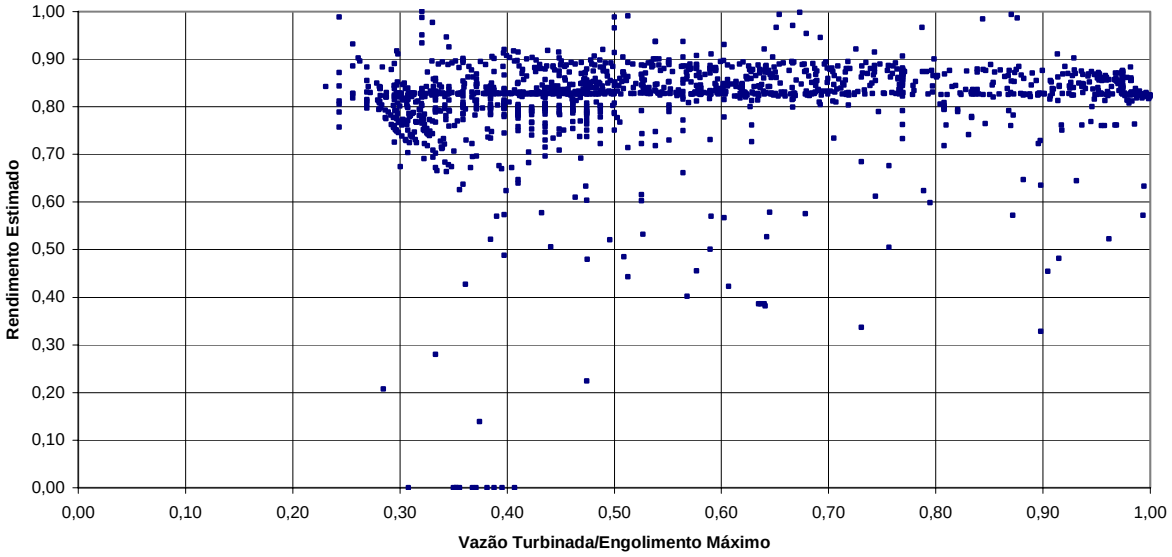
Como processo auxiliar à análise de consistência, os rendimentos diários da usina foram estimados com base nas gerações, nos níveis diários consistidos e nas vazões turbinadas consistidas. Como os níveis médios diários no canal de fuga da usina não foram informados, como também não foi fornecida a curva-chave do canal de fuga, considerou-se, para efeitos de estimativa do rendimento da usina, o nível constante de 255,10 m, equivalente ao nível médio no canal de fuga. Da mesma forma, como os dados diários do nível do reservatório de Severo às 24 horas também não foram disponibilizados, utilizou-se o nível d'água do reservatório Antônio Dias consistidos.

Com esse processo auxiliar verificou-se que as vazões turbinadas diárias informadas de 02/01/05 a 24/01/05 apresentavam estimativas de rendimento incoerentes, algumas

com valores acima de 1. Ao serem corrigidas pela geração diária dividida pelo coeficiente de produtibilidade de 0,877 MW/m³/s, informado pelo operador, os valores de afluência do período aproximaram-se dos valores de defluência da usina de montante, Guilman-Amorim.

Plotando-se os rendimentos estimados em função da relação entre as vazões turbinadas e o engolimento máximo da usina (Figura 7.3.26), verificou-se que os pontos apresentavam uma nuvem com rendimentos variando em torno de 0,84, sendo verificadas perdas de rendimento na faixa de vazões turbinadas mais baixas.

FIGURA 7.3.26
UHE SÁ CARVALHO – Rendimento x Vazão Turbinada/ Engolimento Máximo



7.3.10. CONSISTÊNCIA DOS DADOS OPERATIVOS DA UHE SALTO GRANDE

A UHE Salto Grande possui dois reservatórios interligados entre si através de um túnel. O reservatório de menor porte, no rio Santo Antônio, tem suas vazões transferidas através deste túnel para o reservatório de Guanhães, localizado no rio de mesmo nome. A vazão defluente mínima do reservatório de Santo Antônio é de 4 m³/s.

Desta forma, o balanço hídrico dos reservatórios da UHE Salto Grande deve considerar como vazão afluente ao reservatório de Guanhães a vazão do rio Guanhães somada à vazão desviada pelo túnel. Para o reservatório de Santo Antônio, a vazão afluente equivale à vazão do rio Santo Antônio, descontada da vazão desviada pelo túnel.

Ambos os reservatórios tiveram seus enchimentos iniciados em abril de 1956. O início da operação da UHE Salto Grande data de 27 de maio de 1958.

Como referência da vazão total de montante utilizou-se uma série estimada a partir dos registros diários de postos dos rios Santo Antônio, Guanhães e do Tanque. Foram estabelecidas as referências individuais em cada curso d'água, que posteriormente foram somadas. Para o rio Guanhães a referência de montante baseou-se nos registros dos postos Fazenda Meloso ou Senhora do Porto, ambos no rio Guanhães, que controlam áreas equivalentes a 89% e 62% da área de drenagem do reservatório de Guanhães, respectivamente. Para o rio Santo Antônio os postos utilizados foram Fazenda Ouro Fino e Ferros, no rio Santo Antônio, e Fazenda Barraca e Cachoeira Dona Rita, no rio do Tanque. O posto Fazenda Ouro Fino controla 98% da área de drenagem do reservatório Santo Antônio.

Para jusante foram utilizadas duas referências. A primeira referência é a série diária de vazões afluentes consistidas à UHE Porto Estrela, disponível a partir de 05/09/2001. A área de drenagem entre essas usinas soma apenas 396 km². A outra referência de jusante foi obtida a partir dos registros de vazões diárias dos postos Coqueiros e Naque Velho, ambos no rio Santo Antônio, cujas áreas de drenagem são cerca de 4% e 13% superiores à área de drenagem total da usina.

Com essas informações como indicativos de consistência analisou-se cada um dos dados recebidos. Sobre os níveis de montante do reservatório de Santo Antônio foram feitas pequenas alterações; pôde-se verificar que em geral estavam consistentes e foram alterados apenas quando esses níveis apresentavam possíveis erros de digitação. Quanto aos níveis do reservatório de Guanhães, os dados iniciais, entre 1961 e 1962, não eram fornecidos diariamente. Neste período procedeu-se o preenchimento das falhas, através de interpolação dos dados. Ambos os reservatórios apresentavam longos períodos de falha nos registros de seus níveis.

Os registros de vazões foram disponibilizados somente a partir de 1976. Apenas cinco registros de vazão turbinada informados foram alterados durante as análises, devido a evidentes erros de digitação ou a falhas na observação.

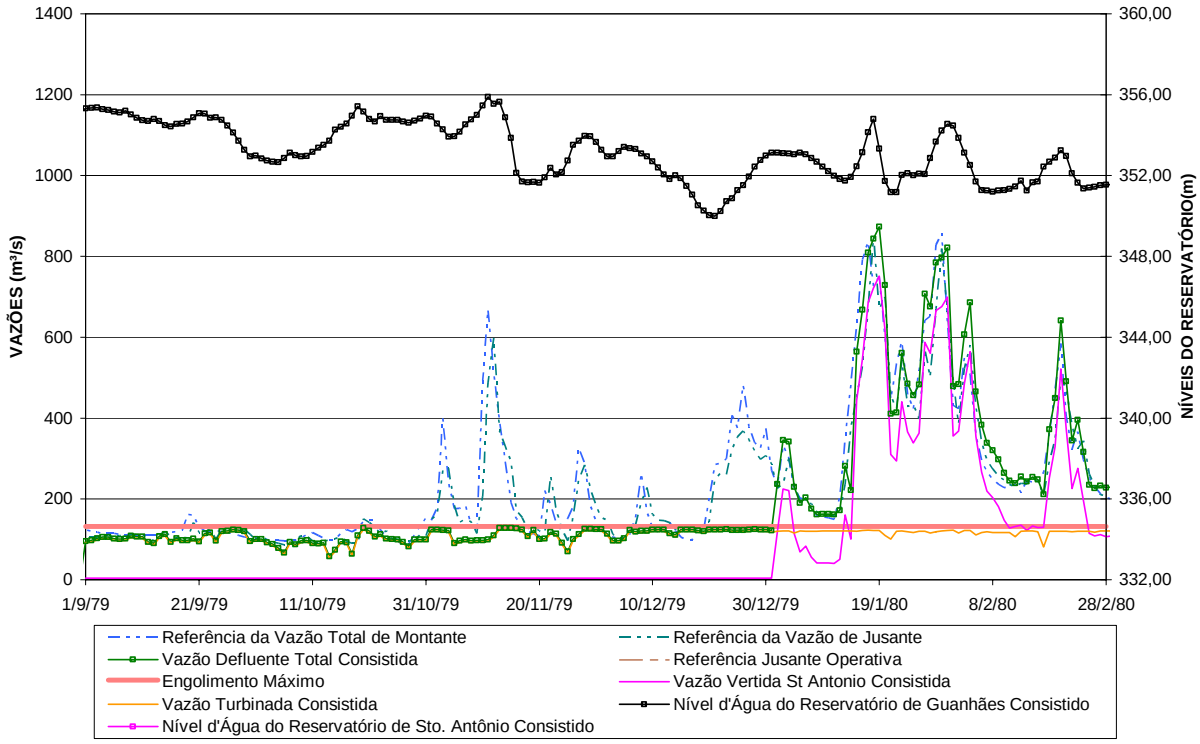
As vazões transferidas pelo túnel que interliga os reservatórios de Santo Antônio e Guanhães foram informadas apenas a partir de janeiro de 2002. Para o período de 01/01/1963 a 31/12/1998, a vazões transferidas pelo túnel foram estimadas com base na curva fornecida em função da diferença de níveis entre os reservatórios. Esses valores não foram usados nos cálculos de balanço do presente estudo.

A vazão afluente informada, do início da operação até 31/12/1998, corresponde à soma da vazão do rio Guanhães com a vazão transferida pelo túnel. A vazão defluente informada de Santo Antônio, do início da operação até 31/12/1998, deveria ser a soma da vazão vertida no reservatório com a transferida para o reservatório de Guanhães, mas é diariamente idêntica ao vertimento de Santo Antônio.

Apesar das vazões vertidas em Santo Antônio terem sido informadas a partir de setembro de 1979, o primeiro valor informado, diferente de 4 m³/s, ocorreu justamente no dia 01/01/80. Considerando-se as séries diárias de referência de montante e jusante e o engolimento máximo da usina, deduz-se que o vertimento de Sto. Antônio já vinha

ocorrendo desde 02/11/1979, apesar de não ter sido registrado. A Figura 7.3.27, a seguir, mostra os registros deste período.

FIGURA 7.3.27
UHE Salto Grande – Período de Setembro/1979 a Fevereiro/1980



Apesar de terem sido informados vertimentos em Guanhães desde janeiro de 1976, o primeiro valor não nulo recebido ocorreu nos dias 25 e 26/09/1987, ambos iguais a 8 m³/s. Após esses dois dias, houve alguns poucos dias com vertimentos com duração inferior a 1 dia, tendo sido registrados alguns episódios de vertimento com duração superior a 1 dia em 1992 e 1993. Outros episódios foram registrados em 1994, 1995, 1998, 1999, 2000, 2002, 2003, 2004 e 2005. Provavelmente, muitos episódios de vertimento em Guanhães, entre 1976 e janeiro de 1992, não foram devidamente registrados.

Uma análise comparativa entre as vazões afluentes informadas e as vazões afluentes obtidas por balanço permite observar que:

- Entre 02/01/1976 e 30/06/1979, a vazão afluente diária informada é quase idêntica à afluente obtida por balanço a partir dos acúmulos e vertimentos de Guanhães e da vazão turbinada.

- Entre 01/07/1979 e 31/12/1979, a vazão afluente diária informada apresenta pequena diferença (da ordem de 5 m³/s, para mais ou para menos), em relação à afluente obtida por balanço a partir dos acúmulos e vertimentos de Guanhães e da vazão turbinada.

- Entre 01/01/1980 e 01/02/1992, a vazão afluente diária informada é muito maior do que a afluente obtida por balanço a partir dos acúmulos e vertimentos de Guanhães e da vazão turbinada, exceto em meses secos. Isto ocorre porque neste período, a afluente informada passa a ter o vertimento de Santo Antônio somado a ela.

- Entre 01/03/1992 e 31/01/1999, a vazão afluente diária informada apresenta pequena diferença (da ordem de 5 m³/s, para mais ou para menos), em relação à afluente obtida por balanço a partir dos acúmulos e vertimentos de Guanhães e da vazão turbinada.

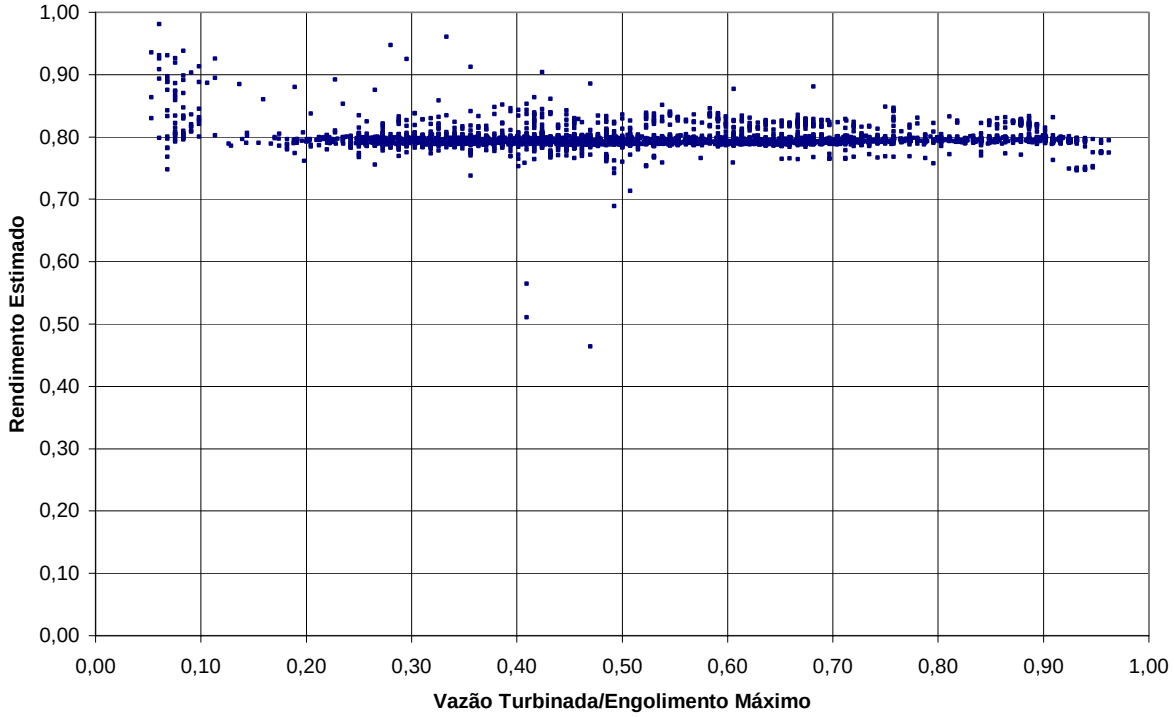
- Entre 01/02/1999 a 31/12/2005, a vazão afluente diária informada é quase idêntica à afluente obtida por balanço a partir dos acúmulos e vertimentos de Guanhães e da vazão turbinada.

Os rendimentos médios da usina puderam ser analisados a partir de junho de 1988, quando foram disponibilizados dados de geração, apesar de grandes períodos de falha, como, por exemplo, os anos de 1999, 2000, 2001 e 2004. Os níveis de jusante históricos não foram informados. Apenas para que fosse possível realizar uma estimativa do rendimento desta usina, considerou-se nível no canal de fuga constante na elevação 256,10 m.

Os rendimentos estimados foram plotados em função da relação entre a vazão turbinada e o engolimento máximo da usina (Figura 7.3.28), tendo sido observado que os pontos formam uma nuvem praticamente horizontal, com rendimentos em torno de 80%.

Para o período anterior ao ano 2000, os registros de vertimento da barragem do rio Santo Antônio apresentam uma grande quantidade de falhas, motivo pelo qual se optou por não utilizar os dados operativos desta usina durante o período em questão. Foram, então, utilizados para a reconstituição das séries de vazões naturais das UHE's Salto Grande e Porto Estrela neste período os dados das estações fluviométricas da bacia.

FIGURA 7.3.28
UHE SALTO GRANDE – Rendimento x Vazão Turbinada/ Engolimento Máximo



7.3.11. CONSISTÊNCIA DOS DADOS OPERATIVOS DA UHE PORTO ESTRELA

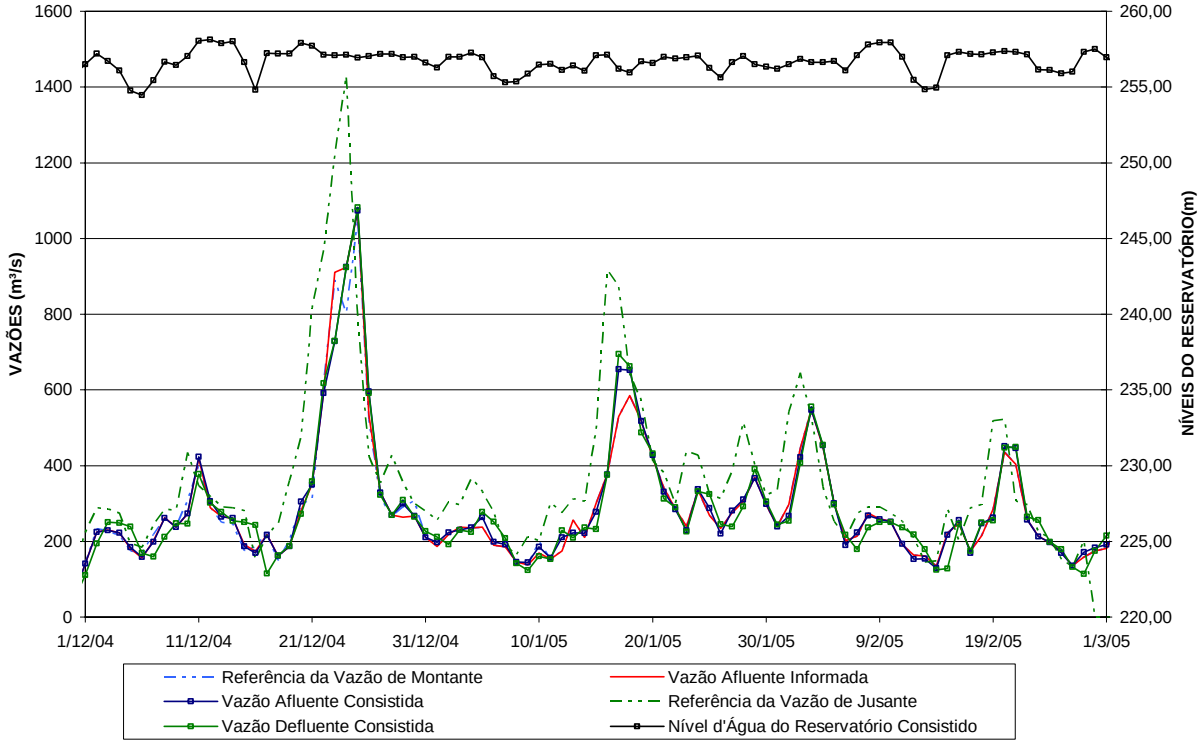
A UHE Porto Estrela está localizada no rio Santo Antônio, afluente pela margem esquerda do rio Doce, e encontra-se a jusante da UHE Salto Grande. O início do enchimento do seu reservatório ocorreu em 07/09/2001.

Para a análise de consistência foi utilizada como referência de montante a série diária de vazões defluentes consistidas da UHE Salto Grande, cuja área de drenagem (9.012 km²), equivale a 96% da área de contribuição de Porto Estrela (9.408 km²).

A referência de jusante foi obtida a partir das vazões diárias registradas nos postos fluviométricos Naque Velho, no rio Santo Antônio, até o ano de 2001, e Coqueiros, também no rio Santo Antônio, a partir de 2002. Este último possui área de drenagem igual à área de contribuição da usina, enquanto o primeiro possui área de drenagem de 10.170 km², ou seja, cerca de 9% superior à área de drenagem da usina.

A Figura 7.3.29, a seguir, apresenta um trecho de hidrograma diário correspondente ao período de dezembro de 2004 a fevereiro de 2005, e permite observar um bom comportamento das vazões consistidas quando comparadas com as séries de referência de montante e jusante.

FIGURA 7.3.29
UHE Porto Estrela – Período Dezembro/2004 a Fevereiro/2005

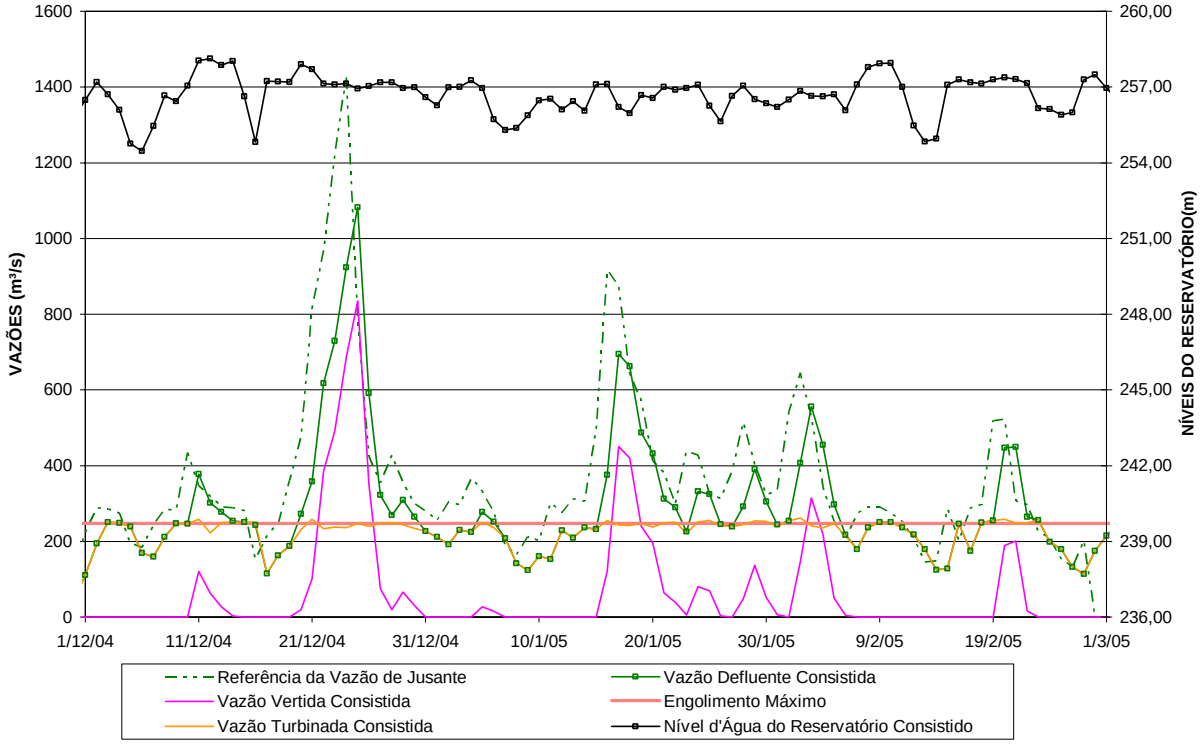


Durante a análise de consistência dos dados operativos, alguns registros de vazões turbinadas, vertidas e defluentes informados foram corrigidos por erros sistemáticos ou mesmo acidentais. A partir de 2005 as vazões turbinadas não foram informadas, no entanto, estes valores puderam ser determinados a partir das vazões vertidas e defluentes consistidas. No início de 2002 as vazões as vazões defluentes consistidas foram obtidas a partir dos dados consistidos de vazões turbinadas e vertidas.

Observou-se, ainda, que os valores de vazões afluentes informados para o ano de 2005, são iguais aos valores informados de vazões defluentes da UHE Salto Grande, o que indica que a afluência de Porto Estrela não foi obtida pelo balanço hídrico da própria usina. Nos anos de 2001 a 2004, a vazão afluente informada foi obtida pelo balanço da usina, a partir das séries diárias de níveis, turbinadas e vertidas, havendo algumas exceções. Em alguns dias verificou-se que a vazão defluente não era igual à soma das vazões turbinadas e vertidas informadas.

A Figura 7.3.30 mostra um detalhe das vazões defluentes, vertidas e turbinadas consistidas para o período de dezembro de 2004 a fevereiro de 2005, comparando-se com as vazões da referência de jusante.

FIGURA 7.3.30
UHE Porto Estrela – Período Dezembro/2004 a Fevereiro/2005

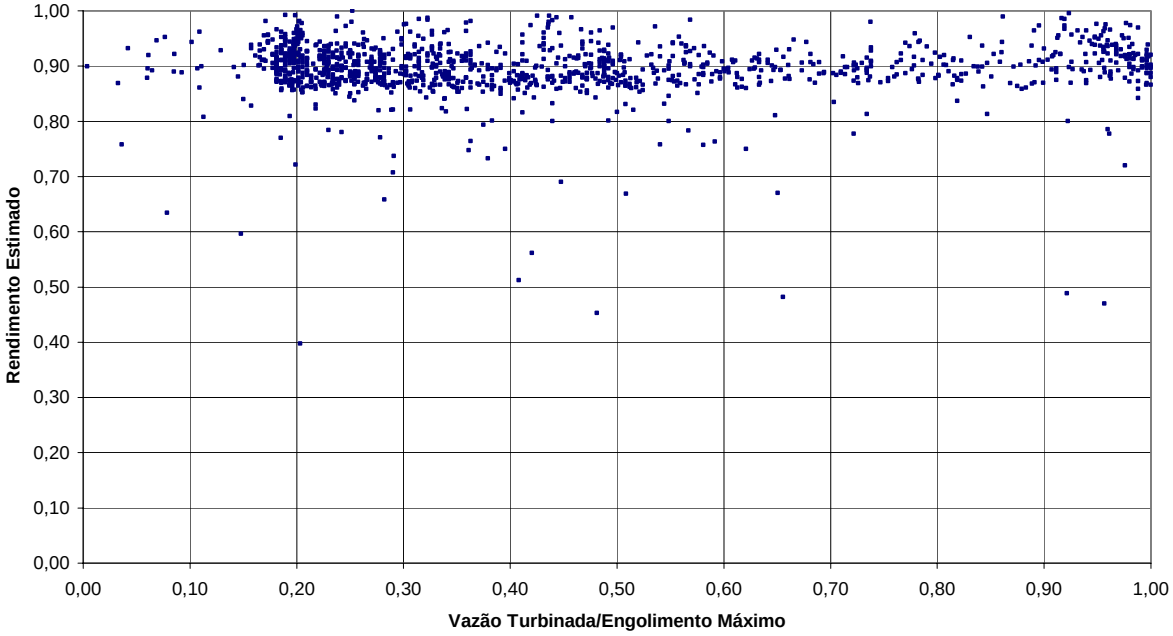


Uma análise dos valores obtidos para a diferença entre as vazões afluentes consistidas e informadas mostra diferenças razoáveis em nível diário entre os valores informados e consistidos. Estas diferenças ainda persistem quando em nível mensal, porém, com menor freqüência e valor.

Com base nos dados diários de geração, vazão turbinada, nível do reservatório e nível de jusante, estimou-se o rendimento da usina com vistas a verificar a consistência da vazão turbinada. Para os dias em que não se dispunha de níveis de jusante informados, os mesmos foram estimados com base na curva-chave do canal de fuga informada pelo ONS, que mostrou um bom ajuste aos níveis históricos informados.

A Figura 7.3.31 mostra o acompanhamento dos rendimentos estimados em função das vazões turbinadas, ao longo do período analisado. Observa-se que os rendimentos variam numa faixa de 0,85 a 0,95, fixando-se, mais frequentemente, em torno de 0,90. Foram encontrados rendimentos diários estimados superiores a 1, o que acorreu, na maioria das vezes, em dias de vazões turbinadas baixas. Optou-se por não corrigir estes valores, uma vez que isso levaria a pequenas alterações nas vazões defluentes da usina.

FIGURA 7.3.31
UHE PORTO ESTRELA – Rendimento x Vazão Turbinada/ Engolimento Máximo



8. OBTENÇÃO DAS SÉRIES DE VAZÕES NATURAIS MÉDIAS DIÁRIAS E MENSAIS

Este Capítulo consolida, sob a ótica da HICON, a metodologia empregada na obtenção das séries de vazões naturais médias diárias e médias mensais dos aproveitamentos hidrelétricos das bacias dos rios Parnaíba, Jequitinhonha e Doce, definida após a conclusão dos estudos de consistência de dados.

A metodologia específica a ser empregada em cada local depende, naturalmente, da disponibilidade e qualidade dos dados registrados, sendo definida após a conclusão dos estudos de consistência de dados fluviométricos, pluviométricos e operativos.

O presente texto apresenta a descrição da metodologia na forma sistemática definida, contemplando todas as situações possíveis de ocorrer e os procedimentos a serem adotados nos casos de exceção.

Apesar de algumas das definições apresentadas no texto a seguir já terem sido descritas no Capítulo 7 (**7. Análise dos Dados Operativos**), no capítulo atual, algumas equações foram reescritas de maneira diferenciada, visando o estabelecimento da metodologia de reconstituição. Desta forma, em alguns momentos partes dos referidos textos serão semelhantes, visto que, de maneira geral, tratam do mesmo assunto.

A metodologia de obtenção das séries fluviométricas mensais e diárias em cada local de aproveitamento, considerando os dados disponibilizados em cada período e o início de operação de cada reservatório situado a montante, é também detalhada para cada bacia hidrográfica.

Finalmente, ao final do capítulo, é apresentada uma breve discussão sobre o emprego de modelos conceituais chuva-deflúvio (em escala mensal), para a extensão das séries de vazões naturais das três bacias hidrográficas estudadas, justificando a opção feita no presente trabalho, pelos modelos de regressão.

No Capítulo anterior, encontram-se descritos os conceitos gerais dos fenômenos e processos envolvidos na metodologia e a terminologia a ser empregada na modelagem.

8.1. CONCEITOS GERAIS

8.1.1. TRANSFERÊNCIA DE VAZÕES COM BASE NAS ÁREAS DE DRENAGEM

As séries de vazões naturais dos aproveitamentos situados onde não se dispõe de observações locais, nos períodos anteriores à sua implantação, podem ser definidas por transferência, a partir de séries fluviométricas existentes em locais situados a montante e a jusante do aproveitamento, no mesmo rio.

A transferência é feita através de interpolação linear, em função das áreas de drenagem no local de interesse e nos postos fluviométricos, mediante a aplicação da seguinte equação:

$$Q_{med} = Q_{med}^{mont} + \theta \cdot \left(Q_{med}^{jus} - Q_{med}^{mont}\right) = \left(1-\theta\right) \cdot Q_{med}^{mont} + \theta \cdot Q_{med}^{jus}$$

onde

Q_{med} é a vazão média (diária ou mensal) estimada no local de interesse;

Q_{med}^{mont} é a vazão média no posto de referência imediatamente a montante do local de interesse; caso haja mais de um posto de referência "em paralelo" a montante, Q_{med}^{mont} é fornecida pela somatória das vazões de tais postos. Entende-se por "paralelos" postos tais que a água que passa por um deles, não passa pelo outro, ou seja, postos a montante de confluências.

Q_{med}^{jus} é a vazão média mensal no posto de referência imediatamente a jusante do local de interesse, subtraída de eventuais contribuições de postos "paralelos" ao local de interesse.

θ é um coeficiente de interpolação, normalmente determinado pela relação

$$\theta = \frac{\left(A_{dren} - A_{dren}^{mont}\right)}{\left(A_{dren}^{jus} - A_{dren}^{mont}\right)},$$

sendo A_{dren} a área de drenagem correspondente ao local de interesse e A_{dren}^{mont} e A_{dren}^{jus} as áreas de drenagem correspondentes às vazões Q_{med}^{mont} e Q_{med}^{jus}, respectivamente.

Caso não haja posto de referência a montante do local de interesse, adota-se $Q_{med}^{mont} = 0$ e $A_{dren}^{mont} = 0$. Não havendo estação principal a jusante do local de interesse, adota-se $Q_{med}^{jus} = 0$ e $A_{dren}^{jus} = 0$.

A vantagem da aplicação do procedimento descrito é que as vazões nos locais de interesse são, por construção, consistentes com as vazões nas estações fluviométricas.

Nas situações em que não há uma estação fluviométrica a montante, a confiabilidade será tanto maior quanto maior for o valor de θ, ou seja, quanto mais próxima do local de interesse estiver a estação existente.

Nas situações em que não há uma estação fluviométrica a jusante, a confiabilidade será tanto maior quanto menor for o valor de θ.

Nas situações em que há estações fluviométricas tanto a montante como a jusante ocorre o seguinte:

- a confiabilidade será tanto maior quanto mais próxima de 0 (zero) ou de 1 (um) for o valor de θ;
- para valores médios de θ, a confiabilidade será tanto maior quanto menor for o valor da relação $A_{dren}^{jus} / A_{dren}^{mont}$, que mede a densidade local da rede de interesse energético;
- a confiabilidade será geralmente maior que a correlação entre Q_{med}^{jus} e Q_{med}^{mont}.

De uma maneira geral, a confiabilidade da metodologia de transferência de informação é maior que a confiabilidade dos procedimentos de preenchimento e extensão das séries fluviométricas baseados em correlação.

Quando só se dispõe de um posto fluviométrico de referência, a transferência pode ser feita assumindo-se uma proporcionalidade entre as vazões médias e as áreas de drenagens afetadas de um expoente próximo da unidade, cujo valor pode ser determinado como parâmetro regional.

8.1.2. TRANSFERÊNCIA DE VAZÕES POR CORRELAÇÃO

Quando se dispõe, para algum período, de vazões observadas no local do aproveitamento, antes de sua implementação, e de dados de outros postos fluviométricos na bacia ou mesmo em bacias vizinhas, é possível se estabelecer uma equação de regressão que permita estimar as vazões naturais no local do aproveitamento a partir das vazões observadas nos referidos postos.

Esta técnica de transferência é aplicável, normalmente, a séries de vazões médias mensais, mas pode ser empregada, com o devido cuidado, a séries de vazões médias diárias, dependendo da proximidade entre os postos (ao longo do mesmo curso d'água) e da qualidade do ajuste obtido.

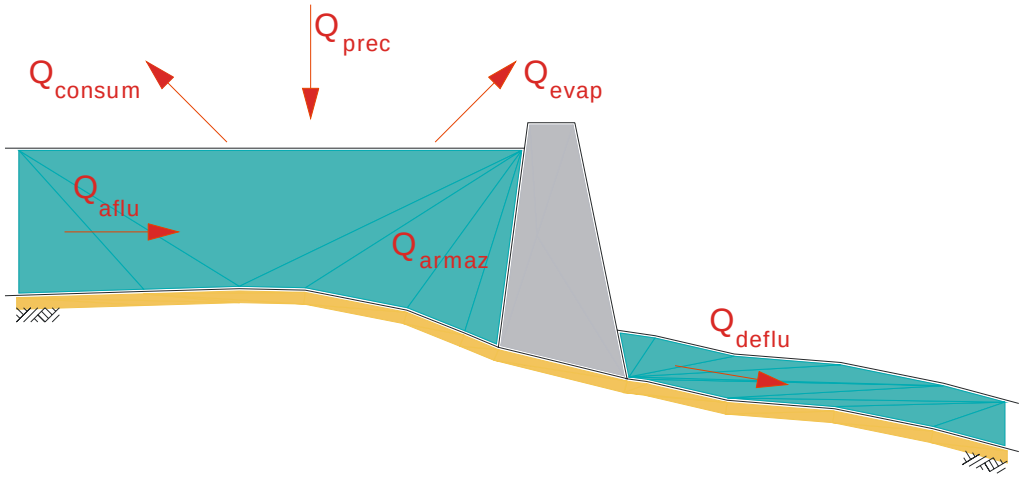
Os parâmetros das equações de regressão são estimados pelo método dos mínimos quadrados e a qualidade do ajuste obtido é medida pelo coeficiente de correlação, no caso de regressão simples, ou pela estatística do erro médio quadrático, no caso de regressões múltiplas.

8.1.3. BALANÇO HÍDRICO EM UM RESERVATÓRIO

A equação de continuidade estabelece que o volume diário afluente ao reservatório – $Q^i_{aflu}(t)$ – somado ao volume correspondente à precipitação líquida – $Q^i_{prec}(t)$ – é igual ao volume defluente – $Q^i_{deflu}(t)$ – (obtido pela soma do volume vertido com o turbinado) somado ao volume armazenado ao longo do dia – $Q^i_{armaz}(t)$, obtido a partir da curva cota-volume e dos níveis d'água do reservatório no início e no final do dia), mais o volume retirado pela evaporação líquida – $Q^i_{evap}(t)$, mais o volume consumido por usos diversos existentes no reservatório – $Q^i_{consum}(t)$.

A Figura 8.1.1 ilustra o que foi dito.

FIGURA 8.1.1
Balanço Hídrico em Um Reservatório



De uma forma geral, pode-se escrever:

$$Q^i_{aflu}(t) = Q^i_{deflu}(t) + Q^i_{armaz}(t) + Q^i_{consum}(t) + Q^i_{evap}(t) - Q^i_{prec}(t) \qquad \text{(eq. 1)}$$

onde:

$$Q^i_{evap}(t) = \frac{E_{líquida} \cdot Área}{\Delta t} \qquad \text{e} \qquad Q^i_{prec}(t) = \frac{P_{líquida} \cdot Área}{\Delta t}$$

Para o presente trabalho, o termo correspondente à evaporação líquida foi estabelecido pelo ONS, com base em estudos realizados anteriormente. Para cada aproveitamento foi definido um vetor de evaporação líquida diária (mm) através do qual é possível determinar, a cada dia, a vazão média de evaporação líquida, em função da área superficial do reservatório.

Esta abordagem não pode ser aplicada ao termo correspondente à precipitação líquida sobre o reservatório, pois a precipitação exibe uma variabilidade muito superior à da evaporação. Além disso, a parcela da precipitação que se transforma em escoamento superficial, nas condições naturais, é muito dependente da intensidade da chuva, fato que cria uma dificuldade ainda maior ao estabelecimento de uma metodologia simples que permita a consideração do termo de precipitação líquida no balanço hídrico diário, tal como procedido com a evaporação líquida.

Diante desta dificuldade, e considerando que o erro envolvido seria de ordem secundária, o termo de precipitação líquida foi negligenciado no processo de reconstituição das séries de vazões naturais.

Para os usos consuntivos, o ONS também definiu um vetor de retiradas diárias (m^3/s) em cada sub-bacia incremental, com base em estudos realizados anteriormente.

8.1.4. PROPAGAÇÃO DE VAZÕES AO LONGO DE UM TRECHO DE RIO

Uma onda, ao escoar ao longo de um curso d'água, passa por um processo de atenuação e deslocamento devido ao armazenamento de água na calha, ao atrito da água com o leito e à difusão provocada pelos gradientes de pressão. Deste modo, o hidrograma que entra no ponto ***i*** sai com sua forma modificada, no ponto ***i+1***.

Este processo, ilustrado nas Figuras 8.1.4.1 e 8.1.4.2, é denominado propagação de vazões, e é regido pelas equações de conservação de massa (equação da continuidade) e de conservação da quantidade de movimento (equação dinâmica), comumente denominadas equações de Saint-Vennant.

FIGURA 8.1.4.1
Propagação de Vazões ao Longo de um Trecho

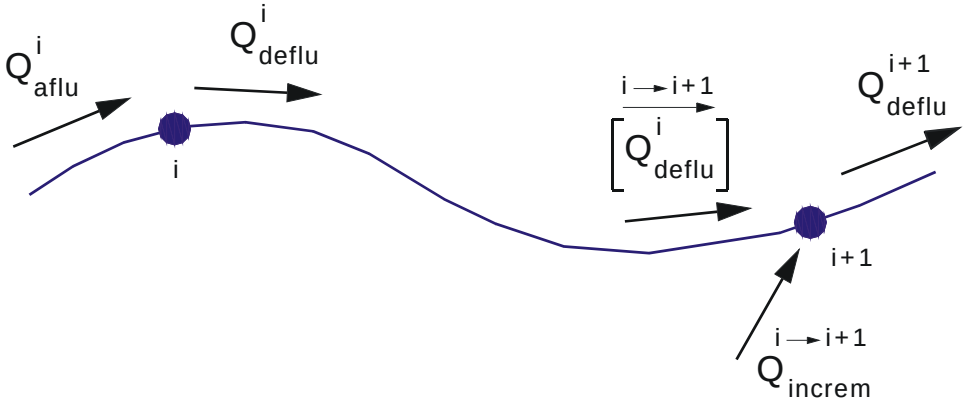
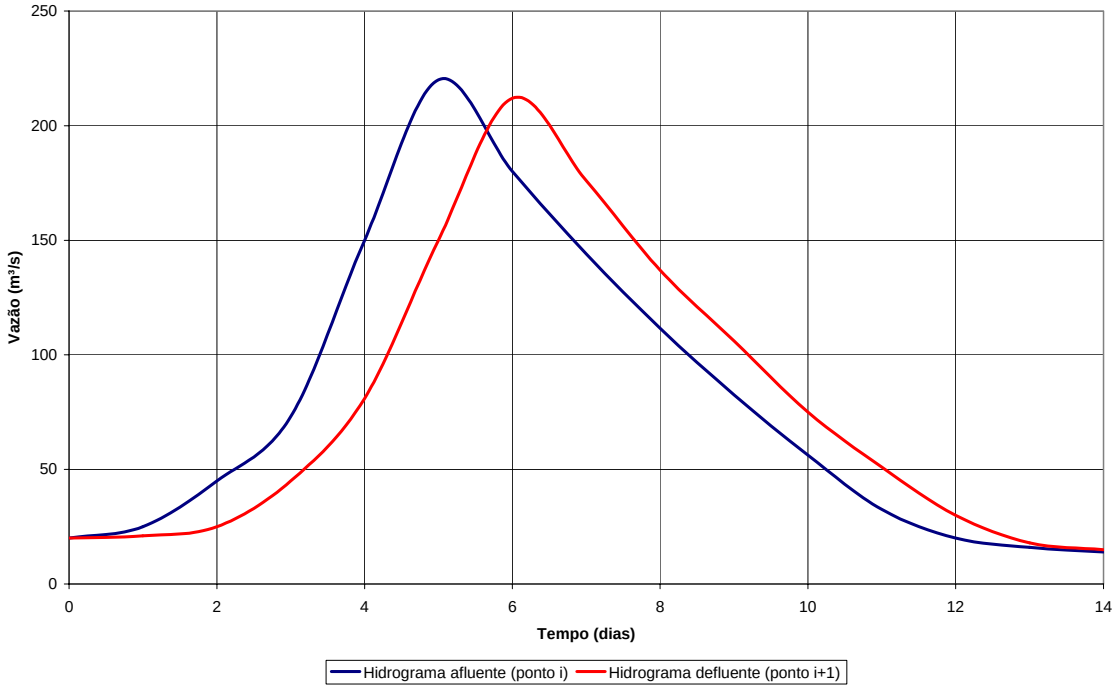


FIGURA 8.1.4.2
Propagação de Vazões na Calha Fluvial



A equação da continuidade estabelece que, num dado intervalo de tempo, a diferença entre o volume que entra no trecho (pelo ponto ***i*** e ao longo de todo o trecho) e o volume que dele sai (ponto ***i+1***) corresponde ao volume armazenado na calha do rio neste período. A equação dinâmica estabelece o equilíbrio de forças que atuam sobre a água devido à gravidade, ao atrito, às pressões e à inércia do fluxo.

Na modelagem do escoamento em calhas naturais, a equação dinâmica costuma ser simplificada, desprezando-se os termos menos significativos, em função das características dos trechos a serem simulados.

Os modelos do tipo armazenamento são empregados com freqüência na simulação de escoamentos em cursos d'água naturais. Estes modelos, também denominados hidrológicos, empregam a equação da continuidade e substituem a equação dinâmica por uma equação relacionando o volume de armazenamento com as vazões afluentes e defluentes ao trecho. Os modelos SSARR ou Muskingum constituem exemplos de modelos de armazenamento.

Para as três bacias hidrográficas abordadas no presente trabalho, em virtude dos pequenos tempos de viagem envolvidos (existentes entre os aproveitamentos hidrelétricos ou entre os postos fluviométricos e os aproveitamentos), será empregado um método de propagação que envolve apenas a translação (ou defasagem) do hidrograma afluente, considerando o tempo de percurso estimado entre os pontos ***i*** e ***i+1***.

Com esta simplificação os termos de amortecimento e de difusão (alargamento) são desprezados. Na prática, como não se trabalha com um hidrograma contínuo, mas sim com valores discretos de vazões médias diárias, este processo introduz um pequeno amortecimento das ondas de cheia, sempre que os tempos de percurso forem diferentes de 24 horas ou de seus múltiplos. É preciso registrar, entretanto, que este "amortecimento" é meramente numérico, significa apenas um ruído introduzido pelo processo de cálculo.

O tempo de viagem ou de propagação das vazões entre os pontos ***i*** e ***i+1*** pode ser estimado com base em inspeção dos hidrogramas observados nos dois locais ou, de forma mais sistemática, através de métodos estatísticos.

Um método simples consiste em definir uma equação de regressão para as vazões no ponto ***i+1***, tendo como variáveis independentes as vazões observadas no ponto ***i*** com diferentes defasagens (0, 1 dia, 2 dias, etc). Obtém-se uma equação do tipo:

$$Q^{i+1}(t) = C_0 \cdot Q^i(t) + C_1 \cdot Q^i(t-1) + C_2 \cdot Q^i(t-2) + C_3 \cdot Q^i(t-3) + \cdots$$

Identificados os dois "lags" mais significantes (correspondentes aos maiores coeficientes na equação de regressão), repete-se o processo considerando-se apenas estes dois "lags", por exemplo:

$$Q^{i+1}(t) = C_1 \cdot Q^i(t-1) + C_2 \cdot Q^i(t-2)$$

A equação atribui "peso" $p_1 = \dfrac{C_1}{C_1 + C_2}$ para a vazão com "lag" 1 (24 horas) e $p_2 = \dfrac{C_2}{C_1 + C_2}$ para a vazão com "lag" 2 (48 horas), de modo que o tempo de viagem pode ser estimado, para o caso do exemplo, em $T = 24 \cdot p_1 + 48 \cdot p_2$.

Este processo pode ser aperfeiçoado, normalizando-se as séries observadas nos dois locais, de tal forma que os "pesos" passam a ser calculados diretamente pelos coeficientes de regressão.

A vantagem deste procedimento simplificado de propagação, em detrimento de métodos mais precisos, é que o mesmo permite uma diferenciação do processo de propagação antes e depois da implementação dos reservatórios, mesmo que não se disponha de dados observados. Os tempos de viagem entre dois locais conhecidos (que dispõem de dados observados) podem ser decompostos em tempos parciais entre locais intermediários, com base no perfil longitudinal do curso d'água e de outras características fisiográficas.

8.1.5. CÁLCULO DA VAZÃO INCREMENTAL ENTRE OS PONTOS *I* E *I+1*

Considerando o esquema apresentado na Figura 8.1.4.1, as vazões que ocorrem no ponto ***i+1***, $Q^{i+1}(t)$, quer vazões naturais quer vazões observadas, podem ser expressas como a soma da propagação até o ponto ***i+1*** das vazões ocorridas no ponto ***i***, $\left[\overrightarrow{Q^{i}(t)}^{i\to i+1}\right]$, com as vazões resultantes da contribuição da bacia incremental associada ao ponto ***i+1***, $Q_{increm}^{i\to i+1}(t)$, ou seja:

$$Q^{i+1}(t) = \left[\overrightarrow{Q^{i}(t)}^{i\to i+1}\right] + Q_{increm}^{i\to i+1}(t) \qquad \text{(eq. 2)}$$

Esta equação constitui a base da metodologia proposta para reconstituição das séries de vazões naturais nas três bacias, pois estabelece que se a vazão natural em um local ***i*** for conhecida, pode-se obter a vazão natural em outro local ***i+1***, situado a jusante, apenas propagando-se a vazão conhecida ao longo da calha fluvial até o ponto desejado e adicionando-se, neste local, a contribuição da bacia incremental.

Esta mesma expressão permite a determinação do hidrograma incremental correspondente ao trecho ***i→i+1***, desde que se conheça o hidrograma no ponto ***i+1*** (através de dados observados, por exemplo) e que saiba realizar a propagação do hidrograma observado em ***i*** até o ponto ***i+1***. Permite, portanto, que se identifique o hidrograma correspondente à bacia incremental a partir dos dados observados.

A propagação é uma operação de suma importância no processo de reconstituição de vazões naturais, pois se o processo é feito de montante para jusante, uma vez conhecida a série de vazões naturais em um ponto ***i***, pode-se calcular a série natural do ponto ***i+1*** propagando-se o hidrograma do ponto ***i*** e somando-o com o hidrograma incremental.

Esta operação exige que se assuma a hipótese de que o hidrograma incremental não é alterado pela introdução dos reservatórios na bacia. Na verdade, o hidrograma de vazões incrementais é resultante da composição de diversos hidrogramas que alcançam a calha fluvial ao longo do trecho ***i→i+1*** em pontos diferentes, alcançando o ponto ***i+1*** por percursos distintos, dependendo do ponto de entrada no rio. Com isso, a presença do reservatório pode alterar a forma do hidrograma incremental, já que o mesmo acelera a chegada do escoamento até a barragem.

Na reconstituição das séries de vazões naturais das bacias dos rios Parnaíba, Jequitinhonha e Doce, será admitida a hipótese de que os hidrogramas incrementais não são alterados pela presença do reservatório.

8.1.6. MODULAÇÃO DOS HIDROGRAMAS DE VAZÕES INCREMENTAIS

Para os reservatórios de maior porte, ou para reservatórios precedidos de bacias incrementais muito pequenas, o cálculo das vazões afluentes através de balanço hídrico diário pode levar a hidrogramas de aspecto pouco "hidrológico", com variações bruscas de vazão. Estas variações são devidas às aproximações realizadas nos cálculos dos volumes a partir dos níveis d'água, que são registrados com precisão de 1 cm, e aparecem amplificadas nos hidrogramas incrementais. Eventualmente, as leituras de níveis d'água nos reservatórios podem não ser representativas devido à presença de vento, ou a alterações provocadas pela operação do vertedouro, por exemplo.

Para evitar a reprodução destes "zig-zags" nos hidrogramas naturais, assume-se a vazão incremental média mensal calculada pela média das vazões incrementais diárias no mês, desagregando-se este volume dia-a-dia proporcionalmente ao comportamento das vazões medidas na bacia incremental. Para isso é necessário que se disponha de um ou mais postos fluviométricos na bacia incremental *i*→*i+1*, ou em alguma sub-bacia próxima que apresente comportamento hidrológico semelhante.

Este procedimento, denominado "modulação" consiste dos seguintes passos:

- Cálculo das vazões diárias afluentes a *i+1* por balanço hídrico,
- Cálculo das vazões diárias incrementais a *i+1*, subtraindo-se das vazões afluentes as vazões defluentes de montante propagadas;
- Cálculo da vazão incremental média mensal, através da média das incrementais diárias.
- Determinação de um hidrograma natural de referência para modulação através da soma das vazões observadas nos postos fluviométricos disponíveis na bacia incremental, propagando estas vazões até o local de interesse.
- Desagregação da vazão média mensal incremental em valores diários, através da seguinte expressão:

$$Q_{increm}^{Mod}(t) = \frac{\overline{Q_{increm}^{bal}}}{\sum_{m=1}^{npostos} \overline{Q_m^{flu}}} \cdot \sum_{m=1}^{npostos} Q_m^{flu}(t - t_v)$$

sendo:

$\overline{Q_{increm}^{bal}}$ - vazão incremental média mensal obtida por balanço hídrico;

$\sum_{m=1}^{npostos} \overline{Q_m^{flu}}$ - somatória das vazões médias mensais dos postos fluviométricos existentes na bacia incremental

$\sum_{m=1}^{npostos} Q_m^{flu}(t - t_v)$ - somatória das vazões médias diárias dos postos fluviométricos, propagadas até o ponto de interesse.

t_v - tempo de viagem do posto m até o local de interesse.

A relação $\frac{\overline{Q_{increm}^{bal}}}{\sum_{m=1}^{npostos} \overline{Q_m^{flu}}}$ é denominada coeficiente de modulação mensal.

As séries fluviométricas de referência para modulação devem ser obtidas a partir dos postos fluviométricos que controlam parcialmente a área incremental imediatamente a montante do reservatório em estudo. Caso não exista posto fluviométrico nesta área, pode ser definida outra série de referência a partir de postos fluviométricos de bacias vizinhas, desde que estes postos possam ser considerados minimamente representativos da bacia incremental de interesse.

Para as grandes bacias incrementais, como, por exemplo, entre Candonga e Baguari, ou entre Aimorés e Mascarenhas, ou entre Murta e Itapebi, existem diversos postos fluviométricos dentro das bacias incrementais. A série de referência para desagregação pode, então, ser definida pela soma das séries dos diversos postos, de modo a se ter a maior área controlada possível. Neste caso, como se deseja obter por desagregação a série de vazões incrementais afluentes ao reservatório, deve-se ter o cuidado de propagar as séries de cada posto fluviométrico até o reservatório antes de somá-las para a obtenção da série incremental.

Caso não seja possível realizar com sucesso o balanço hídrico diário, as séries de vazões afluentes médias diárias passam a ser obtidas a partir do balanço hídrico mensal, desagregando-se os volumes incrementais mensais em valores diários com base em séries fluviométricas de referência para modulação.

Finalmente, caso não seja possível a definição de uma série de referência para modulação, o tratamento do hidrograma de vazões incrementais diárias pode ser feito através de um método de suavização, como, por exemplo, o método das médias móveis, ou assumindo-se a própria série natural de montante, devidamente propagada, como referência para modulação.

8.1.7. RECONSTITUIÇÃO DAS VAZÕES NATURAIS

Para o período posterior ao início de operação de cada reservatório, dispõe-se de dados observados de algumas variáveis operativas, a saber:

- Nível d'água diário do reservatório (montante) às 24:00 h;
- Nível d'água diário do canal de fuga (jusante) às 24:00 h;

- Vazão turbinada média diária; e
- Vazão vertida média diária.

Para um reservatório isolado, estes dados permitem o cálculo direto da vazão média diária afluente (***Q*afl*u***), através de balanço hídrico, conforme metodologia apresentada no item 8.1.3, equação 1.

A equação 1 pode ser reescrita para o reservatório mais a montante da bacia hidrográfica, para o qual a vazão afluente é a própria vazão natural, de uma forma mais conveniente:

$$Q^1_{nat}(t) = Q^1_{aflu}(t) = Q^1_{deflu}(t) + Q^1_{armaz}(t) + Q^1_{evap}(t) + Q^1_{consum}(t) - Q^1_{prec}(t) \quad \text{(eq 1-a)}$$

Para o reservatório situado imediatamente a jusante (reservatório 2), a vazão afluente difere da vazão natural devido ao efeito da operação do reservatório de montante. Para estabelecer uma metodologia de cálculo das vazões naturais no segundo reservatório da cascata, basta observar que a vazão afluente ao mesmo corresponde à soma da vazão defluente do reservatório de montante, devidamente propagada, com a contribuição da bacia incremental entre os dois reservatórios.

A equação 2 (item 8.1.5) pode ser escrita de forma conveniente para representar o que foi dito.

$$Q^2_{nat}(t) = \left[\overrightarrow{Q^1_{nat}(t)}^{1\to 2}\right] + Q^{1\to 2}_{increm}(t) \quad \text{(eq 2-a)}$$

Para realizar esta expressão é preciso conhecer a vazão incremental e propagar a vazão natural do reservatório 1 até o reservatório 2.

O processo de propagação é identificado de acordo com a metodologia apresentada no item 8.1.4.

A vazão incremental é calculada conforme apresentado no item 8.1.5, reescrevendo-se a equação 2 da seguinte forma:

$$Q^{1\to 2}_{increm}(t) = Q^2_{aflu}(t) - \left[\overrightarrow{Q^1_{deflu}(t)}^{1\to 2}\right] \quad \text{(eq. 2-b)}$$

Nessa forma 2-b, a equação 2 permite identificar a vazão incremental entre dois aproveitamentos com base nas vazões observadas em cada local.

O procedimento a ser seguido para o terceiro reservatório é idêntico, e assim sucessivamente.

A metodologia geral de reconstituição de vazões pode então ser resumida em duas etapas.

Primeira etapa – identificação das vazões incrementais

$$Q_{increm}^{i \to i+1}(t) = Q_{aflu}^{i+1}(t) - \left[\overrightarrow{Q_{deflu}^{i}(t)}^{\,i \to i+1} \right] \qquad \text{(eq. 3)}$$

Segunda etapa – cálculo das vazões naturais

$$Q_{nat}^{i+1}(t) = \left[\overrightarrow{Q_{nat}^{i}(t)}^{\,i \to i+1} \right] + Q_{increm}^{i \to i+1}(t) \qquad \text{(eq. 4)}$$

Dois aspectos ainda devem ser considerados, para a conclusão das bases metodológicas:

1. Aproveitamentos situados a jusante de confluências podem ter mais de um aproveitamento de montante, “em paralelo”. Neste caso, a bacia incremental é aquela compreendida entre os aproveitamentos imediatamente a montante e o reservatório em estudo. A vazão natural no reservatório de jusante é igual à **soma das vazões naturais** dos reservatórios imediatamente a montante, **propagadas**, mais a vazão correspondente à bacia incremental.
2. O tempo de viagem no percurso entre um barramento e o reservatório imediatamente a jusante deve ser considerado de forma consistente com a configuração da bacia. Assim, o processo de propagação na equação 3 corresponde à configuração atual da bacia, ou seja, à situação do trecho ***i→i+1*** correspondente à data ***t*** da simulação. Já o processo de propagação da equação 4 corresponde à situação original da bacia (natural), sem a presença do aproveitamento ***i+1***.

8.2. METODOLOGIA GERAL DE RECONSTITUIÇÃO DAS SÉRIES DE VAZÕES NATURAIS MÉDIAS DIÁRIAS E MENSAIS

Conforme já mencionado, o objetivo maior do trabalho é a definição das séries de vazões naturais totais e incrementais médias diárias e médias mensais nos locais dos aproveitamentos, cobrindo o período de 1931 até 2005.

A metodologia geral de reconstituição de vazões naturais foi formulada com base nos conceitos estabelecidos no item precedente, particularmente o subitem 8.1.7, e consolidada durante seminário realizado no ONS em 2003, que contou com a participação de diversas empresas consultoras e da Comissão de Acompanhamento dos Projetos, naquela ocasião constituída por ONS, ANA, ANEEL e CCPE-MME, além dos Agentes de Geração.

O presente item apresenta esta metodologia tomando por base o documento desenvolvido durante aquele seminário. A metodologia específica para obtenção das séries de vazões naturais em cada aproveitamento é detalhada no item 8.3.

A definição das séries de vazões naturais compreende procedimentos diferenciados, dependendo do período de interesse (antes ou depois da implantação dos aproveitamentos a montante do local de estudo, antes ou depois da construção do aproveitamento em estudo) e da disponibilidade de dados fluviométricos ou de dados operativos dos aproveitamentos existentes.

As metodologias a serem seguidas em cada situação são expostas e discutidas a seguir.

8.2.1. ANTES DO INÍCIO DE OPERAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS A MONTANTE DO LOCAL DE INTERESSE

Cálculo das Vazões Diárias

Na presença de dados de postos fluviométricos, as vazões diárias são calculadas:

Qnat (dia) = f (postos fluviométricos existentes na bacia)

Qinc (dia) = Qnat (dia) – Qnat (dia) montante propagada

Na ausência de postos fluviométricos não são calculadas as vazões diárias.

Cálculo das Vazões Mensais

Na presença de dados de postos fluviométricos:

Qnat (mês) = média mensal de Qnat (dia)

Qinc (mês) = média mensal de Qinc (dia)

Na ausência de postos fluviométricos:

Qnat (mês) = Utilizar modelagem chuva-vazão e correlação com postos de bacias adjacentes

Qinc (mês) = Qnat (mês) - Qnat (mês) montante propagada (ponderado com base na propagação diária, a ser aplicada para tempos de viagem superiores a 1 dia)

Qinc (mês) = Qnat (mês) - Qnat (mês) montante (para tempos de viagem menores ou iguais a 1 dia)

Comentários

Para o período anterior à implementação dos aproveitamentos, as séries naturais são obtidas a partir de séries observadas nos postos fluviométricos existentes (postos fluviométricos de referência) através de mecanismos de transferência que dependem da localização relativa destes postos.

Quatro questões devem ser equacionadas nesta fase:

- A análise de consistência e definição das séries nos postos fluviométricos de referência, preenchendo-se as lacunas através de métodos hidrológicos diversos.
- A extensão das séries de referência para datas anteriores ao período de observação disponível, por correlação com postos de históricos mais longos ou, na falta destes, por modelagem chuva-deflúvio a nível mensal. As séries mensais devem ser definidas desde janeiro de 1931.
- A transferência das séries de referência para os locais dos aproveitamentos por propagação, considerando-se os tempos de viagem estimados com base nos registros existentes ou interpolados a partir de tempos de viagem conhecidos.
- A “devolução” das vazões captadas para usos consuntivos, de forma a reconstituir as séries de vazões naturais a partir das séries de vazões observadas.

8.2.2. APÓS O INÍCIO DE OPERAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS A MONTANTE DO LOCAL DE INTERESSE

Cálculo das Vazões Diárias:

Qnat (dia) = f(postos fluviométricos existentes na bacia) + influência da operação dos reservatórios de montante propagados

Qinc (dia) = Qnat (dia) – Qnat (dia) montante propagada

Cálculo das Vazões Mensais:

Qnat (mês) = média mensal Qnat (dia)

Qinc (mês) = média mensal de Qinc (dia)

Comentários

Para o período posterior ao início da operação dos reservatórios de montante, deve-se retirar das séries observadas nos locais de interesse o efeito da operação destes reservatórios.

Isto é feito de forma automática quando a reconstituição de vazões é feita de montante para jusante, pois se trabalha apenas com vazões naturais propagadas. A influência da operação dos reservatórios de montante é retirada na medida em que se calculam as vazões naturais em cada local. Quando estas vazões são propagadas e somadas às incrementais, obtêm-se diretamente as vazões naturais de jusante. O efeito da operação dos reservatórios não precisa ser explicitado. Caso se queira explicitá-lo, basta calcular a diferença entre as vazões naturais obtidas e as vazões observadas.

8.2.3. APÓS O INÍCIO DA OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO NO LOCAL DE INTERESSE, COM DISPONIBILIDADE DE DADOS OPERATIVOS

Cálculo da vazão média diária afluente ao reservatório

Qafl(dia) = f(balanço hídrico do reservatório)

Cálculo da vazão incremental média diária

Qinc(dia) = Qafl(dia) – Qdefl (mont) propagada

Cálculo da vazão incremental média mensal

Qinc (mês) = Média mensal de Qinc(dia)

Modulação da vazão incremental média diária

Qinc(dia) modulada = Qinc(mês) desagregada pela somatória das vazões dos postos fluviométricos

- postos fluviométricos situados na bacia incremental (1ª opção)
- postos fluviométricos situados em bacias adjacentes (2ª opção)
- uso de médias móveis na ausência de postos fluviométricos (3ª opção)

Poderá ser avaliada a modulação da afluência diária a partir dos postos fluviométricos a montante desde que a área controlada, pelos mesmos, seja representativa.

Cálculo da vazão natural média diária

Qnat(dia) = Qnat(mont) propagada + Qinc(dia) modulada

Comentários

Para o período posterior à implantação dos reservatórios, as séries de vazões médias diárias afluentes aos reservatórios serão calculadas, fundamentalmente, por balanço hídrico diário, de acordo com os procedimentos descritos no item 8.1.3, sendo validadas a partir das séries de vazões incrementais obtidas a partir dos postos fluviométricos existentes.

A diferença entre a série de vazões médias diárias afluentes e as séries propagadas de montante fornece a série de vazões médias diárias incrementais, cujo hidrograma pode apresentar aspecto irregular, em virtude das aproximações inerentes ao método de balanço hídrico.

Para evitar este inconveniente, a vazão incremental média mensal, calculada pela média das vazões diárias, será desagregada em valores diários com base nos postos fluviométricos existentes na bacia incremental (ou em bacias vizinhas de comportamento similar). Este procedimento é denominado modulação e os postos fluviométricos utilizados são os postos de referência para modulação (ver item 8.1.6).

As séries de vazões médias mensais naturais serão reconstituídas a partir das séries de vazões médias diárias, por integração. Deste modo a compatibilidade entre as duas séries (diária e mensal) fica garantida por construção.

8.2.4. OUTROS ASPECTOS METODOLÓGICOS

Propagação de Vazões

a) Seção em local de aproveitamento no período anterior à sua entrada em operação e com reservatório a montante:

A propagação da vazão defluente e natural de montante será feita por translação com base no tempo de viagem médio obtido em condições naturais.

b) Seção em local de aproveitamento no período posterior à entrada em operação e com reservatório a montante:

A propagação da vazão defluente de montante será feita por translação com base no tempo de viagem médio obtido para as condições de reservatório.

A propagação da vazão natural de montante será feita por translação com base no tempo de viagem médio obtido em condições naturais.

Retirada do efeito da aceleração da propagação após a implantação dos reservatórios

Para evitar o efeito da aceleração do escoamento provocada pela presença dos reservatórios, a propagação de vazões naturais deverá ser feita considerando as condições naturais da bacia, com o rio fluindo pelo seu leito natural.

Precipitação líquida

A precipitação líquida sobre os reservatórios será negligenciada no processo de reconstituição das séries de vazão natural, conforme mencionado no item 8.1.3.

Evaporação líquida

A taxa de evaporação líquida será fornecida em forma de vetores com valores médios diários para cada aproveitamento, permitindo a obtenção das vazões médias diárias de evaporação líquida em função da área superficial do reservatório.

Volume consumido

O volume diário consumido em cada reservatório será fornecido pelo ONS, na forma de uma série de vazões diárias, de modo a reproduzir a evolução cronológica dos diversos usos consuntivos na bacia.

8.3. METODOLOGIA ESPECÍFICA DE CADA APROVEITAMENTO

Este item apresenta, para cada aproveitamento, a metodologia seguida na obtenção das séries de vazões naturais médias mensais e médias diárias, considerando a evolução cronológica da configuração dos aproveitamentos da bacia e a disponibilidade real de dados fluviométricos e operativos.

As Figuras apresentadas no Capítulo 2 deste relatório (**2. Descrição das Bacias e seus Aproveitamentos**) mostram diagramas esquemáticos das bacias dos rios Parnaíba, Jequitinhonha e Doce, a partir dos quais pode-se identificar a localização relativa dos aproveitamentos e dos principais postos fluviométricos, além de outras informações relativas a áreas de drenagem, áreas incrementais e tempos de viagem.

A disponibilidade de dados fluviométricos e de dados operativos das usinas é apresentada nos Anexos 5 e 7, respectivamente, ao final do relatório.

As metodologias específicas de reconstituição de vazões para cada aproveitamento são apresentadas nos itens 8.3.1 (rio Parnaíba), 8.3.2 (Jequitinhonha) e 8.3.3 (Doce). Em cada item é apresentado um texto introdutório, falando sobre a abordagem geral adotada para a bacia, e um Quadro descrevendo as metodologias de reconstituição de vazões naturais médias mensais e diárias, particularizadas para cada aproveitamento.

Nesses quadros, os períodos para os quais se dispõe de vazões diárias estão realçados em cinza no quadro relativo às vazões médias mensais. O termo “processo auxiliar”, utilizado nos quadros, refere-se aos métodos que são adotados para consistir ou complementar as séries geradas e para modular as séries de vazões médias diárias incrementais.

8.3.1. APROVEITAMENTOS DA BACIA DO RIO PARNAÍBA

Foram estudadas as séries de vazões naturais de seis aproveitamentos hidrelétricos na bacia do rio Parnaíba, um em operação desde 1974, a UHE Boa Esperança, que dispõe de registros operativos diários desde o início, e cinco novos aproveitamentos hidrelétricos, em fase de Estudos de Viabilidade, todos a serem implantados no rio Parnaíba.

Dos novos aproveitamentos hidrelétricos, o mais de montante, UHE Ribeiro Gonçalves, tem seu eixo localizado próximo do posto fluviométrico de mesmo nome, operado desde 1966 e dispondo de registros fluviométricos contínuos e de boa qualidade. A série de vazões médias diárias observadas no posto Ribeiro Gonçalves foi assumida como a série observada no local da UHE Ribeiro Gonçalves, de modo que a série de vazões naturais diárias foi obtida somando-se aos valores observados as vazões de uso consuntivo fornecidas pelo ONS.

A reconstituição das séries naturais de vazões diárias da UHE Boa Esperança também não ofereceu maiores problemas, porque além dos registros operativos estarem completos desde 1974, foi possível reconstituir o período anterior, de 1966 a 1973, com base na desagregação da série mensal, gerada através de modelo de regressão múltipla, e nos dados observados no posto fluviométrico Ribeiro Gonçalves, situado a montante.

A série de vazões incrementais diárias entre UHE Ribeiro Gonçalves e UHE Boa Esperança foi identificada com auxílio das vazões observadas em Ribeiro Gonçalves, propagadas e subtraídas das vazões afluentes a Boa Esperança, resultantes do balanço hídrico do reservatório. Em seguida, essa série de vazões incrementais foi modulada pela soma das vazões diárias dos postos São Félix das Balsas (rio das Balsas) e Fazenda Bandeira (rio Uruçuí Preto) devidamente propagadas até o local da usina. Estes dois afluentes representam 76% da incremental desde Ribeiro Gonçalves até Boa Esperança.

Finalmente, a partir da série natural diária em UHE Ribeiro Gonçalves e da série incremental deste local até Boa Esperança, devidamente modulada, foi possível

reconstituir as séries de vazões naturais diárias em UHE Boa Esperança e em UHE Uruçuí, situada entre as duas primeiras. As incrementais naturais de Uruçuí foram obtidas por interpolação, considerando-se as áreas de drenagem.

A metodologia aplicada ao trecho a jusante de Boa Esperança foi similar. A usina situada mais a jusante, UHE Castelhano, tem seu eixo localizado próximo ao posto fluviométrico Fazenda Veneza, que possui registro desde 1974. A série de vazões médias diárias observadas no posto Fazenda Veneza foi assumida como a série observada no local da UHE Castelhano, permitindo a identificação da série de vazões incrementais entre Boa Esperança e Castelhano para o período desde 1974.

As séries incrementais das duas usinas intermediárias, UHE Cachoeira e UHE Estreito, foram estimadas a partir da incremental total entre Boa Esperança e Castelhano, por proporcionalidade de áreas de drenagem.

A qualidade dos dados disponíveis e a magnitude extremamente reduzida das vazões incrementais no trecho do rio Parnaíba a jusante da UHE Boa Esperança acarretaram inúmeros problemas de consistência entre as séries observadas, que demandaram um trabalho muito elaborado.

A extensão das séries de vazões naturais médias mensais, para os períodos sem disponibilidade de dados diários, foi feita a partir de modelos de regressão, considerando dados fluviométricos e pluviométricos. A série mensal de Boa Esperança foi empregada como base e seus dados foram transferidos para Ribeiro Gonçalves e para Castelhano por correlação. As séries das usinas intermediárias foram finalmente calculadas por interpolação, em abordagem similar à adotada nas séries diárias.

Os quadros 8.3.1.1 a 8.3.1.6, apresentados a seguir, descrevem detalhadamente as metodologias utilizadas para reconstituição das séries de vazões naturais para diversos períodos na UHE Boa Esperança e nos locais dos 5 aproveitamentos hidrelétricos previstos na bacia do rio Parnaíba.

QUADRO 8.3.1.1
VAZÕES NATURAIS NA UHE RIBEIRO GONÇALVES (A CONSTRUIR)

VAZÕES MÉDIAS MENSAIS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JAN/1931-DEZ/1965	Vazões médias mensais transferidas da UHE Boa Esperança com base em correlação estabelecida no período mais recente.	Equação de transferência: $Q_{UHERibeiroGonçalves} = 3{,}3545 \cdot Q_{UHEBoaEsperança}^{0{,}6911}$ (r^2 = 0,932)
JAN/1966-DEZ/2005	Vazões médias mensais obtidas a partir das vazões médias diárias.	
VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JAN/1966-DEZ/2005	Vazões médias diárias transferidas do posto Ribeiro Gonçalves, com base na relação entre as áreas de drenagem.	Equação de transferência: $Q_{UHE\ Ribeiro\ Gonçalves} = 1{,}000\ Q_{Ribeiro\ Gonçalves\ (posto)}$

QUADRO 8.3.1.2
VAZÕES NATURAIS NA UHE URUÇUÍ (A CONSTRUIR)

VAZÕES MÉDIAS MENSAIS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JAN/1931 a DEZ/2005	Vazões médias mensais obtidas por interpolação, com base nas áreas de drenagem, a partir das séries mensais naturais da UHE Ribeiro Gonçalves e da UHE Boa Esperança.	Equação de Transferência: $Q_{URU} = 0{,}1404\ Q_{URG} + 0{,}8596\ Q_{UBE}$
VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JAN/1966 a DEZ/1973	Vazões naturais diárias da UHE Ribeiro Gonçalves propagadas até Uruçuí e somadas às vazões incrementais.	Vazões incrementais diárias obtidas pela desagregação das vazões incrementais mensais. As vazões incrementais mensais foram moduladas com base nos dados do posto Ribeiro Gonçalves devidamente propagados (ANA, 1966-2005).
JAN/1974 a DEZ/2005	Vazões naturais diárias da UHE Ribeiro Gonçalves propagadas até Uruçuí e somadas às vazões incrementais.	Vazões incrementais obtidas subtraindo-se as vazões observadas em Ribeiro Gonçalves (posto), devidamente propagadas, das vazões afluentes diárias à UHE Boa Esperança. A parcela correspondente à UHE Uruçuí foi calculada proporcionalmente à área incremental e modulada com base na soma dos dados dos postos São Félix das Balsas e Fazenda Bandeira.

QUADRO 8.3.1.3
VAZÕES NATURAIS NA UHE BOA ESPERANÇA (1974)

VAZÕES MÉDIAS MENSAIS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JAN/1931 a AGO/1933	Vazões médias mensais obtidas através de modelo de regressão múltipla, utilizando precipitação mensal nos postos Amarante e Oeiras, e vazão mensal em Boa Esperança. Equação Ajustada: $Q_{UBE}^{t} = K_0 + K_1 \cdot Q_{UBE}^{t-1} + K_2 \cdot P_{Amar}^{t-1} + K_3 \cdot P_{Amar}^{t} + K_4 \cdot P_{Oeir}^{t-1} + K_5 \cdot P_{Oeir}^{t}$	Coeficientes do Modelo: K_0 = 161,35 K_1 = 0,32555 K_2 = -0,12372 K_3 = 0,61073 K_4 = 0,57888 K_5 = 0,98213 EMQP=24,5%
SET/1933 a DEZ/1965	Vazões médias mensais obtidas por meio de um modelo de regressão múltipla utilizando dados de precipitação mensal nos postos de Amarante e Oeiras e dados de vazão observada no posto fluviométrico de Boqueirão. Equação Ajustada: $Q_{UBE}^{t} = K_0 + K_1 \cdot Q_{BOQ}^{t} + K_2 \cdot P_{Amar}^{t-1} + K_3 \cdot P_{Amar}^{t} + K_4 \cdot P_{Oeir}^{t-1} + K_5 \cdot P_{Oeir}^{t}$	Coeficientes do Modelo: K_0 = 7,6288 K_1 = 1,0333 K_2 = 0,21422 K_3 = 0,63185 K_4 = 0,46327 K_5 = 0,65509 EMQP=21,8% (*)EMQP: raiz quadrada do erro médio quadrático percentual
JAN/1966 a DEZ/2005	Vazões médias mensais obtidas a partir das vazões médias diárias.	
VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JAN/1966 a DEZ/1973	Vazões naturais diárias da UHE Uruçuí propagadas até Boa Esperança e somadas às vazões incrementais.	Vazões incrementais diárias obtidas pela desagregação das vazões incrementais mensais. As vazões incrementais mensais foram moduladas com base nos dados do posto Ribeiro Gonçalves devidamente propagados (ANA, 1966-2005).
JAN/1974 a DEZ/2005	Vazões naturais diárias da UHE Uruçuí propagadas até Boa Esperança e somadas às vazões incrementais.	Vazões incrementais obtidas subtraindo-se as vazões observadas em Uruçuí (geradas a partir de Ribeiro Gonçalves – Quadro 8.3.1.2), devidamente propagadas, das vazões afluentes diárias a Boa Esperança. A vazão incremental, assim calculada, foi modulada com base na soma dos dados dos postos São Félix das Balsas e Fazenda Bandeira.

QUADRO 8.3.1.4
VAZÕES NATURAIS NA UHE CACHOEIRA (A CONSTRUIR)

VAZÕES MÉDIAS MENSAIS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JAN/1931 a DEZ/2005	Vazões médias mensais obtidas por interpolação, com base nas áreas de drenagem, a partir das séries mensais naturais da UHE Boa Esperança e da UHE Castelhano (posto fluviométrico Fazenda Veneza).	Equação de Transferência: $Q_{CACH} = 0,6302\ Q_{UBE} + 0,3698\ Q_{CAST}$
VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JAN/1974 a DEZ/2005	Vazões naturais diárias da UHE Boa Esperança propagadas até Cachoeira e somadas às vazões incrementais.	Vazões incrementais obtidas subtraindo-se as vazões defluentes da UHE Boa Esperança, devidamente propagadas, das vazões observadas no posto fluviométrico de Fazenda Veneza, moduladas pela própria média móvel centrada de sete dias. A parcela correspondente à UHE Cachoeira foi calculada proporcionalmente à área incremental.

QUADRO 8.3.1.5
VAZÕES NATURAIS NA UHE ESTREITO (A CONSTRUIR)

VAZÕES MÉDIAS MENSAIS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JAN/1931 a DEZ/2005	Vazões médias mensais obtidas por interpolação, com base nas áreas de drenagem, a partir das séries mensais naturais da UHE Boa Esperança e da UHE Castelhano (posto fluviométrico Fazenda Veneza).	Equação de Transferência: $Q_{ESTR} = 0,5557\ Q_{UBE} + 0,4443\ Q_{CAST}$
VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JAN/1974 a DEZ/2005	Vazões naturais diárias da UHE Cachoeira propagadas até Estreito e somadas às vazões incrementais.	Vazões incrementais obtidas subtraindo-se as vazões defluentes da UHE Boa Esperança, devidamente propagadas, das vazões observadas no posto fluviométrico de Fazenda Veneza, moduladas pela própria média móvel centrada de sete dias. A parcela correspondente à UHE Estreito foi calculada proporcionalmente à sua área incremental.

QUADRO 8.3.1.6
VAZÕES NATURAIS NA UHE CASTELHANO (A CONSTRUIR)

VAZÕES MÉDIAS MENSAIS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JAN/1931 a DEZ/1973	Vazões médias mensais transferidas da UHE Boa Esperança com base em correlação estabelecida no período mais recente.	Equação de transferência: $Q_{UHECastelhano} = 0{,}6333 \cdot Q_{UHEBoaEsperança}^{1{,}1021}$ (r² = 0,963)
JAN/1974 a DEZ/2005	Vazões médias mensais obtidas a partir das vazões médias diárias.	
VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JAN/1974 a DEZ/2005	Vazões naturais diárias da UHE Estreito propagadas até Castelhano (posto Fazenda Veneza) e somadas às vazões incrementais.	Vazões incrementais obtidas subtraindo-se as vazões defluentes da UHE Boa Esperança, devidamente propagadas, das vazões observadas no posto fluviométrico de Fazenda Veneza, moduladas pela própria média móvel centrada de sete dias. Admitiu-se o eixo da UHE Castelhano coincidente com o posto Fazenda Veneza.

8.3.2. APROVEITAMENTOS DA BACIA DO RIO JEQUITINHONHA

Apenas três aproveitamentos foram estudados na bacia do rio Jequitinhonha, dois deles de implantação recente (Itapebí, dez/2002 e Irapé, dez/2005) e um ainda a ser implantado (Murta).

O aproveitamento de Irapé (área de drenagem de 15.880 km²) situa-se a montante dos demais e dispõe de um grande reservatório de regularização, mas ainda se encontrava na fase inicial de enchimento no mês de dezembro de 2005, que é o limite para a definição da série de vazões naturais do presente trabalho. O local do barramento é muito próximo do posto fluviométrico de Porto Mandacaru (área de drenagem de 16.097 km²), em operação desde novembro de 1945, de modo que a reconstituição da série de vazões naturais de Irapé foi fundamentada nos dados diários registrados nesse posto. Para o período anterior a nov/1945, somente foi possível estabelecer séries naturais mensais, através de modelos baseados em correlação.

Imediatamente a jusante de Irapé, o aproveitamento de Murta (área de drenagem de 23.493 km²) situa-se nas proximidades do posto fluviométrico de Coronel Murta (área de drenagem de 23.626 km²), operado de janeiro de 1938 até abril de 1976, que foi substituído pelo posto de Barra do Salinas (área de drenagem de 23.481 km²), em operação desde setembro de 1974. A reconstituição da série de vazões naturais da UHE Murta foi fundamentada nos registros diários desses dois postos. Para o período anterior a jan/1938, somente foi possível estabelecer séries naturais mensais, através de modelos baseados em correlação.

Finalmente, no baixo rio Jequitinhonha situa-se o aproveitamento de Itapebí (área de drenagem de 67.884 km²), cuja operação foi iniciada em dezembro de 2002 e para o qual se dispõe de registro completo desde esta data. O posto fluviométrico mais próximo do eixo da barragem é Itapebi (área de drenagem de 68.146 km²), que apresenta inúmeras inconsistências em seus registros diários. Por este motivo, a reconstituição das séries diárias de vazões naturais de Itapebi foi fundamentada nos registros dos postos fluviométricos situados a montante: Jacinto (63.023 km², operado desde outubro de 1941), Jequitinhonha (50.608 km², em operação desde julho de 1939) e Itaobim (45.618 km², em operação desde dezembro de 1931).

As extensões das três séries naturais para os períodos anteriores ao primeiro registro fluviométrico disponível, conforme listado acima, foram feitas através de modelagem, em nível mensal, a partir dos dados dos postos fluviométricos de Araçuaí, no rio Araçuaí (área de drenagem de 16.026 km²), com dados desde janeiro de 1931, e de Itaobim, já referenciado. Dois postos pluviométricos da bacia, Diamantina e Grão Mogol, possuem registros que alcançam a década de 1930 e foram utilizados como apoio.

Os quadros 8.3.2.1 a 8.3.2.3, apresentados a seguir, descrevem detalhadamente as metodologias utilizadas para reconstituição das séries de vazões naturais para diversos períodos nas UHE's Irapé e Itapebi e no local previsto para a implantação da UHE Murta.

QUADRO 8.3.2.1
VAZÕES NATURAIS NA UHE IRAPÉ (DEZEMBRO DE 2005)

VAZÕES MÉDIAS MENSAIS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JAN/1931 a OUT/1940	Vazões médias mensais transferidas do Posto Porto Mandacaru com base na relação entre áreas de drenagem. *EXCEÇÃO: FEV/1938; MAI/1938; JUN/1938.	Série mensal de Porto Mandacaru estendida por correlação com a série observada no posto fluviométrico de Araçuaí, no rio Araçuaí (16.026 km²). Equação de transferência: $Q_{PortoMandacaru} = 0{,}5433 \cdot Q_{Araçuaí}^{1{,}2016}$ (r² = 0,900)
NOV/1940 a OUT/1945, FEV/1938, MAI/1938, JUN/1938	Vazões médias mensais transferidas do Posto Porto Mandacaru com base na relação entre áreas de drenagem.	Série mensal de Porto Mandacaru estendida por correlação com a série observada no posto fluviométrico de Coronel Murta, no rio Jequitinhonha. Equação de transferência: $Q_{PortoMandacaru} = 0{,}8168 \cdot Q_{CoronelMurta} + 7{,}317$ (r² = 0,932)
NOV/1945 a DEZ/2005	Vazões médias mensais obtidas a partir das vazões médias diárias.	
VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
NOV/1945-DEZ/2005	Vazões médias diárias transferidas do posto Porto Mandacaru, com base na relação entre as áreas de drenagem.	Equação de transferência: $Q_{UHE\ Irapé} = 0{,}9865\ Q_{Porto\ Mandacaru}$
A partir de dezembro de 2005	Vazões médias diárias obtidas por balanço hídrico no reservatório.	A série de vazões afluentes é modulada pelas vazões dos postos fluviométricos de Grão Mogol (4.090 km²) e Vila Terra Branca (7.718 km²), devidamente propagadas até a usina.

QUADRO 8.3.2.2
VAZÕES NATURAIS NA UHE MURTA (A CONSTRUIR)

VAZÕES MÉDIAS MENSAIS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JAN/1931 a DEZ/1937	Vazões médias mensais transferidas do Posto Coronel Murta com base na relação entre áreas de drenagem. *EXCEÇÃO: JUL/1932 a OUT/1932	Série mensal de Coronel Murta estendida por correlação com a série observada no posto fluviométrico de Araçuaí, no rio Araçuaí (16.026 km²). Equação de transferência: $Q_{CoronelMurta} = 0{,}4058 \cdot Q_{Araçuaí}^{1{,}2980}$ (r² = 0,917)
JUL/1932 a OUT/1932	Vazões médias mensais transferidas do Posto Coronel Murta com base na relação entre áreas de drenagem.	Série mensal de Coronel Murta estendida por correlação com a série observada no posto fluviométrico de Araçuaí, no rio Araçuaí (16.026 km²). Equação de transferência: $Q_{CoronelMurta} = 2{,}0736 \cdot Q_{Araçuaí}$ (r² = 0,908)
JAN/1938-DEZ/2005	Vazões médias mensais obtidas a partir das vazões médias diárias.	
VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JAN/1938 a OUT/1945	Vazões médias diárias transferidas do posto Coronel Murta (23.626 km²), com base na relação de as áreas de drenagem.	Equação de transferência: $Q_{UHE\ Murta} = 0{,}9944\ Q_{Coronel\ Murta\ (posto)}$
NOV/1945 a DEZ/1975	Vazões naturais diárias da UHE Irapé propagadas até a UHE Murta e somadas às vazões incrementais.	Vazões incrementais obtidas subtraindo-se as vazões do posto Porto Mandacaru, devidamente propagadas, das vazões observadas no posto Coronel Murta, corrigidas pela área de drenagem conforme equação acima.
JAN/1976 a NOV/2005	Vazões naturais diárias da UHE Irapé propagadas até a UHE Murta e somadas às vazões incrementais.	Vazões incrementais obtidas subtraindo-se as vazões do posto Porto Mandacaru, devidamente propagadas, das vazões observadas no posto fluviométrico Barra do Salinas.

QUADRO 8.3.2.2 (continuação)
VAZÕES NATURAIS NA UHE MURTA (A CONSTRUIR)

VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
A partir de dezembro de 2005	Vazões naturais diárias da UHE Irapé propagadas até a UHE Murta e somadas às vazões incrementais.	Vazões incrementais obtidas subtraindo-se as vazões defluentes da UHE Irapé, devidamente propagadas, das vazões observadas no posto Barra do Salinas, moduladas pela série observada no rio Itacambiruçu em Grão Mogol (4.074 km²).

QUADRO 8.3.2.3
VAZÕES NATURAIS NA UHE ITAPEBÍ (DEZEMBRO DE 2002)

VAZÕES MÉDIAS MENSAIS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JAN/1931-SET/1941	Vazões médias mensais transferidas do posto Jacinto com base na relação entre áreas de drenagem.	Série mensal de Jacinto estendida por correlação com a série observada no posto fluviométrico de Araçuaí, no rio Araçuaí (16.026 km²). Equação de transferência: $Q_{Jacinto} = 1{,}7244 \cdot Q_{Araçuaí}^{1{,}1418}$ (r² = 0,896)
OUT/1941 a DEZ/2005	Vazões médias mensais obtidas a partir das vazões médias diárias.	
VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JAN/1938 a SET/1941	Vazões naturais diárias da UHE Murta propagadas até a UHE Itapebí e somadas às vazões incrementais.	Vazões incrementais diárias obtidas pela desagregação das vazões incrementais mensais. As vazões incrementais mensais foram moduladas pela série de vazões observadas no posto de Araçuaí, devidamente propagadas até o local da usina.
OUT/1941 a DEZ/1975	Vazões naturais diárias da UHE Murta propagadas até a UHE Itapebí e somadas às vazões incrementais.	Vazões incrementais obtidas subtraindo-se as vazões do posto Coronel Murta, devidamente propagadas, das vazões observadas no posto fluviométrico Jacinto, corrigidas pela área de drenagem. $A_{Jacinto} - A_{Coronel\ Murta}$ = 63.023 – 23.626 = 39.397 km² $A_{Incremental}$ = 67.884 – 23.493 = 44.390 km² Relação de transferência = 1,127 Vazões incrementais mensais foram moduladas pelas vazões observadas no posto de Araçuaí, propagadas até o local da usina.

QUADRO 8.3.2.3 (continuação)
VAZÕES NATURAIS NA UHE ITAPEBÍ (DEZEMBRO DE 2002)

VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JAN/1976 a DEZ/2001	Vazões naturais diárias da UHE Murta propagadas até a UHE Itapebí e somadas às vazões incrementais.	Vazões incrementais obtidas subtraindo-se as vazões do posto Barra do Salinas, devidamente propagadas, das vazões observadas no posto fluviométrico Jacinto, corrigidas pela área de drenagem. $A_{Jacinto} – A_{Barra\ do\ Salinas}$ = 63.023 – 23.481 = 39.542 km² Área Incremental = 67.884 – 23.493 = 44.390 km² Relação de transferência = 1,123 As vazões incrementais mensais foram moduladas pela série de vazões observadas no posto de Araçuaí, devidamente propagadas até o local da usina.
DEZ/2002 a DEZ/2005	Vazões naturais diárias da UHE Murta propagadas até a UHE Itapebí e somadas às vazões incrementais.	Vazões incrementais obtidas subtraindo-se as vazões do posto Barra do Salinas, devidamente propagadas, das vazões afluentes à UHE Itapebi. As vazões incrementais mensais são moduladas pela série de vazões observadas no posto de Araçuaí, devidamente propagadas até o local da usina.

8.3.3. APROVEITAMENTOS DA BACIA DO RIO DOCE

Na bacia do rio Doce foram estudadas as séries de vazões naturais de dez aproveitamentos, sete dos quais já em operação, nenhum deles dispondo de reservatório de regularização importante.

Os aproveitamentos de cabeceira aparecem aos pares: Baú e Candonga, no alto rio Doce, Guilman-Amorim e Sá Carvalho, no rio Piracicaba e Salto Grande e Porto Estrela, no rio Santo Antônio. Devido à proximidade, em cada local desses foi escolhido um aproveitamento para servir de base à definição da série de vazões naturais, transferida para o outro aproveitamento por proporcionalidade de área de drenagem apenas. Foram escolhidos como base os aproveitamentos de Candonga, por já se encontrar em operação, Guilman-Amorim, por apresentar dados de melhor qualidade que Sá Carvalho, e Salto Grande, por dispor de um histórico mais extenso que Porto Estrela.

Postos fluviométricos localizados a montante e a jusante dos aproveitamentos-base permitiram a reconstituição de suas séries naturais de vazões diárias e mensais desde 1938.

O futuro aproveitamento de Traíra, no rio Suaçuí Grande, que completa o conjunto de aproveitamentos de cabeceira da bacia do rio Doce, também possui postos fluviométricos de referência com dados observados desde 1938.

Os dados operativos da usina de Salto Grande (disponíveis desde 1979) foram utilizados para geração das séries naturais de Salto Grande e Porto Estrela apenas a partir do ano 2000. Para o período anterior a 2000, a soma (147,7 m³/s) das médias de Fazenda Ouro Fino (120,9 m³/s) e Fazenda Meloso (26,8 m³/s) foi maior do que a média de Salto Grande (128,4 m³/s), diferença causada pela falta de registro de vertimentos na barragem do rio Santo Antônio.

Para o período posterior, quando não há nenhuma falha nos dados de vertimento, essa inconsistência não existe.

No trecho médio do rio Doce, nas proximidades de Governador Valadares, encontra-se o aproveitamento de Baguari, atualmente em construção. O posto fluviométrico de referência, Governador Valadares, foi instalado em julho de 1969. A extensão da série mensal de Governador Valadares, até fevereiro de 1938, foi feita com base em uma regressão múltipla envolvendo os postos fluviométricos de Cachoeira Escura, a montante, e Resplendor, a jusante. As vazões encontradas por este procedimento são superiores às que seriam obtidas por simples interpolação a partir das áreas de drenagem, mas consistentes com as observações feitas no período posterior a 1969.

Para todos os locais, a extensão das séries de vazões naturais até janeiro de 1931 foi feita com base em modelos de regressão múltipla a partir dos dados fluviométricos mensais dos postos Rio Casca e Rio Piracicaba e dos postos pluviométricos de Ouro Preto, Ponte Nova, Caratinga, Conceição do Mato Dentro e Itabira. Para cada local foi estudado o conjunto de postos mais adequado para a regressão.

A maior dificuldade para reconstituição das séries de vazões médias diárias e mensais na bacia do rio Doce foi encontrada nas duas usinas de jusante, Aimorés e Mascarenhas. Existem inúmeras inconsistências, em nível diário e mensal, entre as vazões observadas em Governador Valadares e Resplendor. Algumas inconsistências persistem até o posto de Colatina, tornando a reconstituição penosa. Mesmo durante o período mais recente, para o qual se dispõe de registros operativos diários em Mascarenhas, essas inconsistências são observadas com elevada freqüência.

Para superar esta dificuldade, foi montada uma estratégia considerando como mais confiáveis os dados observados em Governador Valadares e em Colatina. Desse modo foi fixado um

contorno para as duas séries de vazões naturais restantes (Aimorés e Mascarenhas), que passaram a ser definidas com base na análise da série incremental identificada entre Valadares e Colatina.

Nessa análise, foi dada prioridade para os períodos nos quais não se verificavam inconsistências mensais nos incrementos de vazão desde Governador Valadares, Vila Matias e São Sebastião da Encruzilhada até Colatina. Estas vazões incrementais foram tomadas como base para a determinação das incrementais entre Aimorés + São Sebastião da Encruzilhada e Mascarenhas e entre Mascarenhas e Colatina, tendo sido a distribuição feita proporcionalmente às respectivas áreas de drenagem.

Com os resultados obtidos nesse período, foram estabelecidas relações médias entre essas vazões incrementais e as vazões incrementais totais desde Valadares até Colatina, considerando ou não as vazões de Vila Matias e de São Sebastião da Encruzilhada. Desse modo, para os períodos nos quais havia inconsistências mensais foram desconsiderados os dados observados no rio Manhuaçu (São Sebastião da Encruzilhada), para aumentar a área incremental e eliminar as inconsistências. As relações médias definidas com base no período mais consistente foram aplicadas para distribuir esta vazão incremental entre as diversas sub-áreas incrementais.

Na prática, este procedimento sacrifica as vazões observadas em São Sebastião da Encruzilhada, reduzindo as vazões incrementais entre Aimorés e Mascarenhas, como uma forma de lidar com as inconsistências acumuladas desde Governador Valadares. Trata-se de uma saída prática para o problema encontrado, cuja solução vai exigir maiores aprofundamentos em trabalhos futuros, buscando solucionar as inconsistências existentes.

Deve ser enfatizado que a solução procurada não deve ser simples, porque, embora as curvas-chave de Governador Valadares e de Resplendor sejam bem definidas, sua aplicação resulta em vazões incrementais negativas em uma parcela significativa do registro histórico.

O mesmo tipo de inconsistência ocorre entre Governador Valadares e a UHE Mascarenhas, no período disponível de registro diário nessa usina, nos últimos seis anos. Pode-se questionar os registros operativos da usina, cujas vazões são calculadas em função de coeficientes de produtibilidade ou de coeficientes teóricos de descarga do vertedouro, características que não podem ser mensuradas diretamente, mas ainda resta o comportamento das vazões medidas nos postos fluviométricos mencionados.

Assim, recomenda-se enfaticamente a realização de campanhas hidrométricas de aferição de vazões no trecho médio-inferior do rio Doce, acompanhadas de estudos mais aprofundados das características fisiográficas e morfológicas locais e da evolução do uso consuntivo da água nessa área, como forma de dirimir as dúvidas levantadas no decorrer do presente trabalho. Não se trata de dúvidas novas, na verdade, pois já foram apontadas em diversos outros trabalhos, mas estão sendo aqui expostas sob uma ótica diferente, específica do Setor Elétrico Brasileiro.

Os quadros 8.3.3.1 a 8.3.3.10, apresentados a seguir, descrevem detalhadamente as metodologias utilizadas para reconstituição das séries de vazões naturais para diversos períodos nas 7 UHE's em operação e nos locais dos 3 aproveitamentos hidrelétricos previstos na bacia do rio Doce.

QUADRO 8.3.3.1
VAZÕES NATURAIS NA UHE BAÚ (A CONSTRUIR)

VAZÕES MÉDIAS MENSAIS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JAN/1931-DEZ/2005	Vazões médias mensais obtidas a partir da série mensal da UHE Candonga, por proporcionalidade de área de drenagem. Equação de transferência: $Q_{UHE\ Baú} = 0{,}9931\ Q_{UHE\ Candonga}$	
VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
OUT/1940-DEZ/2005	Vazões médias diárias obtidas a partir da série mensal da UHE Candonga, por proporcionalidade de área de drenagem. Equação de transferência: $Q_{UHE\ Baú} = 0{,}9931\ Q_{UHE\ Candonga}$	

QUADRO 8.3.3.2
VAZÕES NATURAIS NA UHE CANDONGA (OUTUBRO DE 2004)

VAZÕES MÉDIAS MENSAIS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JAN/1931 a SET/1940; DEZ/1988	Série obtida por correlação com os dados observados no posto fluviométrico de Rio Casca e no posto pluviométrico de Ouro Preto. Equação Ajustada: $Q^t_{Candonga} = K_0 + K_1 \cdot Q^t_{RioCasca} + K_2 \cdot P^t_{Ouro\,Preto}$	Coeficientes do Modelo: K_0 = 42,183 K_1 = 3,574 K_2 = 0,1074 EMQP=23,4%
OUT/1940-DEZ/2005	Vazões médias mensais obtidas a partir das vazões médias diárias. EXCEÇÃO: DEZ/1988.	

VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
OUT/1940-OUT/1965	Vazões diárias observadas nos postos fluviométricos de Ponte Nova e Acaiaca propagadas até Candonga e somadas às vazões incrementais.	Vazões incrementais obtidas subtraindo-se as vazões observadas em Ponte Nova e Acaiaca, devidamente propagadas, das vazões observadas no posto de Cachoeira Escura. A parcela correspondente à UHE Candonga foi calculada proporcionalmente à área incremental e modulada com base nos dados do posto Rio Casca.
NOV/1965-JAN/1978	Vazões diárias observadas nos postos fluviométricos de Ponte Nova e Acaiaca propagadas até Candonga e somadas às vazões incrementais.	Vazões incrementais obtidas subtraindo-se as vazões observadas em Ponte Nova e Acaiaca, devidamente propagadas, das vazões observadas no posto de Ponte do Peres. A parcela correspondente à UHE Candonga foi calculada proporcionalmente à área incremental e modulada com base nos dados do posto Rio Casca.

QUADRO 8.3.3.2 (continuação)
VAZÕES NATURAIS NA UHE CANDONGA (OUTUBRO DE 2004)

VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
FEV/1978-NOV/1981	Vazões diárias observadas nos postos fluviométricos de Ponte Nova e Acaiaca propagadas até Candonga e somadas às vazões incrementais.	Vazões incrementais obtidas subtraindo-se as vazões observadas em Ponte Nova e Acaiaca, devidamente propagadas, das vazões observadas no posto de Cachoeira dos Óculos. A parcela correspondente à UHE Candonga foi calculada proporcionalmente à área incremental e modulada com base nos dados do posto Rio Casca.
DEZ/1981-SET/2004	Vazões diárias observadas nos postos fluviométricos de Ponte Nova e Acaiaca propagadas até Candonga e somadas às vazões incrementais. EXCEÇÃO: DEZ/1988.	Vazões incrementais obtidas subtraindo-se as vazões observadas em Ponte Nova e Acaiaca, devidamente propagadas, das vazões observadas no posto de Fazenda Cachoeira D'Antas. A parcela correspondente à UHE Candonga foi calculada proporcionalmente à área incremental e modulada com base nos dados do posto Rio Casca.
DEZ/1988	Vazões médias mensais desagregadas. (neste mês, apenas a bacia do rio Santo Antônio possui dados diários).	Vazões mensais moduladas com base na série de vazões naturais diárias da UHE Candonga, gerada a partir de correlação com a série natural de Porto Estrela. Equação de transferência: $Q_{UHE\ Candonga} = 5{,}8576\ Q_{Porto\ Estrela}^{\ 0{,}6485}$ ($r^2 = 0{,}7644$)
OUT/2004-DEZ/2005	Vazões diárias observadas nos postos fluviométricos de Ponte Nova e Acaiaca propagadas até Candonga e somadas às vazões incrementais.	Vazões incrementais obtidas subtraindo-se as vazões observadas em Ponte Nova e Acaiaca, devidamente propagadas, das vazões afluentes à UHE Candonga. O hidrograma incremental foi modulado com base nos dados do posto Rio Casca.

QUADRO 8.3.3.3
VAZÕES NATURAIS NA UHE GUILMAN AMORIM (JANEIRO DE 1998)

VAZÕES MÉDIAS MENSAIS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JAN/1931-DEZ/1931	Vazões médias mensais obtidas a partir das vazões médias diárias.	
JAN/1932-DEZ/1934	Série obtida por correlação com os dados observados nos postos fluviométricos de Rio Piracicaba e Rio Casca e no posto pluviométrico de Conceição do Mato Dentro. Equação Ajustada: $Q^t_{Guilman} = K_0 + K_1 \cdot Q^t_{RioPiracicaba} + K_2 \cdot Q^t_{RioCasca} + K_3 \cdot P^t_{Conceição}$	Coeficientes do Modelo: K_0 = 4,8305 K_1 = 2,0485 K_2 = 0,6055 K_3 = 0,0193 EMQP=28%
JAN/1935-MAR/1989	Vazões médias mensais obtidas a partir das vazões médias diárias.	
EXCEÇÃO JAN/1973 a SET/1974 SET/1982 a JAN/1983 MAR/1985 a SET/1986 e DEZ/1988	Série obtida por correlação com os dados observados nos postos fluviométricos de Rio Piracicaba e Rio Casca e no posto pluviométrico de Conceição do Mato Dentro. Equação Ajustada: $Q^t_{Guilman} = K_0 + K_1 \cdot Q^t_{RioPiracicaba} + K_2 \cdot Q^t_{RioCasca} + K_3 \cdot P^t_{Conceição}$	Coeficientes do Modelo: K_0 = 4,8305 K_1 = 2,0485 K_2 = 0,6055 K_3 = 0,0193 EMQP=28%
ABR/1989-DEZ/2005	Vazões médias mensais obtidas a partir das vazões médias diárias.	

QUADRO 8.3.3.3 (continuação)
VAZÕES NATURAIS NA UHE GUILMAN AMORIM (JANEIRO DE 1998)

VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JAN/1931-DEZ/1931	Vazões médias diárias transferidas do posto Antonio Dias, com base na relação entre as áreas de drenagem.	Equação de transferência: $Q_{UHE\ Guilman\ Amorim} = 0{,}9598\ Q_{Antonio\ Dias}$
JAN/1935-ABR/1951	Vazões médias diárias transferidas do posto Antonio Dias, com base na relação entre as áreas de drenagem.	Equação de transferência: $Q_{UHE\ Guilman\ Amorim} = 0{,}9598\ Q_{Antonio\ Dias}$
MAI/1951-DEZ/1972	Vazões diárias observadas no posto fluviométrico de Nova Era propagadas até Guilman Amorim e somadas às vazões incrementais.	Vazões incrementais mensais até Mário de Carvalho obtidas subtraindo-se as vazões observadas em Nova Era, devidamente propagadas, das vazões mensais no posto de Mário de Carvalho, preenchidas através de correlação com Nova Era. $Q_{Mario\ de\ Carvalho} = 2{,}1475\ Q_{Nova\ Era}^{0{,}9127}$ Parcela correspondente à Guilman Amorim calculada pela área incremental e modulada com base nos dados do posto Nova Era.
JAN/1973 a SET/1974	FALHAS DE DADOS MENSAIS EXISTENTES NESSE PERÍODO PREENCHIDAS POR REGRESSÃO MÚLTIPLA	Para estes meses, onde a vazão média mensal foi calculada pelo modelo de regressão múltipla, as vazões médias diárias foram obtidas por desagregação das médias mensais, usando-se as médias móveis assimétricas de três dias no posto de Rio Piracicaba para fazer a modulação.
OUT/1974-JAN/1980	Vazões diárias observadas no posto fluviométrico de Nova Era propagadas até Guilman Amorim e somadas às vazões incrementais.	Vazões Incrementais diárias obtidas subtraindo-se as vazões observadas em Nova Era, devidamente propagadas até Mario de Carvalho, das vazões observadas nesse local. Parcela correspondente à Guilman Amorim calculada pela área incremental e modulada com base nos dados do posto Nova Era.

QUADRO 8.3.3.3 (continuação)
VAZÕES NATURAIS NA UHE GUILMAN AMORIM (JANEIRO DE 1998)

VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
SET/1982 a JAN/1983, MAR/1985 a DEZ/1985, FEV/1986 a AGO/1986	FALHAS DE DADOS MENSAIS EXISTENTES NESSES PERÍODOS PREENCHIDAS POR REGRESSÃO MÚLTIPLA EXCEÇÃO: JAN/1986 e SET/1986 (nestes meses não há série diária).	Para estes meses, onde a vazão média mensal foi calculada pelo modelo de regressão múltipla, as vazões médias diárias foram obtidas por desagregação das médias mensais, usando-se as médias móveis assimétricas de três dias no posto de Rio Piracicaba para fazer a modulação.
DEZ/1988	Vazões médias mensais desagregadas. (neste mês, apenas a bacia do rio Santo Antônio possui dados diários).	Vazões mensais moduladas com base na série de vazões naturais diárias da UHE Guilman Amorim, gerada a partir de correlação com a série natural de Porto Estrela. Equação de transferência: $Q_{UHE\ Guilman\ Amorim} = 1{,}4473\ Q_{Porto\ Estrela}^{\ 0{,}7827}$ ($r^2 = 0{,}808$)
FEV/1980-MAR/1989	Vazões médias diárias transferidas do posto Mário de Carvalho, com base na relação entre as áreas de drenagem.	Equação de transferência: $Q_{UHE\ Guilman\ Amorim} = 0{,}77\ Q_{Mario\ de\ Carvalho}$
ABR/1989-DEZ/1997	Vazões diárias observadas no posto fluviométrico de Nova Era propagadas até Guilman Amorim e somadas às vazões incrementais.	Vazões Incrementais diárias obtidas subtraindo-se as vazões observadas em Nova Era, devidamente propagadas até Mario de Carvalho, das vazões observadas nesse local. A parcela correspondente à UHE Guilman Amorim foi calculada proporcionalmente à área incremental e modulada com base nos dados do posto Nova Era.
JAN/1998-DEZ/2005	Vazões diárias observadas no posto fluviométrico de Nova Era propagadas até Guilman Amorim e somadas às vazões incrementais.	Vazões Incrementais diárias obtidas subtraindo-se as vazões observadas em Nova Era, devidamente propagadas, das vazões afluentes à UHE Guilman Amorim, obtidas por balanço hídrico. O hidrograma incremental foi modulado com base nos dados do posto Nova Era.

QUADRO 8.3.3.4
VAZÕES NATURAIS NA UHE SÁ CARVALHO (JANEIRO DE 1999)

VAZÕES MÉDIAS MENSAIS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JAN/1931-DEZ/2005	Vazões médias mensais obtidas a partir da série mensal da UHE Guilman Amorim, por proporcionalidade de área de drenagem. Equação de transferência: $Q_{UHE\ Sá\ Carvalho} = 1{,}093\ Q_{UHE\ Guilman\ Amorim}$	
VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JAN/1931-DEZ/2005	Vazões médias diárias obtidas a partir da série diária da UHE Guilman Amorim, por proporcionalidade de área de drenagem. Equação de transferência: $Q_{UHE\ Sá\ Carvalho} = 1{,}093\ Q_{UHE\ Guilman\ Amorim}$	

QUADRO 8.3.3.5
VAZÕES NATURAIS NA UHE SALTO GRANDE (JANEIRO DE 1976)

VAZÕES MÉDIAS MENSAIS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JAN/1931-JAN/1938	Série obtida por correlação com os dados observados nos postos fluviométricos de Rio Piracicaba e Rio Casca e no posto pluviométrico de Ouro Preto. Equação Ajustada: $Q^t_{SaltoGrande} = K_0 + K_1 \cdot Q^t_{RioPiracicaba} + K_2 \cdot Q^t_{RioCasca} + K_3 \cdot P^t_{Ouro\,Preto}$	Coeficientes do Modelo: K_0 = 0,8516 K_1 = 1,7493 K_2 = 3,1484 K_3 = 0,1472 EMQP=24,9%
FEV/1938-NOV/1956	Série obtida por correlação com os dados observados no posto fluviométrico de Cachoeira Escura.	$Q_{UHE\ Salto\ Grande}$ = 0,4356 $Q_{Cachoeira\ Escura}$ – 10,955 (r^2 = 0,895)
DEZ/1956-AGO/1965	Série obtida por correlação com os dados observados no posto fluviométrico de Ferros.	$Q_{UHE\ Salto\ Grande}$ = 1,4539 Q_{Ferros} + 29,135 (r^2 = 0,896)
SET/1965-DEZ/2005	Vazões médias mensais obtidas a partir das vazões médias diárias.	
VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
SET/1965-OUT/1974	Vazões naturais diárias nos postos Ferros e Fazenda Meloso propagadas até Salto Grande e multiplicadas por 1,2076.	Coeficiente de transferência (1,2076) obtido por correlação a partir das séries geradas para o período posterior a novembro de 1974.
NOV/1974-MAI/1976	Vazões naturais diárias nos postos Ferros e Fazenda Meloso propagadas até Salto Grande e somadas às vazões incrementais.	Vazões Incrementais diárias obtidas subtraindo-se as vazões observadas em Ferros e Fazenda Meloso, devidamente propagadas até Naque Velho, passando pela UHE Salto Grande. A parcela correspondente à UHE Salto Grande foi calculada proporcionalmente à área incremental e modulada com base na soma dos hidrogramas dos postos Ferros e Fazenda Meloso, devidamente propagados até o local da usina.

QUADRO 8.3.3.5 (continuação)
VAZÕES NATURAIS NA UHE SALTO GRANDE (JANEIRO DE 1976)

VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JUN/1976-MAI/2000	Vazões naturais diárias nos postos Fazenda Ouro Fino e Fazenda Meloso propagadas até Salto Grande e somadas às vazões incrementais.	Vazões Incrementais diárias obtidas subtraindo-se as vazões observadas em Fazenda Ouro Fino e Fazenda Meloso, devidamente propagadas até Naque Velho, passando pela UHE Salto Grande. A parcela correspondente à UHE Salto Grande foi calculada proporcionalmente à área incremental e modulada com base na soma dos hidrogramas dos postos Fazenda Ouro Fino e Fazenda Meloso, devidamente propagados até o local da usina
JUN/2000-DEZ/2005	Vazões naturais diárias nos postos Fazenda Ouro Fino e Fazenda Meloso propagadas até Salto Grande e somadas às vazões incrementais.	Vazões Incrementais diárias obtidas subtraindo-se as vazões observadas em Fazenda Ouro Fino e Fazenda Meloso, devidamente propagadas até à UHE Salto Grande, das vazões afluentes à usina, calculadas por balanço hídrico. O hidrograma obtido foi modulado com base na soma dos hidrogramas dos postos Fazenda Ouro Fino e Fazenda Meloso, devidamente propagados até o local da usina.
MAR/2001-ABR/2001	EXCEÇÃO: Falha em Salto Grande. Vazões naturais diárias nos postos Fazenda Ouro Fino e Fazenda Meloso propagadas até Salto Grande e somadas às vazões incrementais.	Vazões Incrementais diárias obtidas subtraindo-se as vazões observadas em Fazenda Ouro Fino e Fazenda Meloso, devidamente propagadas até Naque Velho, passando pela UHE Salto Grande. A parcela correspondente à UHE Salto Grande foi calculada proporcionalmente à área incremental e modulada com base na soma dos hidrogramas dos postos Fazenda Ouro Fino e Fazenda Meloso, devidamente propagados até o local da usina

QUADRO 8.3.3.6
VAZÕES NATURAIS NA UHE PORTO ESTRELA (SETEMBRO DE 2001)

VAZÕES MÉDIAS MENSAIS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JAN/1931-DEZ/2005	Vazões médias mensais obtidas a partir da série mensal da UHE Salto Grande, por proporcionalidade de área de drenagem. Equação de transferência: $Q_{UHE\ Porto\ Estrela} = 1{,}0429\ Q_{UHE\ Salto\ Grande}$	
VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
SET/1965 a DEZ/2005	Vazões médias diárias obtidas a partir da série diária da UHE Salto Grande, por proporcionalidade de área de drenagem. Equação de transferência: $Q_{UHE\ Porto\ Estrela} = 1{,}0429\ Q_{UHE\ Salto\ Grande}$	

QUADRO 8.3.3.7
VAZÕES NATURAIS NA UHE BAGUARI (A CONSTRUIR)

VAZÕES MÉDIAS MENSAIS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JAN/1931 a SET/1938	Série obtida por correlação com os dados observados nos postos fluviométricos de Rio Piracicaba e Rio Casca. Equação Ajustada: $Q^t_{Baguari} = K_0 + K_1 \cdot Q^t_{RioPiracicaba} + K_2 \cdot Q^t_{RioCasca}$	Coeficientes do Modelo: K_0 = 48,2315 K_1 = 4,9023 K_2 = 14,1842 EMQP=17,3%
OUT/1938 a SET/1951 e MAR/1966	Série obtida por correlação com os dados observados nos postos fluviométricos de Cachoeira Escura e Colatina. Equação Ajustada: $Q^t_{Baguari} = K_0 + K_1 \cdot Q^t_{CachEscura} + K_2 \cdot Q^t_{Colatina}$	Coeficientes do Modelo: K_0 = 41,9357 K_1 = 0,8837 K_2 = 0,2009 EMQP=9,6%
OUT/1951 a JUN/1969	Série obtida por correlação com os dados observados no posto fluviométrico de Colatina. *EXCEÇÃO: MAR/1966	Equação de transferência: $Q_{UHE\ Baguari} = 1{,}5454\ Q_{Colatina}^{\ 0{,}8575}$ (r^2 = 0,9603)
DEZ/1988	Valor transferido das usinas de montante através de correlação estabelecida com os dados observados entre jan/1987 e dez/1989.	Equação de transferência: $Q_{UHE\ Baguari} = 1{,}2123\ Q_{(Candonga + SáCarvalho + PEstrela)}^{\ 1{,}0173}$ (r^2 = 0,9896)
JUL/1969-DEZ/2005	Vazões médias mensais obtidas a partir das vazões médias diárias.	

QUADRO 8.3.3.7 (continuação)
VAZÕES NATURAIS NA UHE BAGUARI (A CONSTRUIR)

VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JUL/1969-DEZ/2005	Vazões naturais diárias nas usinas de Candonga, Sá Carvalho e Porto Estrela propagadas até Baguari e somadas às vazões incrementais.	Vazões incrementais obtidas subtraindo-se as vazões observadas em Candonga, Sá Carvalho e Porto Estrela, devidamente propagadas, das vazões observadas no posto de Governador Valadares. OBS: As vazões observadas em Candonga foram obtidas no processo de reconstituição de vazões daquela usina, com base em diversos postos fluviométricos, dependendo do período (ver Quadro 8.3.3.1). A parcela correspondente à UHE Baguari foi calculada proporcionalmente à área incremental e modulada com base nos dados diários dos postos Rio Casca, Raul Soares e Porto Santa Rita, devidamente propagados até o local da usina.
JAN/1973 a SET/1974, SET/1982 a JAN/1983, MAR/1985 a SET/1986	EXCEÇÕES: Vazões naturais diárias obtidas através da relação de áreas de drenagem com os dados observados no posto fluviométrico de Governador Valadares. $Q_{UHE\ Baguari} = 0{,}945\ Q_{Governador\ Valadares}$	
DEZ/1988	Vazões médias mensais desagregadas. (neste mês, apenas a bacia do rio Santo Antônio possui dados diários).	Vazões mensais moduladas com base na série de vazões diárias da UHE Baguari, gerada a partir da soma da propagação das séries naturais de Candonga, Sá Carvalho e Porto Estrela.

QUADRO 8.3.3.8
VAZÕES NATURAIS NA UHE TRAIRA II (A CONSTRUIR)

VAZÕES MÉDIAS MENSAIS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JAN/1931-JUL/1938 e DEZ/1988	Série obtida por correlação com os dados observados nos postos fluviométricos de Rio Piracicaba e Rio Casca. Equação Ajustada: $Q^t_{TraíraII} = K_0 + K_1 \cdot Q^t_{RioPiracicaba} + K_2 \cdot Q^t_{RioCasca}$	Coeficientes do Modelo: K_0 = 8,0342 K_1 = 0,6332 K_2 = 0,5130 EMQP=34,2%
AGO/1938-SET/1965	Vazões médias mensais transferidas do posto fluviométrico Vila Matias por meio de correlação estabelecida no período de 1968 a 1991.	Equação de Transferência: $Q^t_{Traira} = 0{,}817 Q^{0{,}8687}_{VilaMatias}$ R^2=0,912
OUT/1965 a DEZ/2005	Vazões médias mensais obtidas a partir das vazões médias diárias.	
VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
AGO/1938-SET/1965	Vazões médias mensais desagregadas.	Vazões mensais moduladas com base na série de vazões diárias observadas no posto fluviométrico de Vila Matias
OUT/1965 a MAI/1968	Vazões diárias observadas em São Pedro do Suaçuí, propagadas a UHE Traíra II e somadas à vazão incremental.	Vazões incrementais obtidas subtraindo-se as vazões observadas em São Pedro do Suaçuí, devidamente propagadas até Vila Matias, das vazões observadas no posto de Vila Matias. A vazão incremental até a UHE Traíra foi estimada em 0,163 vezes a incremental total, sendo modulada com base na própria série de São Pedro do Suaçuí, devidamente propagada. O coeficiente 0,163 foi obtido no período 1968 a 1991, para o qual se possuíam os dados diários em São Pedro do Suaçuí, Fazenda Urupuca e Vila Matias (vide próximo período).

QUADRO 8.3.3.8 (continuação)
VAZÕES NATURAIS NA UHE TRAIRA II (A CONSTRUIR)

VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JUN/1968 a ABR/1991	Vazões diárias observadas em São Pedro do Suaçuí, propagadas a UHE Traíra II e somadas à vazão incremental.	Vazões incrementais obtidas subtraindo-se as vazões observadas em São Pedro do Suaçuí e em Fazenda Urupuca, devidamente propagadas até Vila Matias, das vazões observadas no posto de Vila Matias. A vazão incremental até a UHE Traíra foi estimada a partir da incremental total até Vila Matias por proporcionalidade de área de drenagem, sendo modulada com base na própria série de São Pedro do Suaçuí, devidamente propagada.
DEZ/1988	Vazões médias mensais desagregadas. (neste mês, apenas a bacia do rio Santo Antônio possui dados diários).	Vazões mensais moduladas com base na série de vazões naturais diárias da UHE Traíra II, gerada a partir de correlação com a série natural de Porto Estrela. Equação de transferência: $Q_{UHE\ Candonga} = 0{,}6872\ Q_{Porto\ Estrela}^{\ 0{,}7973}$ $(r^2 = 0{,}7826)$
MAI/1991 a DEZ/2005	Vazões diárias observadas em São Pedro do Suaçuí, propagadas a UHE Traíra II e somadas à vazão incremental.	Vazões incrementais obtidas subtraindo-se as vazões observadas em São Pedro do Suaçuí, devidamente propagadas até Vila Matias, passando pela UHE Traíra, das vazões observadas no posto de Vila Matias. A vazão incremental até a UHE Traíra foi estimada em 0,163 vezes a incremental total, sendo modulada com base na própria série de São Pedro do Suaçuí, devidamente propagada. O coeficiente 0,163 foi obtido no período 1968 a 1991, para o qual se possuíam os dados necessários.

QUADRO 8.3.3.9
VAZÕES NATURAIS NA UHE AIMORÉS (MAIO DE 2005)

VAZÕES MÉDIAS MENSAIS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JAN/1931 a NOV/1939; DEZ/1988	Série obtida por correlação com os dados observados nos postos fluviométricos de Rio Piracicaba e Rio Casca e o posto pluviométrico de Caratinga. Equação Ajustada: $Q^t_{Aimorés} = K_0 + K_1 \cdot Q^t_{RioPiracicaba} + K_2 \cdot Q^t_{RioCasca} + K_3 \cdot P^t_{Caratinga}$	Coeficientes do Modelo: K_0 = 13,6350 K_1 = 6,2253 K_2 = 22,6999 K_3 = 0,3195 EMQP=23%
DEZ/1939 a JUN/1969	Série obtida por correlação linear com a série mensal do posto fluviométrico Colatina.	Equação de Transferência: $Q^t_{Aimorés} = 0{,}8264 \cdot Q^t_{Colatina} + 8{,}7343$; R^2 = 0,9987
JUL/1969-DEZ/2005	Vazões médias mensais obtidas a partir das vazões médias diárias.	
VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
FEV/1938 a JUN/1969	Vazões médias mensais, obtidas por modelos de regressão, desagregadas.	Vazões mensais moduladas com base na série de vazões diárias observadas no posto fluviométrico de Resplendor, devidamente propagada.

QUADRO 8.3.3.9 (continuação)
VAZÕES NATURAIS NA UHE AIMORÉS (MAIO DE 2005)

VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JUL/1969-DEZ/2005	Vazões naturais diárias em Baguari e Traíra II propagadas até Aimorés e somadas às vazões incrementais.	As vazões Incrementais diárias obtidas subtraindo-se as vazões observadas em Governador Valadares, Vila Matias e São Sebastião da Encruzilhada, devidamente propagadas, das vazões afluentes à usina de Mascarenhas, obtidas por balanço hídrico, apresentaram inconsistências sistemáticas, motivo pelo qual se optou adotar o posto de Colatina como controle de jusante. Vazões Incrementais diárias obtidas subtraindo-se as vazões observadas em Governador Valadares, Vila Matias e São Sebastião da Encruzilhada, propagadas, das vazões observadas em Colatina. A parcela correspondente à UHE Aimorés foi calculada proporcionalmente à área incremental e modulada com base nos dados diários do posto Barra do Cuieté suavizados por médias móveis de 3 dias e devidamente propagados.
EXCEÇÕES (*)	Em diversos períodos a vazão incremental desde Governador Valadares, Vila Matias e São Sebastião da Encruzilhada até Colatina apresentou inconsistências. *(ABR–JUN/70; SET/70; JUN/74; MAI/75; JUL/75; JAN/76; MAR-AGO/76; AGO/89; SET/94; AGO/96; AGO-SET/97; SET/98; JUN-SET/99; JUN-AGO/00; OUT/00; MAR-OUT/01; JUL-AGO/02; JUL-NOV/03; SET/04)	Nesses períodos o posto de São Sebastião da Encruzilhada foi desconsiderado e a incremental passou a ser desde Governador Valadares e Vila Matias até Colatina. A razão de distribuição das incrementais entre as usinas, que no período consistente era definida proporcionalmente às áreas de drenagem, passou a ser definida em função das relações calculadas para os períodos consistentes.
DEZ/1988	Vazões médias mensais desagregadas. (neste mês, apenas a bacia do rio Santo Antônio possui dados diários).	Vazões mensais moduladas com base na série de vazões diárias da UHE Aimorés, gerada a partir da soma das séries naturais propagadas de Baguari e Traíra II.

QUADRO 8.3.3.10
VAZÕES NATURAIS NA UHE MASCARENHAS (SETEMBRO DE 1973)

VAZÕES MÉDIAS MENSAIS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JAN/1931 a JUN/1969; DEZ/1988	Série obtida por correlação linear com a série mensal da UHE Aimorés	Equação de Transferência: $Q^t_{Mascarenhas} = 1{,}1699 \cdot Q^t_{Aimorés} - 7{,}4531$; $R^2 = 0{,}9989$
JUL/1969-DEZ/2005	Vazões médias mensais obtidas a partir das vazões médias diárias.	
VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
FEV/1938 a JUN/1969	Vazões médias mensais, obtidas por modelos de regressão, desagregadas.	Vazões mensais moduladas com base nas séries de vazões diárias observadas nos postos fluviométricos de Resplendor e São Sebastião da Encruzilhada, devidamente propagadas.

QUADRO 8.3.3.10 (continuação)
VAZÕES NATURAIS NA UHE MASCARENHAS (SETEMBRO DE 1973)

VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS		
Período	**Metodologia**	**Processo Auxiliar**
JUL/1969-DEZ/2005	Vazões naturais diárias em Baguari e Traíra II propagadas até Mascarenhas e somadas às vazões incrementais.	As vazões Incrementais diárias obtidas subtraindo-se as vazões observadas em Governador Valadares, Vila Matias e São Sebastião da Encruzilhada, devidamente propagadas, das vazões afluentes à usina de Mascarenhas, obtidas por balanço hídrico, apresentaram inconsistências sistemáticas, motivo pelo qual se optou adotar o posto de Colatina como controle de jusante. Vazões Incrementais diárias obtidas subtraindo-se as vazões observadas em Governador Valadares, Vila Matias e São Sebastião da Encruzilhada, devidamente propagadas, das vazões observadas em Colatina. A parcela correspondente à UHE Mascarenhas foi calculada proporcionalmente à área incremental e modulada com base nos dados diários do posto Barra do Cuieté suavizados por médias móveis de 3 dias e devidamente propagados.
EXCEÇÕES (*)	Em diversos períodos a vazão incremental desde Governador Valadares, Vila Matias e São Sebastião da Encruzilhada até Colatina apresentou inconsistências. *(ABR–JUN/70; SET/70; JUN/74; MAI/75; JUL/75; JAN/76; MAR-AGO/76; AGO/89; SET/94; AGO/96; AGO-SET/97; SET/98; JUN-SET/99; JUN-AGO/00; OUT/00; MAR-OUT/01; JUL-AGO/02; JUL-NOV/03; SET/04)	Nesses períodos o posto de São Sebastião da Encruzilhada foi desconsiderado e a incremental passou a ser desde Governador Valadares e Vila Matias até Colatina. A razão de distribuição das incrementais entre as usinas, que no período consistente era definida proporcionalmente às áreas de drenagem, passou a ser definida em função das relações calculadas para os períodos consistentes.
DEZ/1988	Vazões médias mensais desagregadas. (neste mês, apenas a bacia do rio Santo Antônio possui dados diários).	Vazões mensais moduladas com base na série de vazões diárias da UHE Mascarenhas, gerada a partir da soma das séries naturais propagadas de Baguari e Traíra II, passando por Aimorés.

8.4. NECESSIDADE DE MODELOS CHUVA-DEFLÚVIO

A extensão das séries de vazões médias mensais nos locais de aproveitamentos, para períodos anteriores ao período de observação local, pode ser feita mediante aplicação de modelos hidrológicos chuva-deflúvio ou de métodos de regressão, considerando postos fluviométricos existentes nas proximidades do local de interesse com registro mais antigo.

Os modelos hidrológicos chuva-deflúvio podem ser desenvolvidos em diferentes escalas de tempo, dependendo da qualidade e quantidade dos dados disponíveis. Normalmente empregam-se modelos diários (às vezes com dados pluviométricos horários) e modelos mensais.

Os modelos diários exigem, para uma boa modelagem, uma rede pluviométrica densa e de boa qualidade. Já os modelos em escala mensal admitem trabalhar com uma rede pluviométrica menos densa, sendo por isso mesmo empregados com muita freqüência no Brasil, para extensão de séries de vazões médias mensais em locais onde se dispõe de dados observados em períodos recentes.

Entretanto, constituem ferramentas limitadas do ponto de vista conceitual, quando comparados aos modelos diários, por não reproduzirem os fenômenos naturais na escala devida, funcionando, na verdade, de forma parecida a uma regressão não linear especial, na qual algumas relações funcionais, baseadas em conceitos hidrológicos, são impostas na formulação das expressões a serem ajustadas.

O emprego de modelos chuva-deflúvio, em escala mensal, foi previsto no escopo do atual trabalho, como ferramenta auxiliar para a extensão das séries de vazões naturais médias mensais nos locais de aproveitamentos, quando fosse constatada uma fragilidade maior dos dados fluviométricos que impedisse uma aplicação confiável das metodologias previstas neste relatório, particularmente o método de correlação de vazões mensais.

Alternativamente, quando se dispõe de registros longos de dados fluviométricos na bacia em estudo, pode-se estabelecer equações de regressão (lineares ou não lineares) associando as vazões mensais no local de interesse com as vazões mensais dos locais que possuem longos registros. Este método é mais confiável que a modelagem chuva-deflúvio, desde que os postos fluviométricos de referência localizem-se no mesmo curso d'água que o local de estudo ou, pelo menos, numa bacia hidrográfica que possua regime fluvial compatível.

Na bacia do rio Parnaíba não existe nenhum posto fluviométrico com registros anteriores à década de 1960, estando disponível apenas o registro fluviométrico do posto Boqueirão, no rio Grande, bacia do rio São Francisco. Poucos são os postos pluviométricos da bacia com dados contínuos desde a década de 1930, sendo sua distribuição muito irregular, o que dificulta o emprego de modelos conceituais chuva-deflúvio.

Esta situação se repete nas bacias do rio Jequitinhonha, onde existe apenas um posto fluviométrico (Araçuaí) e um posto pluviométrico (Diamantina) com registro na década de 1930.

Na bacia do rio Doce a situação é um pouco melhor: existem dois postos fluviométricos (Rio Casca e Rio Piracicaba) e cinco postos pluviométricos (Ouro Preto, Ponte Nova, Caratinga, Conceição do Mato Dentro e Itabira) com registros na década de 1930.

A base de dados de longo curso é, portanto, escassa.

Considerando esta disponibilidade de dados, optou-se por não empregar modelagem conceitual chuva-deflúvio para a extensão das séries de vazões médias mensais nos locais de aproveitamento. Em vez disso, trabalhou-se, sempre que possível, com regressões multilineares envolvendo dados fluviométricos e pluviométricos, tendo sido obtidos resultados satisfatórios.

9. ANÁLISE COMPARATIVA DAS SÉRIES

As séries de vazões naturais médias diárias e médias mensais dos aproveitamentos situados nas bacias hidrográficas dos rios Parnaíba, Jequitinhonha e Doce foram elaboradas respeitando as metodologias descritas no Capítulo 8 deste relatório e com o emprego de ferramentas especialmente desenvolvidas, descritas no Relatório de Modelos (documento **ONS-075/08**).

Neste capítulo, é apresentada uma análise comparativa, entre as novas séries de vazões naturais médias diárias e médias mensais obtidas (séries revistas) e as séries atualmente em uso nos procedimentos do ONS (séries atuais).

Considerando o grande número de análises realizadas, buscou-se uma forma de padronizá-las, através da definição prévia de estatísticas e de gráficos comparativos, aplicáveis às séries mensais e diárias.

Os resultados mais significativos das análises realizadas para cada série são apresentados, para efeito de registro, mais adiante no texto para cada uma das três bacias hidrográficas estudadas. Os resultados das análises (estatísticas e gráficos) foram apresentados em meio digital, na forma de planilhas de cálculo, juntamente com o relatório "Análise Comparativa das Séries de Vazões Naturais Proposta e Atual" (**ONS-076/08**).

Em alguns casos, de usinas recentemente construídas ou ainda em programação ou construção, o ONS não dispõe de séries de vazões diárias. Nesses casos, a planilha de análise contempla apenas a nova série produzida, mas a planilha fica aberta à introdução de uma série alternativa, caso seja do interesse futuro do ONS.

9.1. METODOLOGIA DE ANÁLISE

A metodologia empregada na análise comparativa das séries diárias e mensais se baseou no procedimento definido anteriormente pelo ONS, para aplicação nas séries naturais desenvolvidas para os aproveitamentos das bacias dos rios Grande, Paranaíba, Paraná, Tietê, Paranapanema, Iguaçu, Tocantins e São Francisco, em 2003-2004.

Naquela ocasião foram desenvolvidas planilhas de cálculo totalmente automatizadas que permitiam a obtenção de estatísticas e gráficos comparativos, facilitando o trabalho de análise.

Para o presente trabalho, as planilhas de análise de séries mensais foram adaptadas para cobrir o período de análise, de 1931 a 2005, pois as planilhas existentes se limitavam ao período de 1931 a 2001.

Houve dificuldade em realizar a mesma adaptação para as planilhas de análise de dados diários, de forma que optou-se, no final, por criar um procedimento semi-automatizado, capaz de produzir uma planilha de análise idêntica à do trabalho

anterior, mas que necessita de uma participação mais ativa do analista durante a produção dos resultados.

Maiores detalhes sobre o procedimento prático de análise se encontram descritos no documento **ONS-076/08**.

9.2. ANÁLISE DAS SÉRIES DAS USINAS DA BACIA DO RIO PARNAÍBA

Boa Esperança é a única usina para a qual se dispõe de séries atuais de vazões diárias na bacia do rio Parnaíba. Para as demais usinas, dispõe-se apenas de séries mensais, elaboradas durante os Estudos de Viabilidade dos aproveitamentos. Assim, a análise comparativa da série da UHE Boa Esperança está completa, enquanto que para as demais usinas é apresentada apenas a análise das séries mensais.

9.2.1. SÉRIE DA UHE BOA ESPERANÇA

A Figura 9.2.1.1 apresenta os hidrogramas das vazões médias mensais atuais e revistas e um resumo das estatísticas anuais dessas séries. Já a Figura 9.2.1.2 mostra os fluviogramas dessas duas séries para o período crítico.

Estes resultados mostram, para o período completo, uma diferença inferior a 5% entre as vazões médias mensais das duas séries. Durante o período crítico, embora a nova série gerada apresente maior variabilidade intra-anual que a série atual, as vazões médias são praticamente iguais.

FIGURA 9.2.1.1

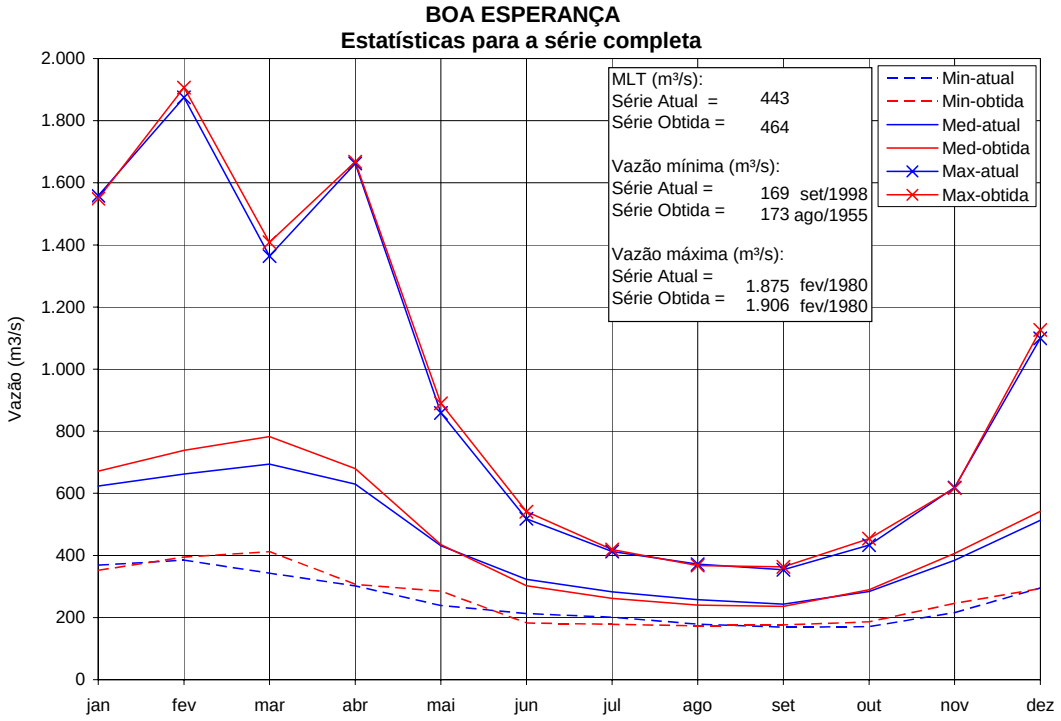
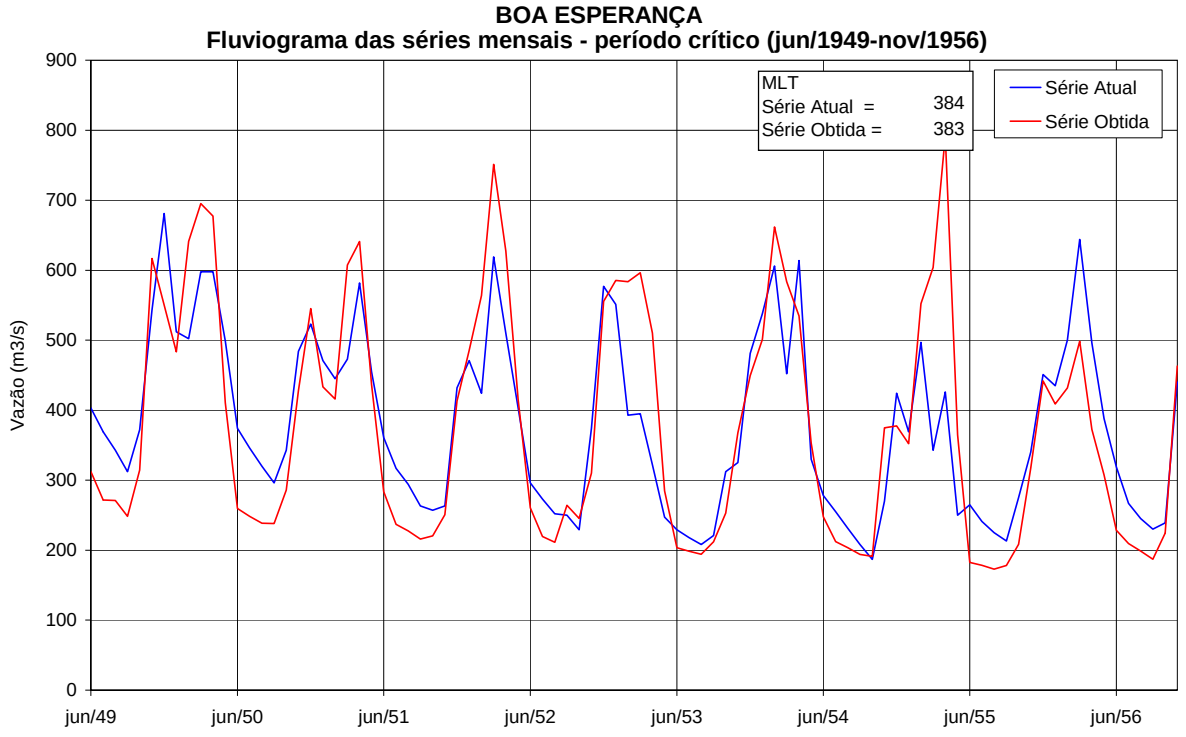


FIGURA 9.2.1.2



As principais estatísticas das séries de vazões diárias da UHE Boa Esperança (atual e revista) são apresentadas no Quadro 9.2.1.1 a seguir. Deve ser registrado que a série de vazões diárias revista não cobre o mesmo período que a série atual.

QUADRO 9.2.1.1
Estatísticas das Séries de Vazões Diárias

	Série Atual (desde 01/01/1962)		Série Revista (desde 01/01/1966)	
	Valor	**Data**	**Valor**	**Data**
Mínima – antes do enchimento	166	15/10/1963	184	15/09/1966
Mínima – período total	115	23/09/1998	171	21/10/1999
Mínima – após o enchimento	115	23/09/1998	171	21/10/1999
Média – antes do enchimento	401		459	
Média – período total	454		471	
Média – após o enchimento	464		472	
Máxima - antes do enchimento	2 800	27/01/1964	2 019	11/02/1966
Máxima - período total	2 948	15/01/2002	2 595	23/02/1980
Máxima - após o enchimento	2 948	15/01/2002	2 595	23/02/1980
Desvio Padrão	281		280	
Assimetria	2.48		2.27	

9.2.2. SÉRIE DA UHE RIBEIRO GONÇALVES

A Figura 9.2.2.1 apresenta os hidrogramas das vazões médias mensais atuais e revistas e um resumo das estatísticas anuais dessas séries. Já a Figura 9.2.2.2 mostra os fluviogramas dessas duas séries para o período crítico.

FIGURA 9.2.2.1

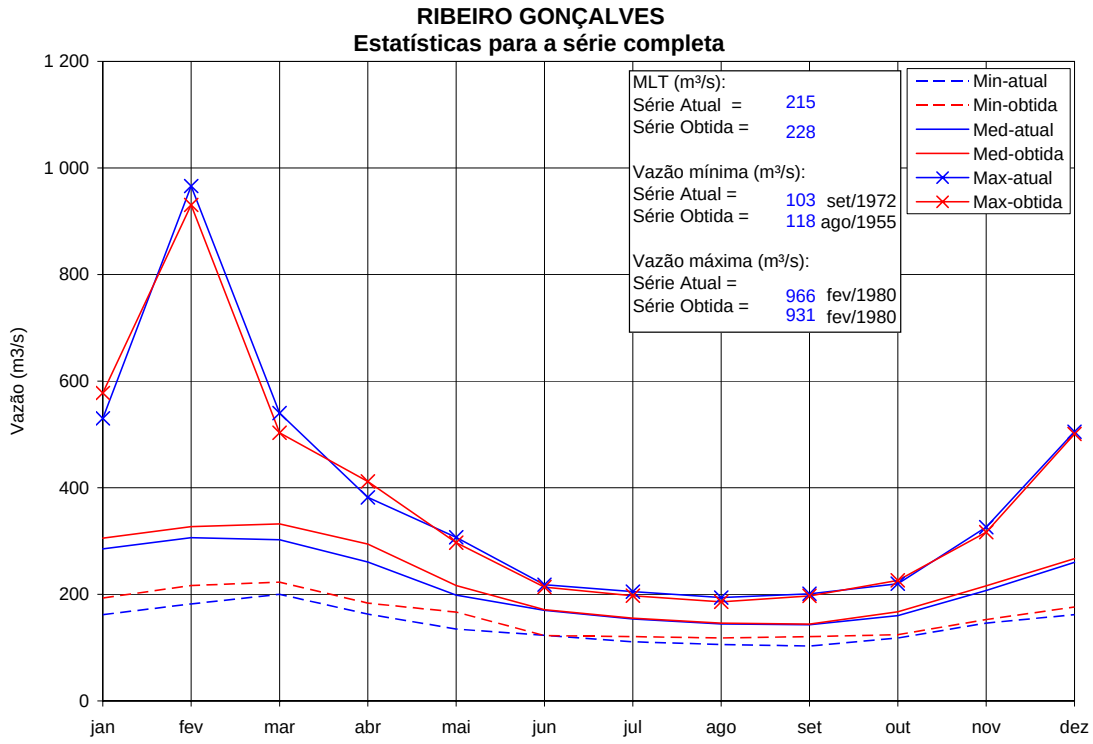
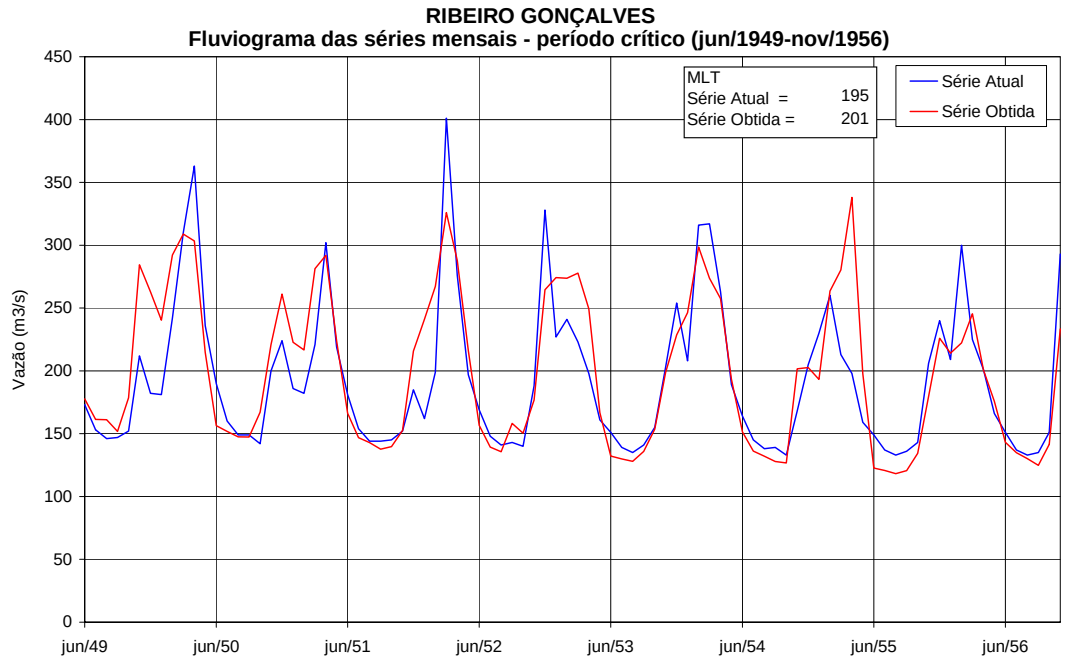


FIGURA 9.2.2.2



9.2.3. SÉRIE DA UHE URUÇUÍ

A Figura 9.2.3.1 apresenta os hidrogramas das vazões médias mensais atuais e revistas e um resumo das estatísticas anuais dessas séries. Já Figura 9.2.3.2 mostra os fluviogramas dessas duas séries para o período crítico.

FIGURA 9.2.3.1

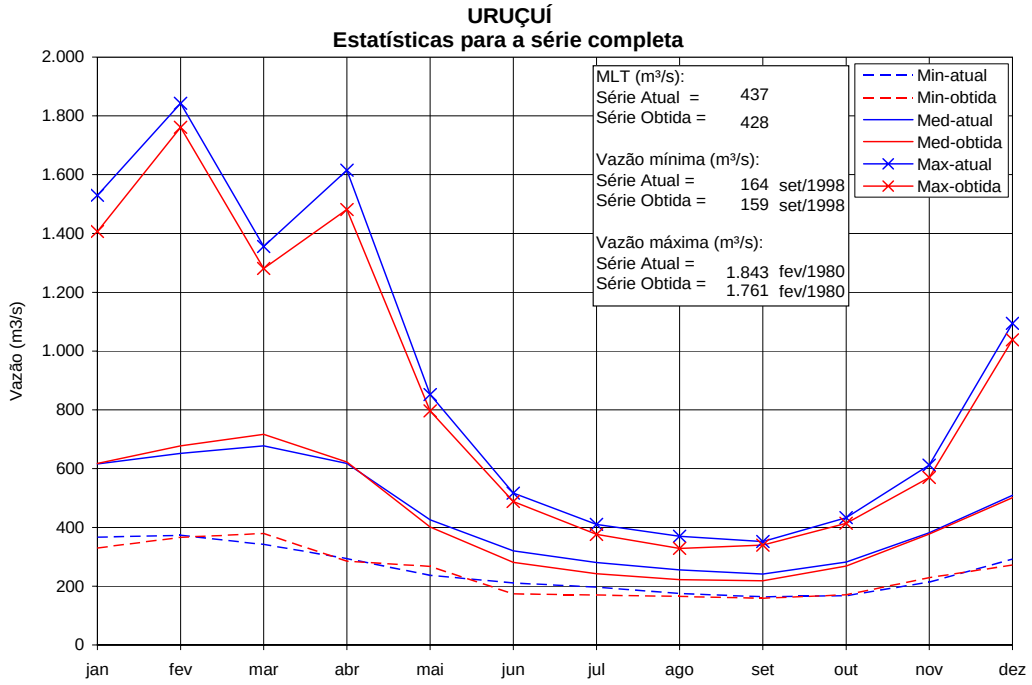
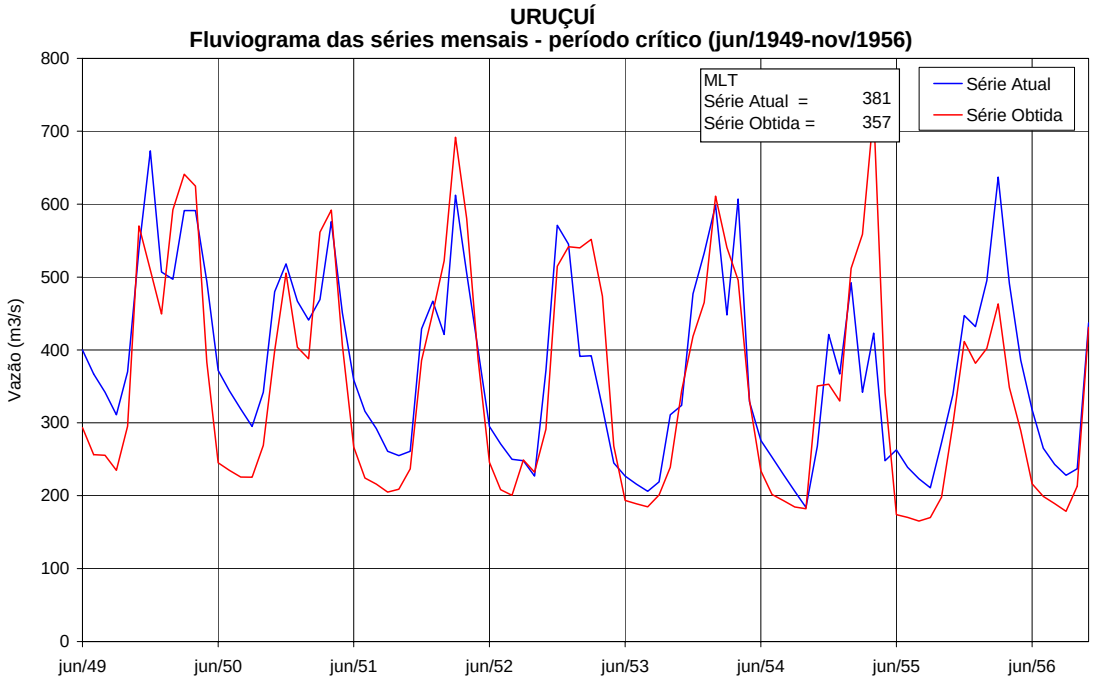


FIGURA 9.2.3.2



9.2.4. SÉRIE DA UHE CACHOEIRA

A Figura 9.2.4.1 apresenta os hidrogramas das vazões médias mensais atuais e revistas e um resumo das estatísticas anuais dessas séries. Já Figura 9.2.4.2 mostra os fluviogramas dessas duas séries para o período crítico.

FIGURA 9.2.4.1

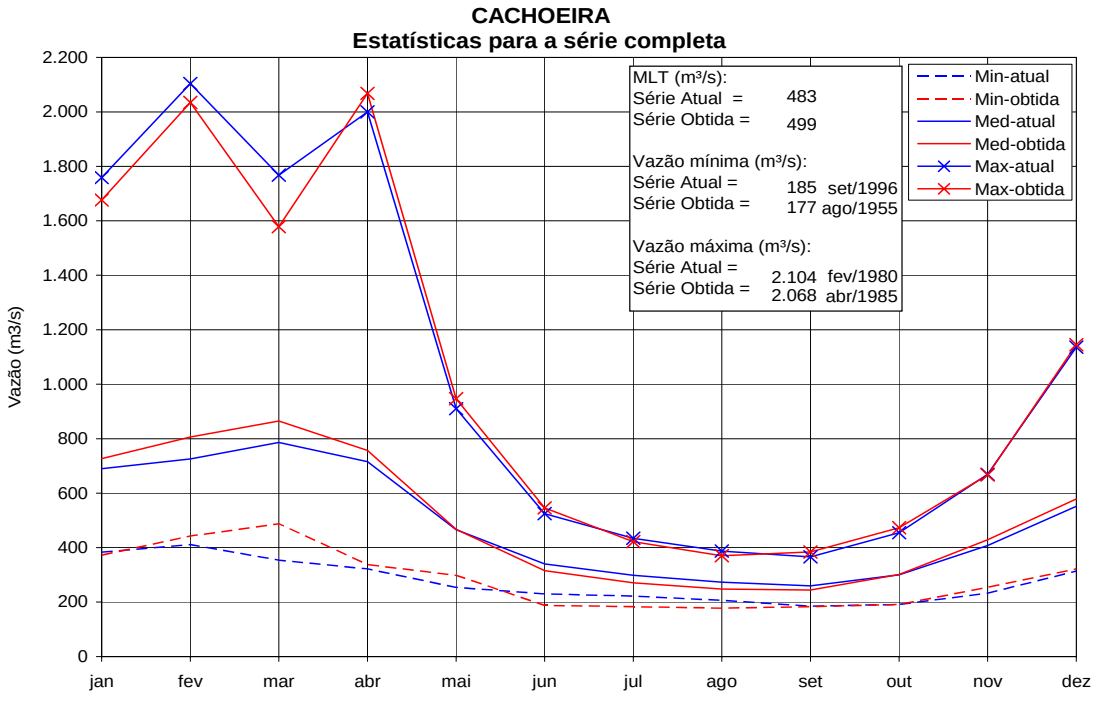
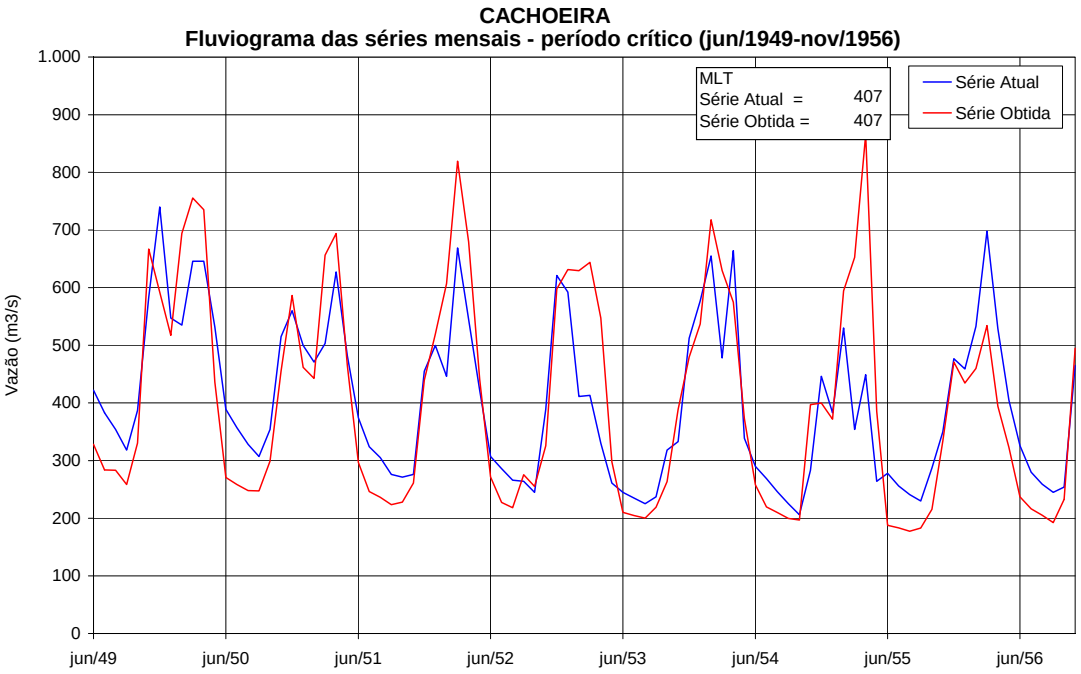


FIGURA 9.2.4.2



9.2.5. SÉRIE DA UHE ESTREITO

A Figura 9.2.5.1 apresenta os hidrogramas das vazões médias mensais atuais e revistas e um resumo das estatísticas anuais dessas séries. Já Figura 9.2.5.2 mostra os fluviogramas dessas duas séries para o período crítico.

FIGURA 9.2.5.1

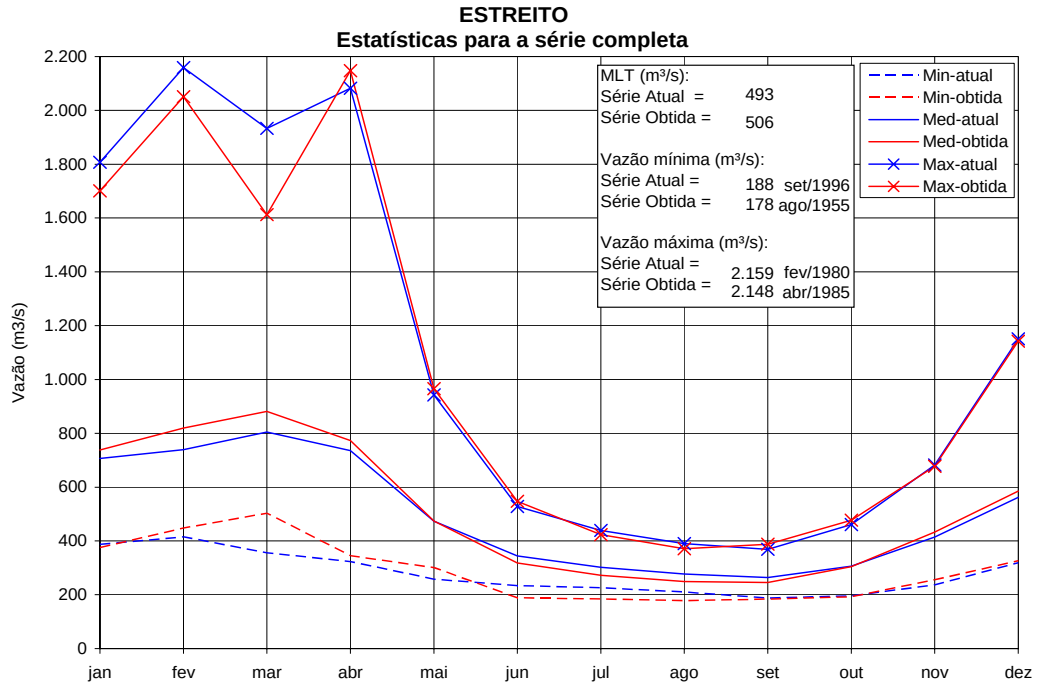
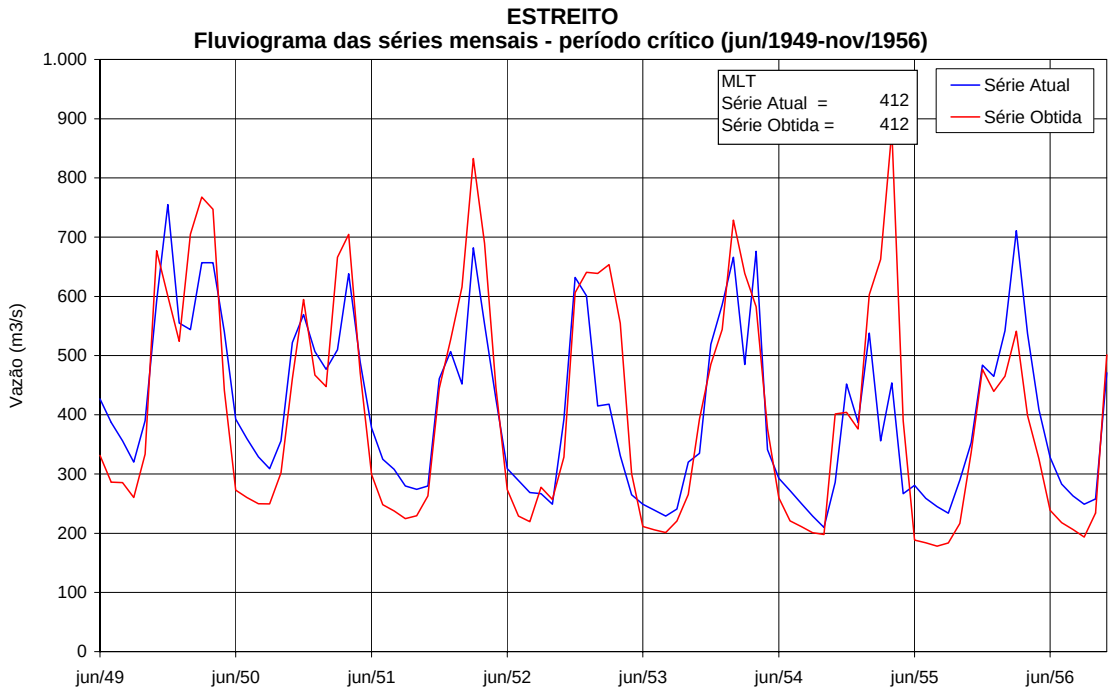


FIGURA 9.2.5.2



9.2.6. SÉRIE DA UHE CASTELHANO

A Figura 9.2.6.1 apresenta os hidrogramas das vazões médias mensais atuais e revistas e um resumo das estatísticas anuais dessas séries. Já a Figura 9.2.6.2 mostra os fluviogramas dessas duas séries para o período crítico.

FIGURA 9.2.6.1

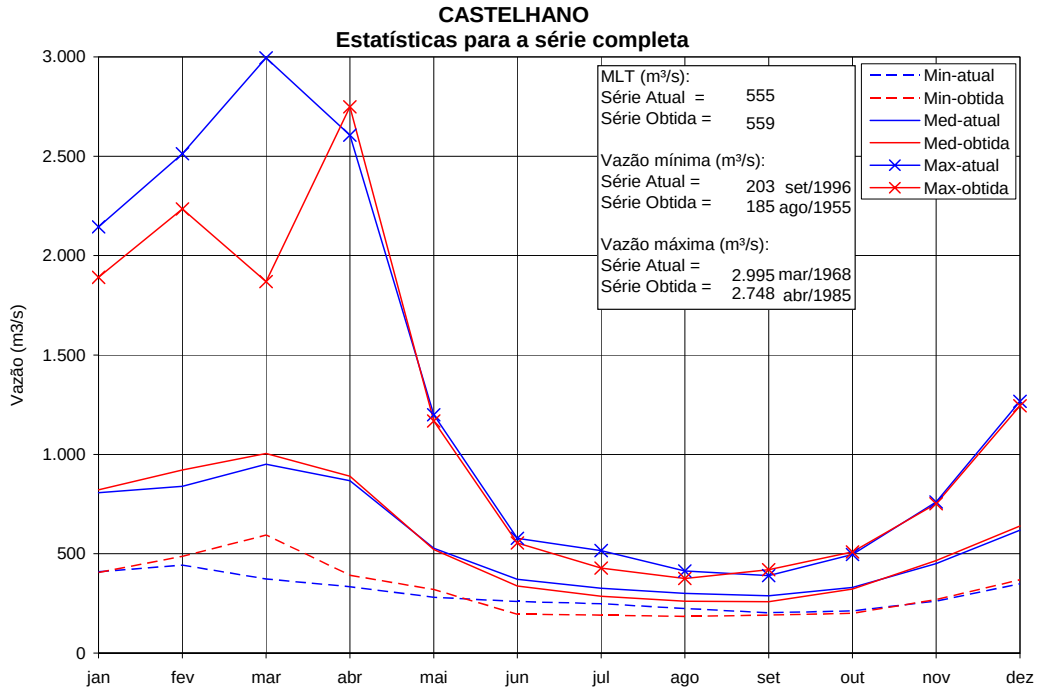
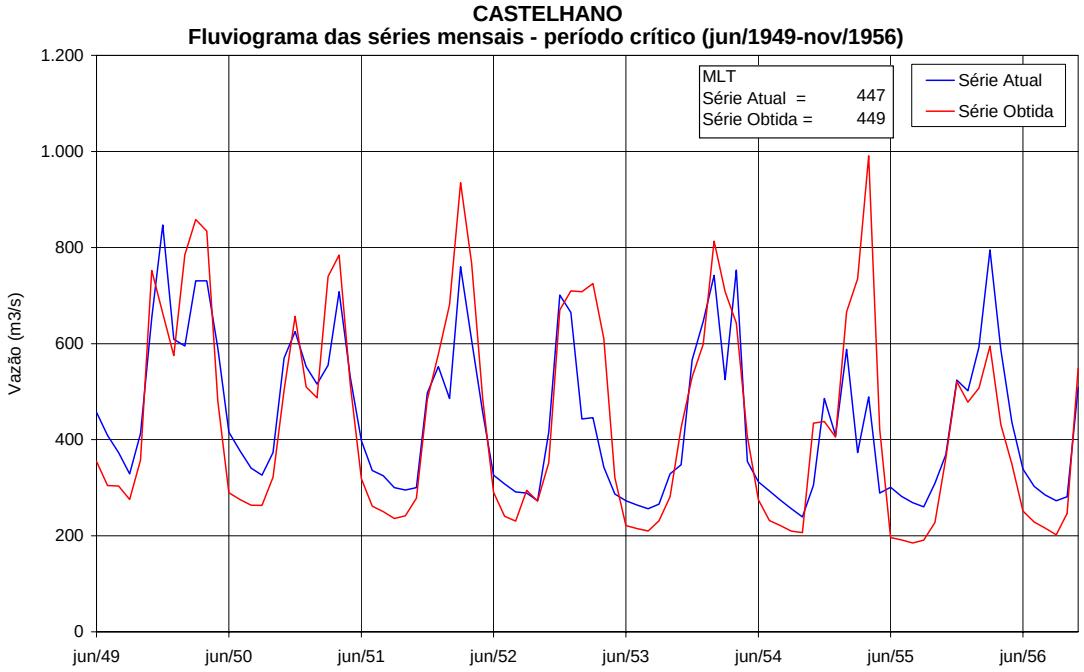


FIGURA 9.2.6.2



9.3. ANÁLISE DAS SÉRIES DAS USINAS DA BACIA DO RIO JEQUITINHONHA

Das três usinas da bacia do Jequitinhonha, que fazem parte do presente estudo, dispõe-se de séries diárias apenas para Irapé e Itapebí. Assim, as análises comparativas das séries dessas usinas estão completas, enquanto que para a UHE Murta é apresentada apenas a análise das séries mensais.

9.3.1. SÉRIE DA UHE IRAPÉ

A Figura 9.3.1.1 apresenta os hidrogramas das vazões médias mensais atuais e revistas e um resumo das estatísticas anuais dessas séries. Já a Figura 9.3.1.2 mostra os fluviogramas dessas duas séries para o período crítico.

Estes resultados mostram diferenças muito reduzidas entre a nova série e a existente. Durante o período completo, a série nova apresenta vazão média ligeiramente superior (cerca de 2,7%) à série atual. Para o período crítico, as médias das duas séries são praticamente coincidentes

FIGURA 9.3.1.1

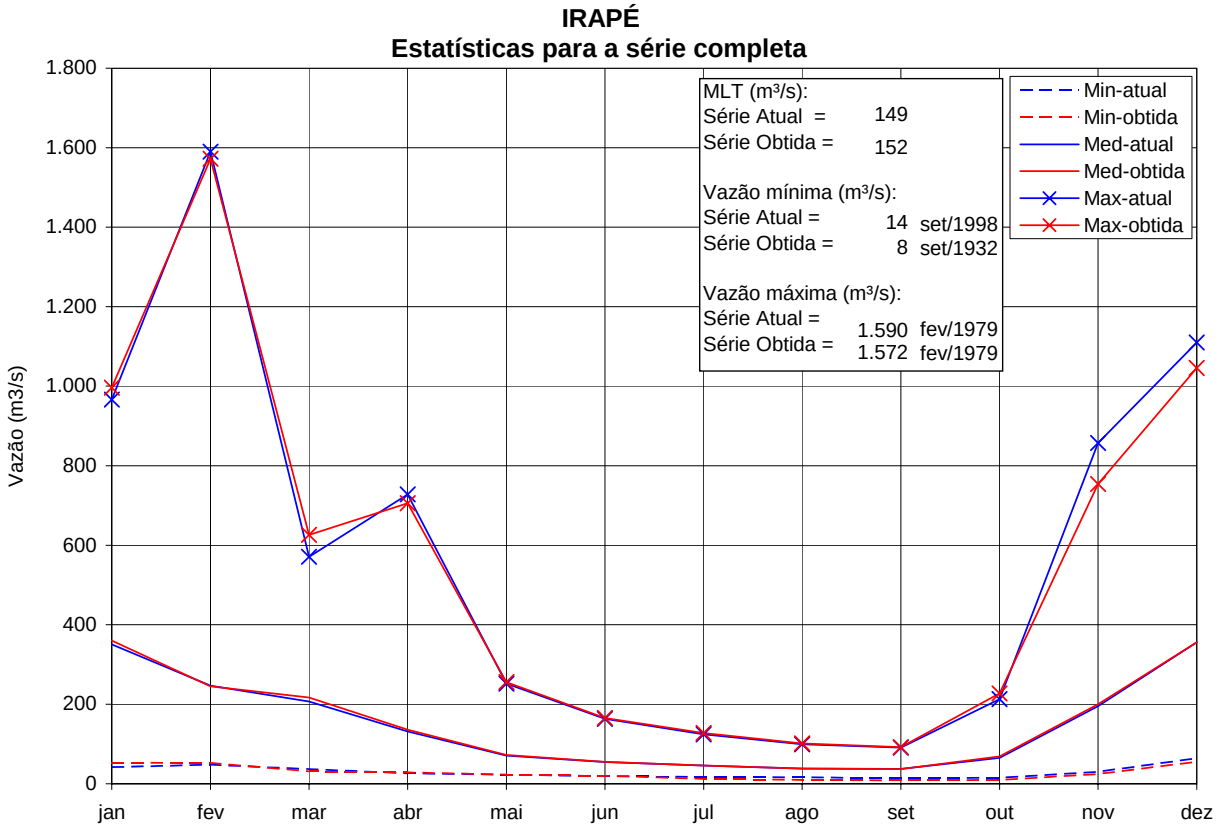
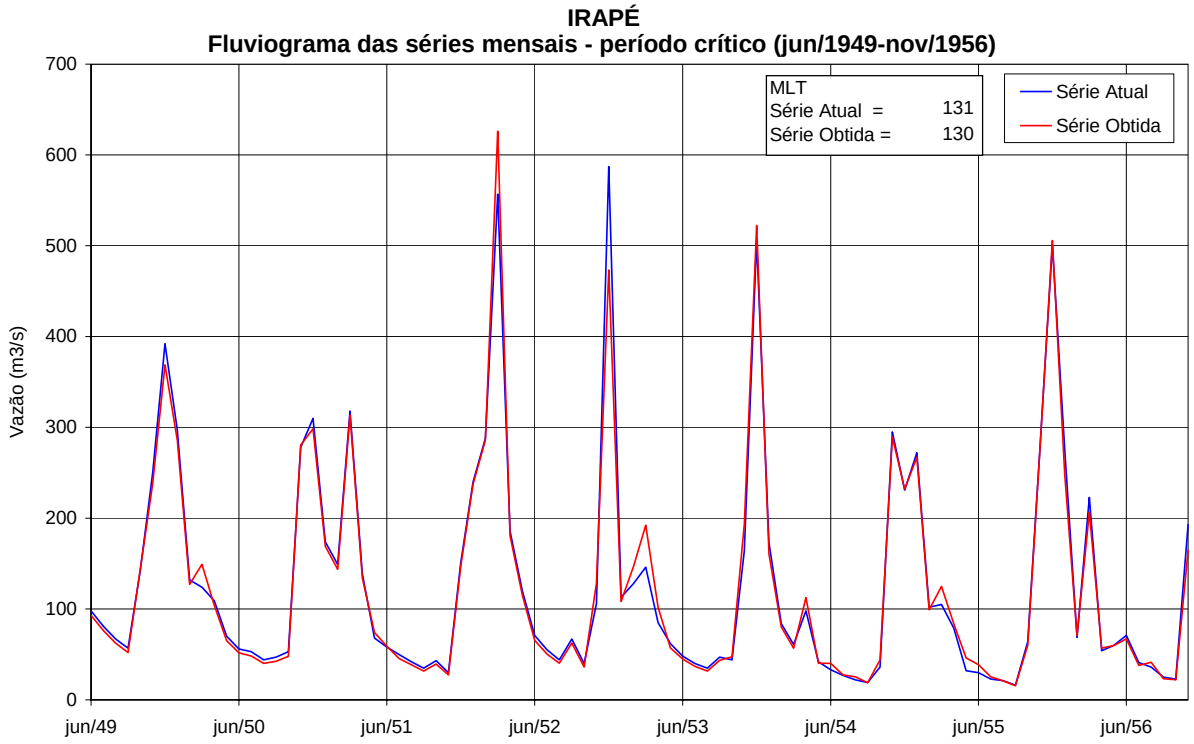


FIGURA 9.3.1.2



As principais estatísticas das séries de vazões diárias da UHE Irapé (atual e revista) são apresentadas no Quadro 9.3.1.1 a seguir.

QUADRO 9.3.1.1
Estatísticas das Séries de Vazões Diárias

	Série Atual (desde 01/01/1945)		Série Revista (01/11/1945)	
	Valor	Data	Valor	Data
Mínima – antes do enchimento	12	04/10/1988	10	08/10/1998
Mínima – período total	12	04/10/1988	10	08/10/1998
Mínima – após o enchimento	135	27/12/2005	35	12/12/2005
Média – antes do enchimento	151		155	
Média – período total	151		155	
Média – após o enchimento	164		158	
Máxima - antes do enchimento	4 183	24/12/1945	3 781	03/02/1979
Máxima - período total	4 183	24/12/1945	3 781	03/02/1979
Máxima - após o enchimento	1 331	16/12/2005	1 765	17/12/2005
Desvio Padrão	281		242	
Assimetria	2.48		4.54	

9.3.2. SÉRIE DA UHE MURTA

A Figura 9.3.2.1 apresenta os hidrogramas das vazões médias mensais atuais e revistas e um resumo das estatísticas anuais dessas séries. Já a Figura 9.3.2.2 mostra os fluviogramas dessas duas séries para o período crítico.

FIGURA 9.3.2.1

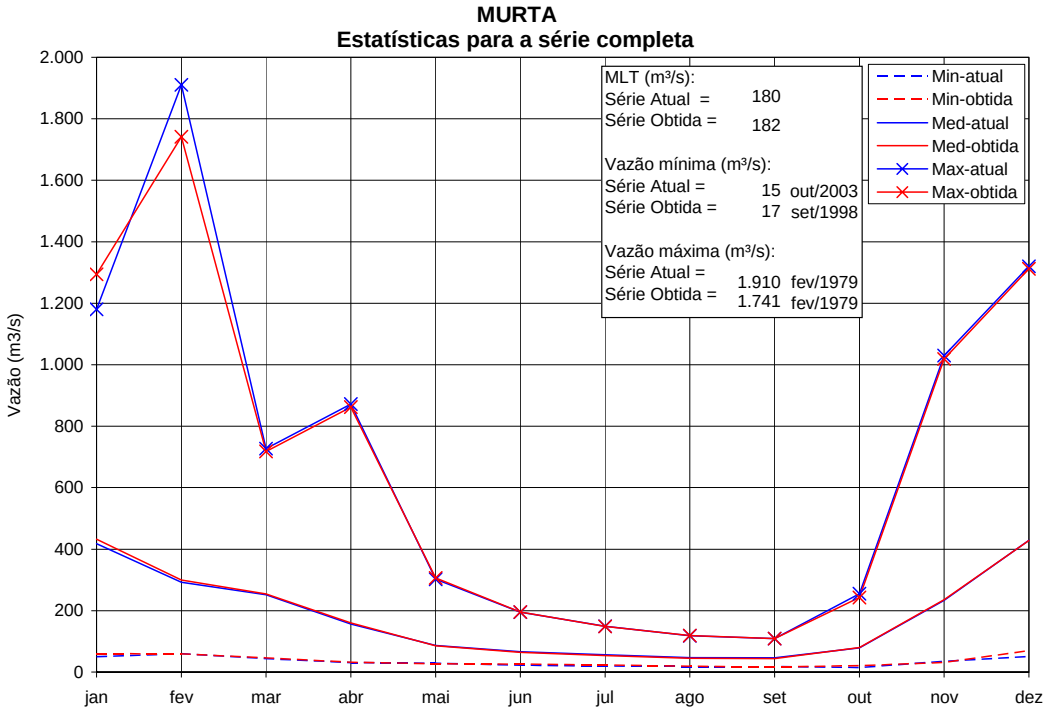
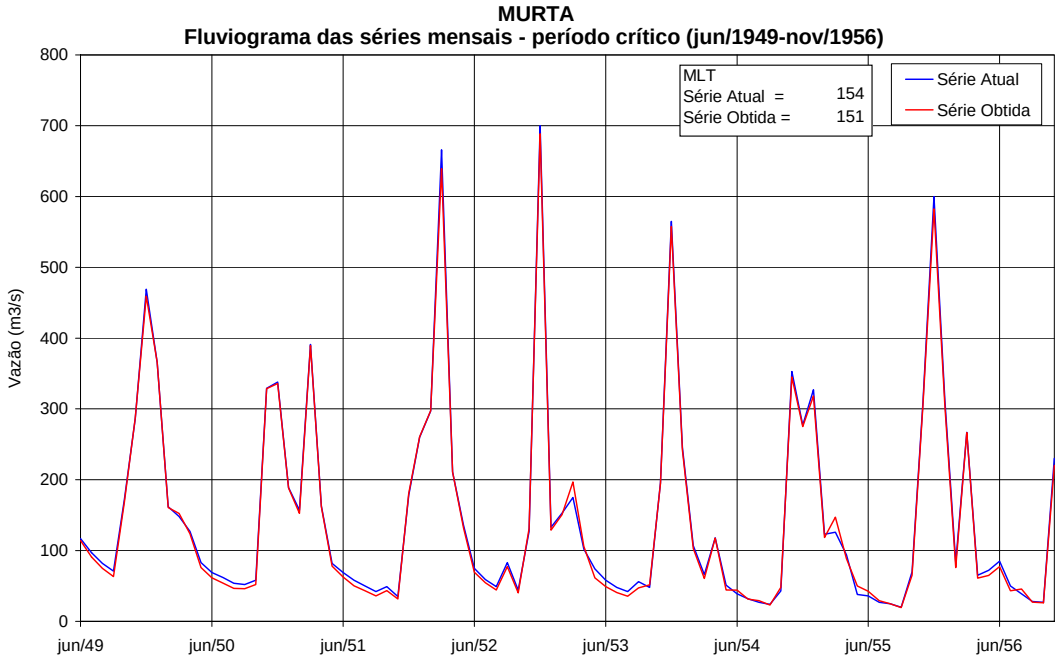


FIGURA 9.3.2.2



9.3.3. SÉRIE DA UHE ITAPEBÍ

A Figura 9.3.3.1 apresenta os hidrogramas das vazões médias mensais atuais e revistas e um resumo das estatísticas anuais dessas séries. Já a Figura 9.3.3.2 mostra os fluviogramas dessas duas séries para o período crítico.

A vazão média do período crítico da nova série é ligeiramente superior à da série atual (1,2%). Para o período completo, esta diferença é um pouco maior, chegando a 2,4%. Nos dois casos, a diferença é insignificante.

FIGURA 9.3.3.1

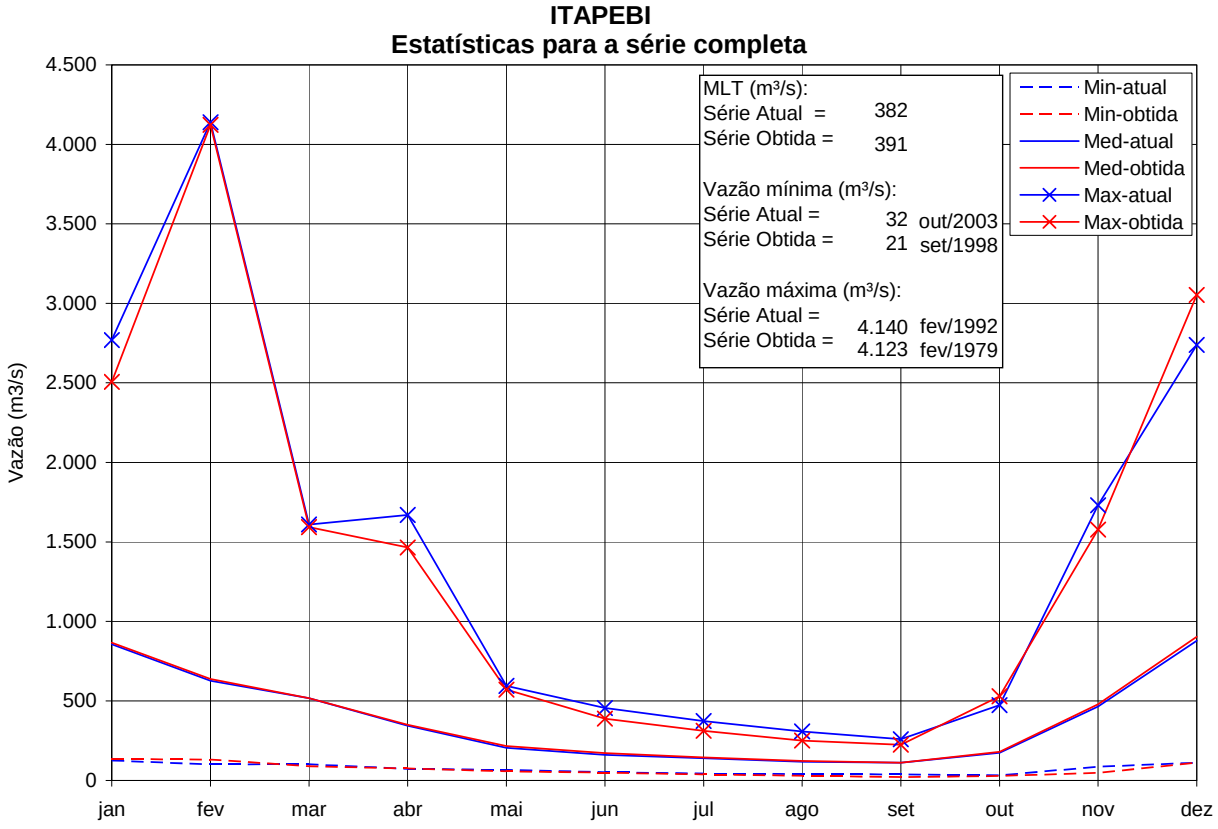
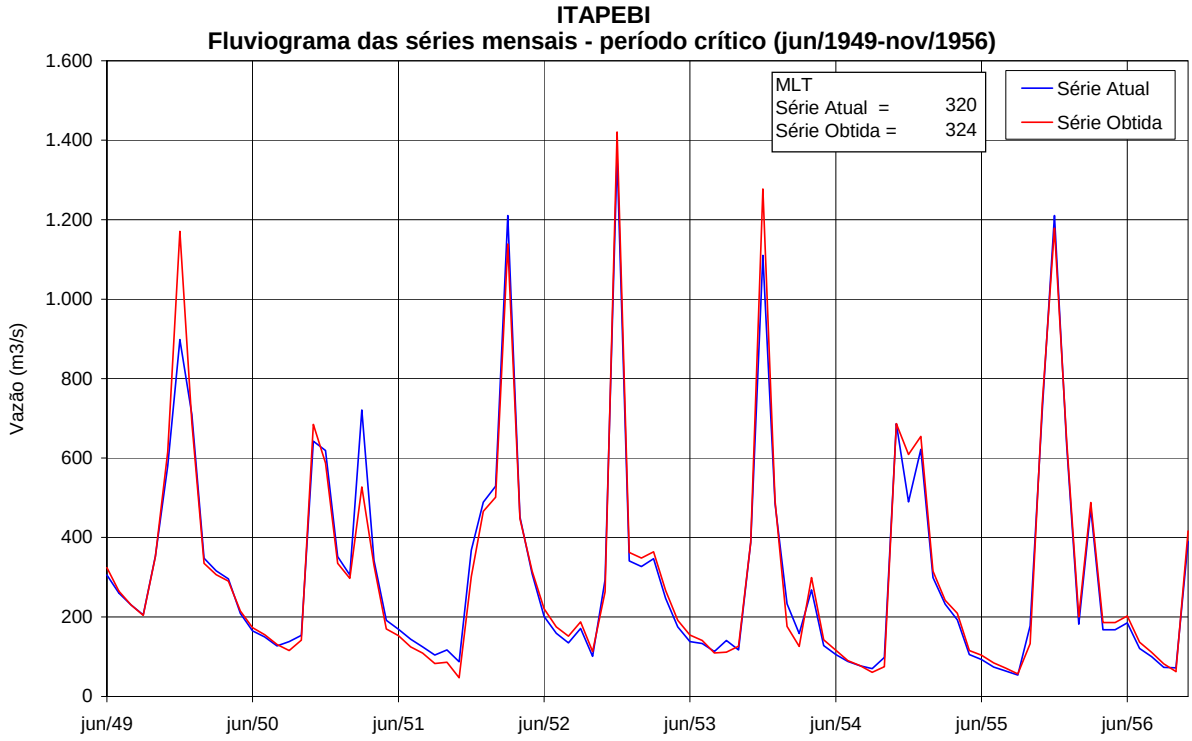


FIGURA 9.3.3.2



As principais estatísticas das séries de vazões diárias da UHE Itapebí (atual e revista) são apresentadas no Quadro 9.3.4.1 a seguir.

QUADRO 9.3.4.1
Estatísticas das Séries de Vazões Diárias

	Série Atual (desde 20/04/1936)		Série Revista (desde 01/01/1938)	
	Valor	**Data**	**Valor**	**Data**
Mínima – antes do enchimento	32	22/09/1998	17	28/09/1998
Mínima – período total	4	19/10/2003	17	28/09/1998
Mínima – após o enchimento	4	19/10/2003	24	23/10/2003
Média – antes do enchimento	493		407	
Média – período total	484		402	
Média – após o enchimento	277		282	
Máxima - antes do enchimento	9 784	03/02/1979	10 486	06/02/1992
Máxima - período total	9 784	03/02/1979	10 486	06/02/1992
Máxima - após o enchimento	3 299	25/03/2004	3 335	18/12/2005
Desvio Padrão	643		574	
Assimetria	4.55		4.82	

9.4. ANÁLISE DAS SÉRIES DAS USINAS DA BACIA DO RIO DOCE

Das dez usinas da bacia do rio Doce que fazem parte do presente estudo, dispõe-se de séries diárias existentes (atuais) para oito, todas as que se encontram em operação (sete usinas) e mais a UHE Baguari, atualmente em construção. Apenas as futuras usinas de Baú e Traíra não dispõem de séries de vazões diárias atuais, de forma que para estes aproveitamentos, apesar de se ter desenvolvido séries diárias, é apresentada apenas a análise comparativa das séries mensais.

9.4.1. SÉRIE DA UHE BAÚ

A Figura 9.4.1.1 apresenta os hidrogramas das vazões médias mensais atuais e revistas e um resumo das estatísticas anuais dessas séries. Já a Figura 9.4.1.2 mostra os fluviogramas dessas duas séries para o período crítico.

A série revista apresentou, para o período completo, vazão média inferior (3,2%) à média da série atual. Para o período crítico, essa diferença foi um pouco maior, cerca de 3,8%.

FIGURA 9.4.1.1

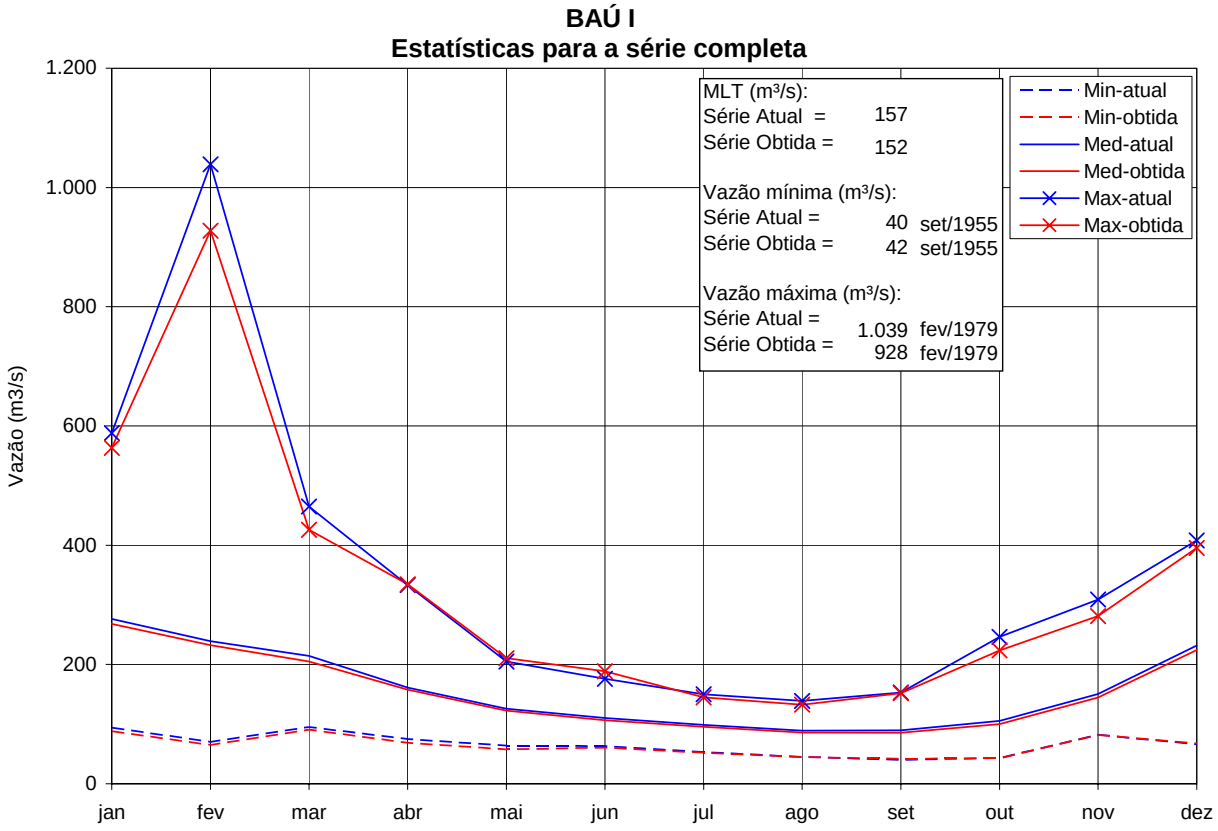
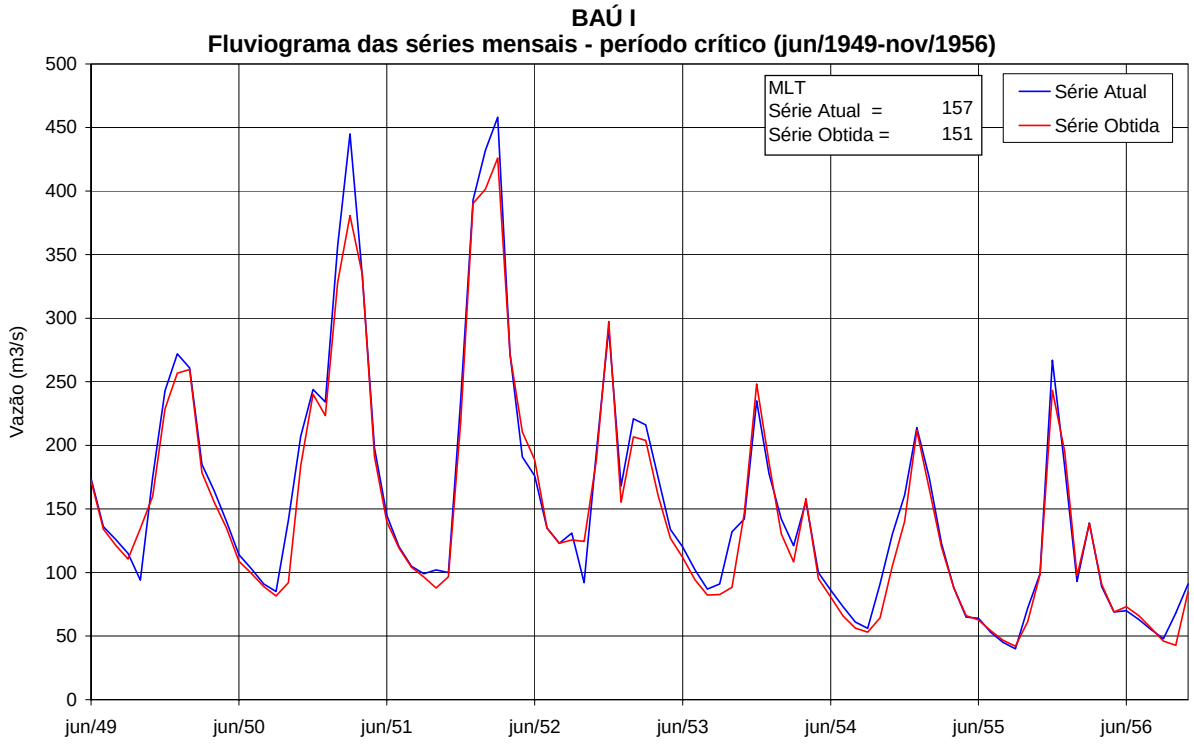


FIGURA 9.4.1.2



9.4.2. SÉRIE DA UHE CANDONGA

A Figura 9.4.2.1 apresenta os hidrogramas das vazões médias mensais atuais e revistas e um resumo das estatísticas anuais dessas séries. Já a Figura 9.4.2.2 mostra os fluviogramas dessas duas séries para o período crítico.

Chama a atenção nesses resultados que a diferença de vazão média entre o período completo e o período crítico é muito reduzida, tanto na série atual quanto na série revista. Além disso, os novos resultados são muito próximos dos resultados anteriores.

FIGURA 9.4.2.1

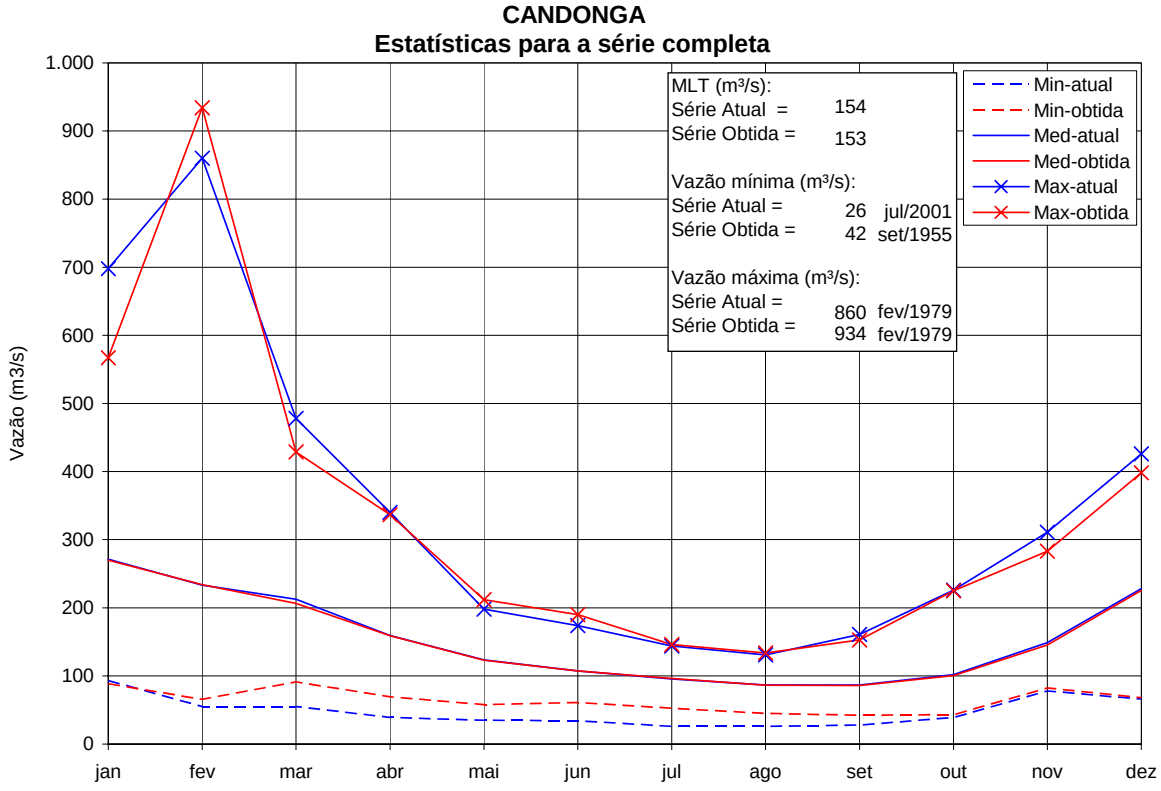
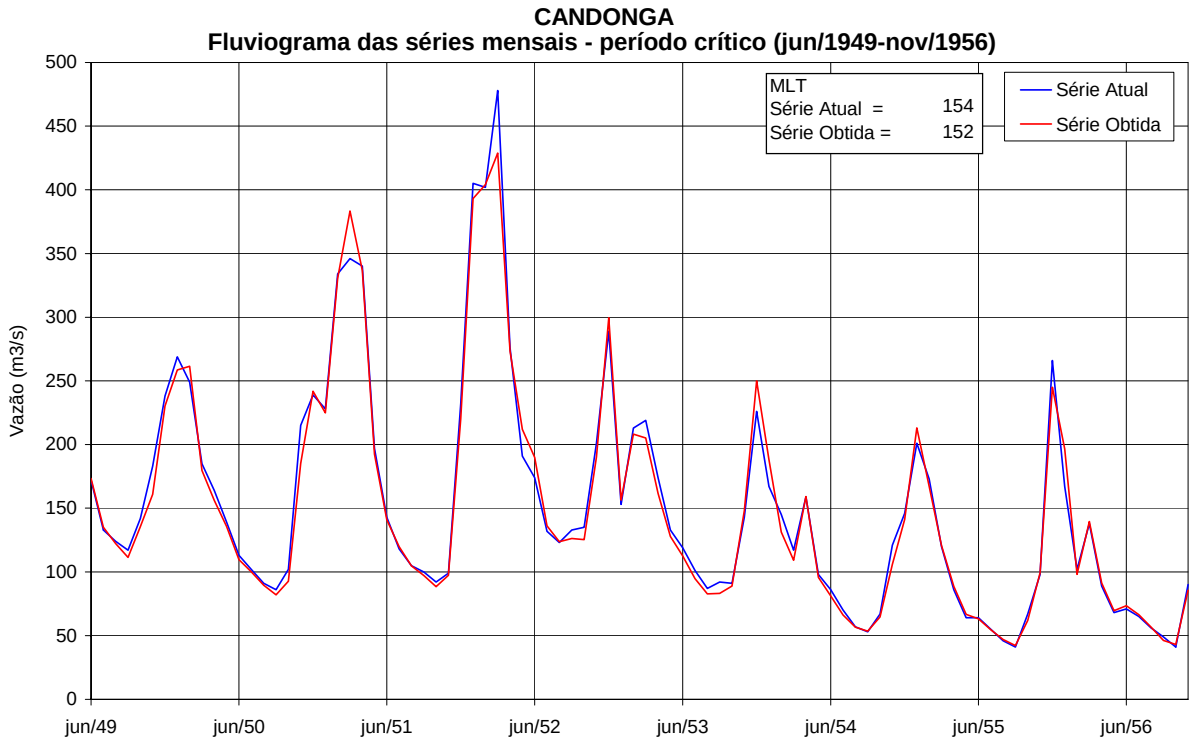


FIGURA 9.4.2.2



As principais estatísticas das séries de vazões diárias da UHE Candonga (atual e revista) são apresentadas no Quadro 9.4.2.1 a seguir.

QUADRO 9.4.2.1
Estatísticas das Séries de Vazões Diárias

	Série Atual (desde 01/01/1941)		**Série Revista (desde 01/10/1940)**	
	Valor	**Data**	**Valor**	**Data**
Mínima – antes do enchimento	0	01/03/2001	35	14/10/1999
Mínima – período total	0	01/03/2001	35	14/10/1999
Mínima – após o enchimento	61	24/10/2005	62	20/10/2005
Média – antes do enchimento	157		151	
Média – período total	157		151	
Média – após o enchimento	167		167	
Máxima - antes do enchimento	2 936	05/01/1997	1 945	05/01/1997
Máxima - período total	2 936	05/01/1997	1 945	05/01/1997
Máxima - após o enchimento	885	05/03/2005	926	06/03/2005
Desvio Padrão	120		108	
Assimetria	5.39		3.59	

9.4.3. SÉRIE DA UHE GUILMAN AMORIM

A Figura 9.4.3.1 apresenta os hidrogramas das vazões médias mensais atuais e revistas e um resumo das estatísticas anuais dessas séries. Já a Figura 9.4.3.2 mostra os fluviogramas dessas duas séries para o período crítico.

Embora a vazão média do período completo obtida nesse novo estudo seja muito próxima à da série atual, a vazão média do período crítico da nova série é inferior em 6,2% à média da série atual. A análise dos gráficos apresentados mostra que as diferenças encontram-se concentradas nos períodos de cheia.

FIGURA 9.4.3.1

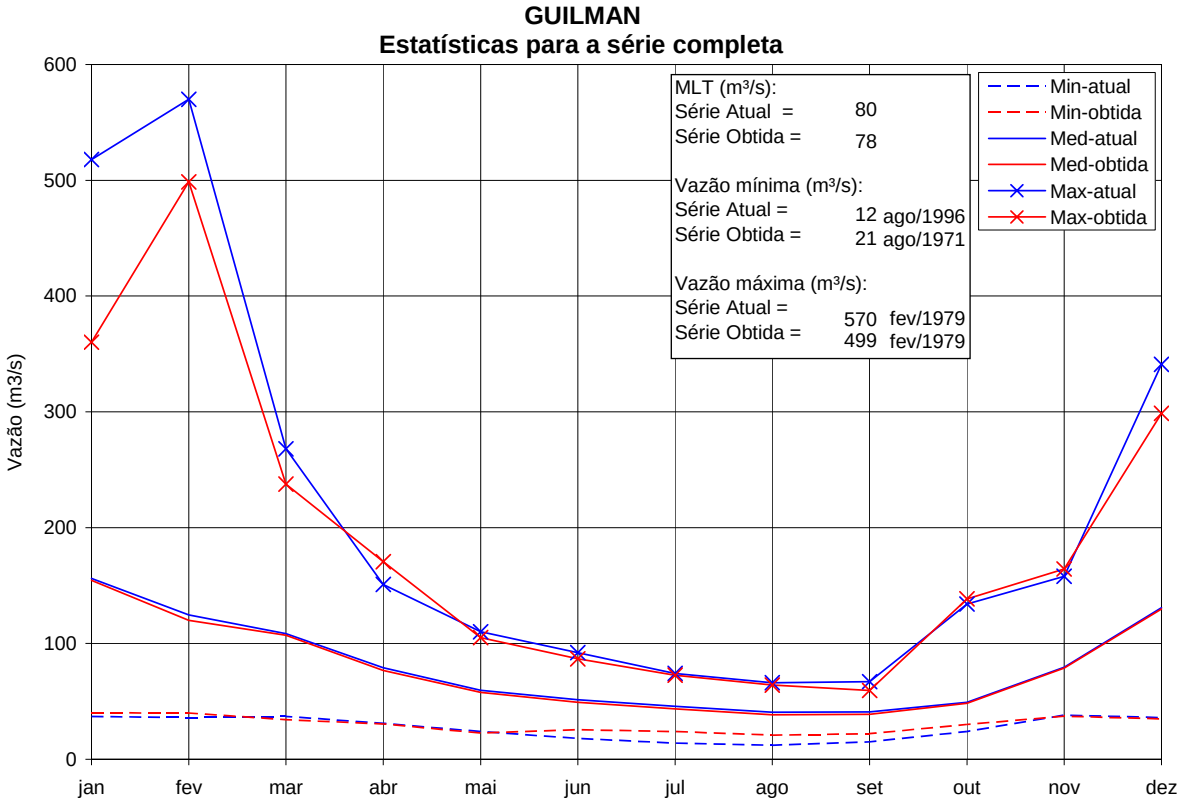
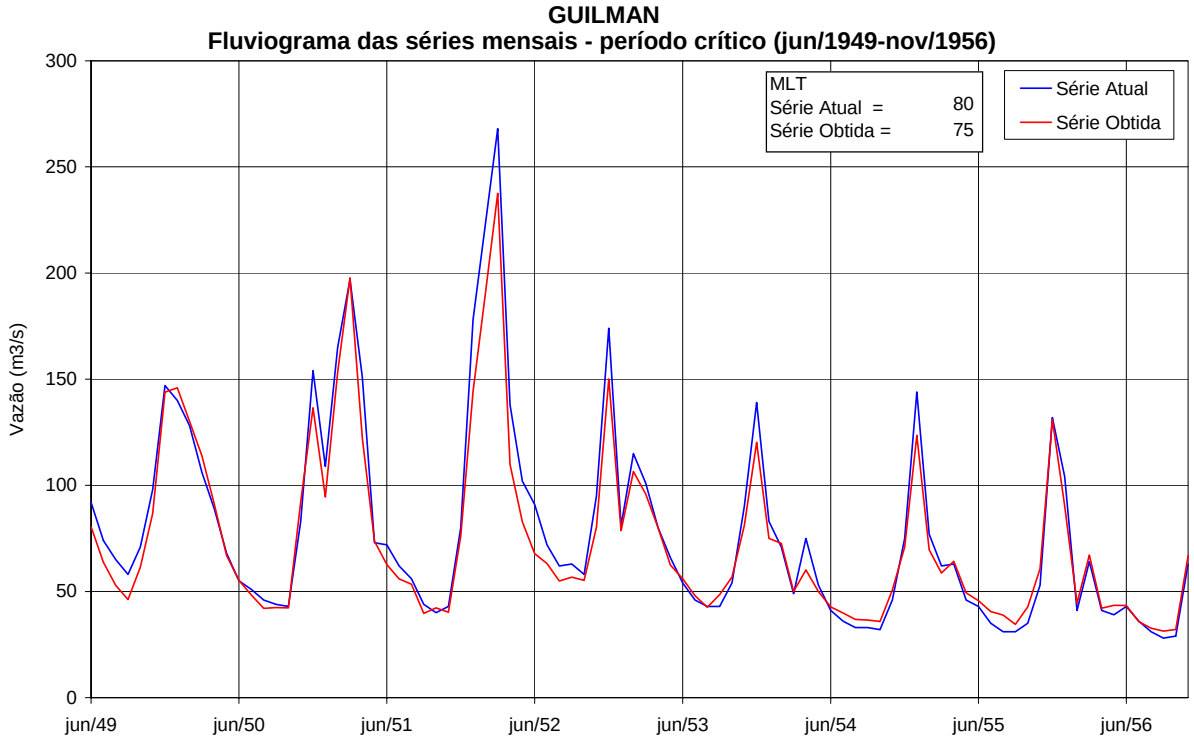


FIGURA 9.4.3.2



As principais estatísticas das séries de vazões diárias da UHE Guilman Amorim (atual e revista) são apresentadas no Quadro 9.4.3.1 a seguir.

QUADRO 9.4.3.1
Estatísticas das Séries de Vazões Diárias

	Série Atual (desde 01/01/1939)		**Série Revista (01/01/1931)**	
	Valor	**Data**	**Valor**	**Data**
Mínima – antes do enchimento	20	19/02/1956	12	06/09/1976
Mínima – período total	20	19/02/1956	12	06/09/1976
Mínima – após o enchimento	22	12/09/2001	20	02/08/2001
Média – antes do enchimento	82		79	
Média – período total	81		78	
Média – após o enchimento	69		70	
Máxima - antes do enchimento	1 343	05/02/1979	1 553	12/12/1948
Máxima - período total	1 343	05/02/1979	1 553	12/12/1948
Máxima - após o enchimento	846	17/01/2003	810	17/01/2003
Desvio Padrão	68		73	
Assimetria	4.05		4.45	

9.4.4. SÉRIE DA UHE SÁ CARVALHO

A Figura 9.4.4.1 apresenta os hidrogramas das vazões médias mensais atuais e revistas e um resumo das estatísticas anuais dessas séries. Já a Figura 9.4.4.2 mostra os fluviogramas dessas duas séries para o período crítico.

Da mesma forma que para a usina anterior, embora a vazão média do período completo obtida nesse novo estudo seja muito próxima à da série atual, a vazão média do período crítico da nova série é inferior em 4,6% à média da série atual. A análise dos gráficos apresentados mostra que as diferenças mais significativas encontram-se concentradas nos períodos de cheia.

FIGURA 9.4.4.1

SÁ CARVALHO
Estatísticas para a série completa

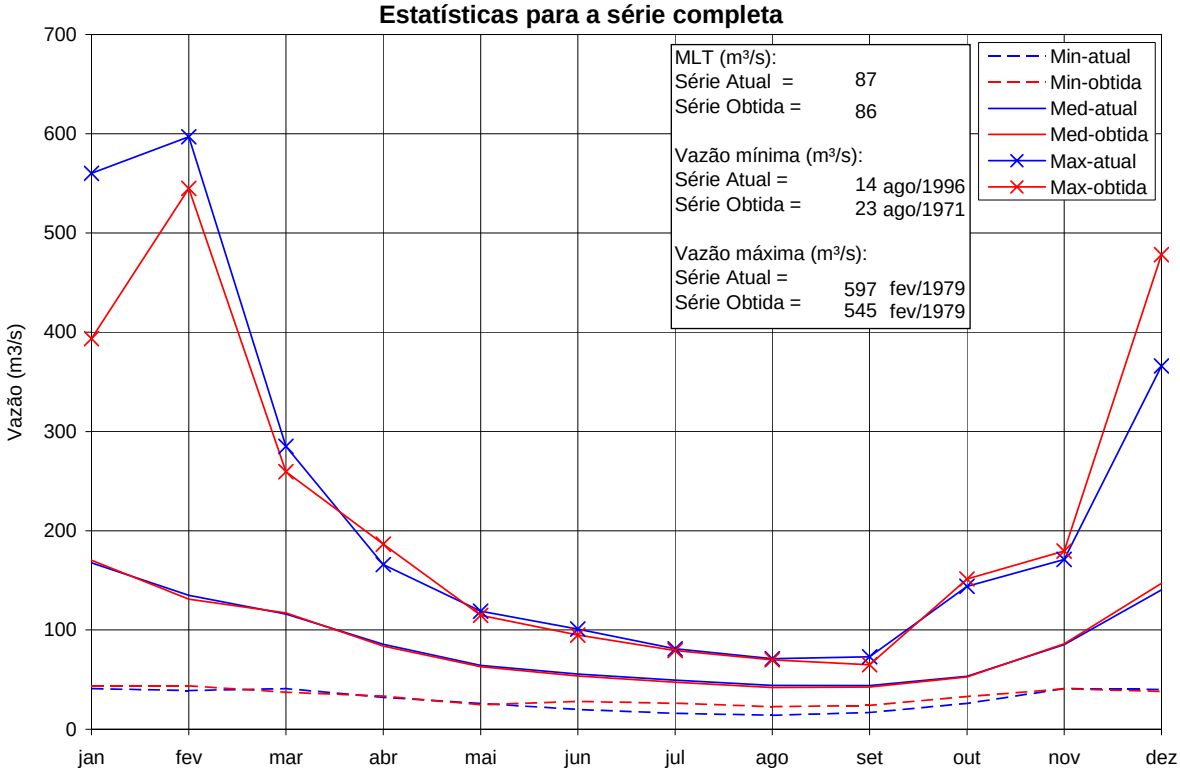
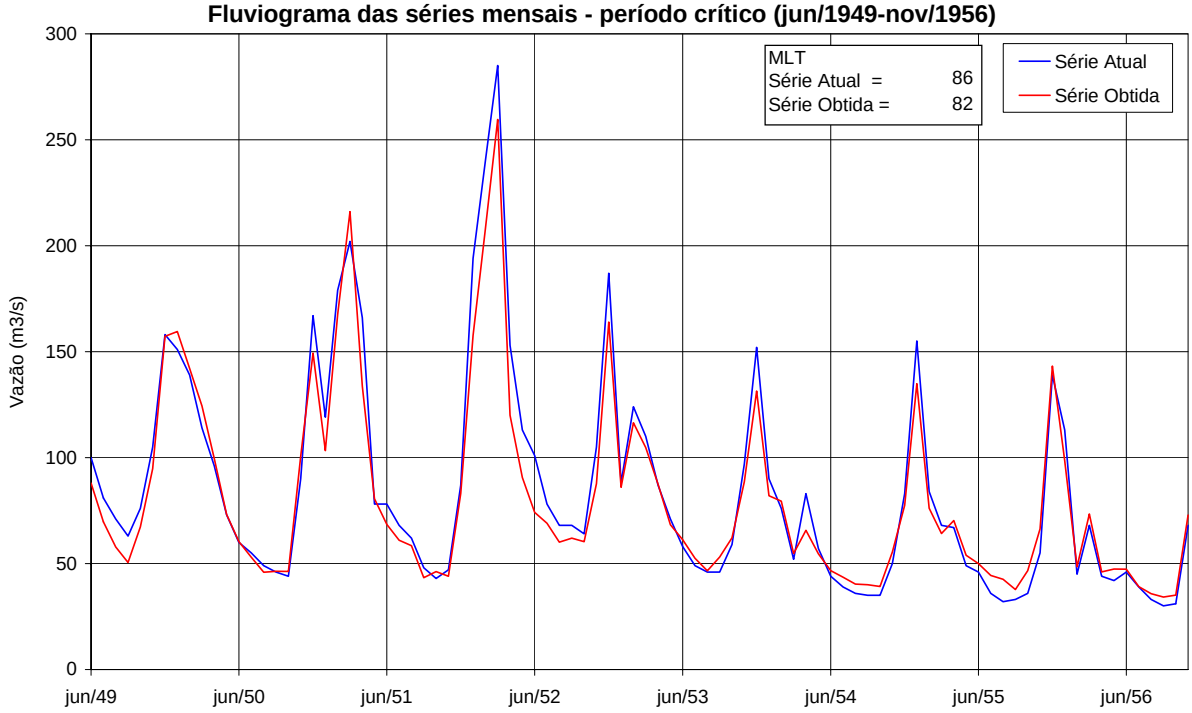


FIGURA 9.4.4.2

SÁ CARVALHO
Fluviograma das séries mensais - período crítico (jun/1949-nov/1956)



As principais estatísticas das séries de vazões diárias da UHE Sá Carvalho (atual e revista) são apresentadas no Quadro 9.4.4.1 a seguir.

QUADRO 9.4.4.1
Estatísticas das Séries de Vazões Diárias

	Série Atual (desde 01/01/1939)		Série Revista (desde 01/01/1931)	
	Valor	**Data**	**Valor**	**Data**
Mínima – antes do enchimento	30	31/08/1940	23	16/09/1940
Mínima – período total	22	03/10/1995	13	06/09/1976
Mínima – após o enchimento	22	03/10/1995	13	06/09/1976
Média – antes do enchimento	105		99	
Média – período total	87		85	
Média – após o enchimento	83		81	
Máxima - antes do enchimento	590	01/01/1943	1 697	12/12/1948
Máxima - período total	1 435	05/02/1979	1 697	12/12/1948
Máxima - após o enchimento	1 435	05/02/1979	1 246	06/01/1997
Desvio Padrão	73		80	
Assimetria	4.00		4.45	

9.4.5. SÉRIE DA UHE SALTO GRANDE

A Figura 9.4.5.1 apresenta os hidrogramas das vazões médias mensais atuais e revistas e um resumo das estatísticas anuais dessas séries. Já a Figura 9.4.5.2 mostra os fluviogramas dessas duas séries para o período crítico.

Foram encontradas diferenças significativas entre a nova série gerada e a série atualmente em uso na UHE Salto Grande. A nova série possui vazões médias superiores, tanto no período completo (9,8%) quanto no período crítico (11,6%).

A análise dos fluviogramas do período crítico mostra que o comportamento das duas séries no início do período (até 1952) é diferente do comportamento exibido a partir de 1953.

As diferenças pronunciadas encontradas no período de 1954-1955 foram investigadas em detalhe e os valores da nova série foram confirmados. Nesse período, a nova série foi obtida a partir de correlação com o posto fluviométrico Ferros, no rio Santo Antônio, ao passo que a série existente empregava o posto Cachoeira Escura, no rio Doce. A nova metodologia é mais adequada, por empregar dados da própria bacia do rio Santo Antonio.

FIGURA 9.4.5.1

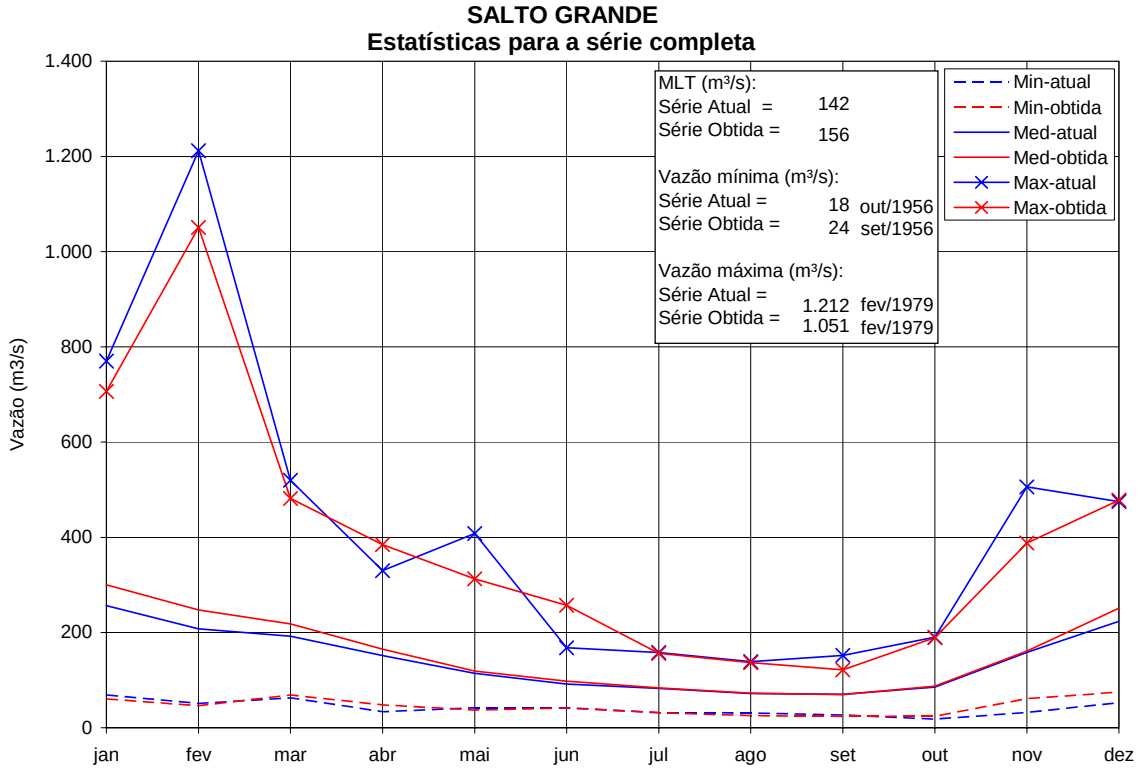
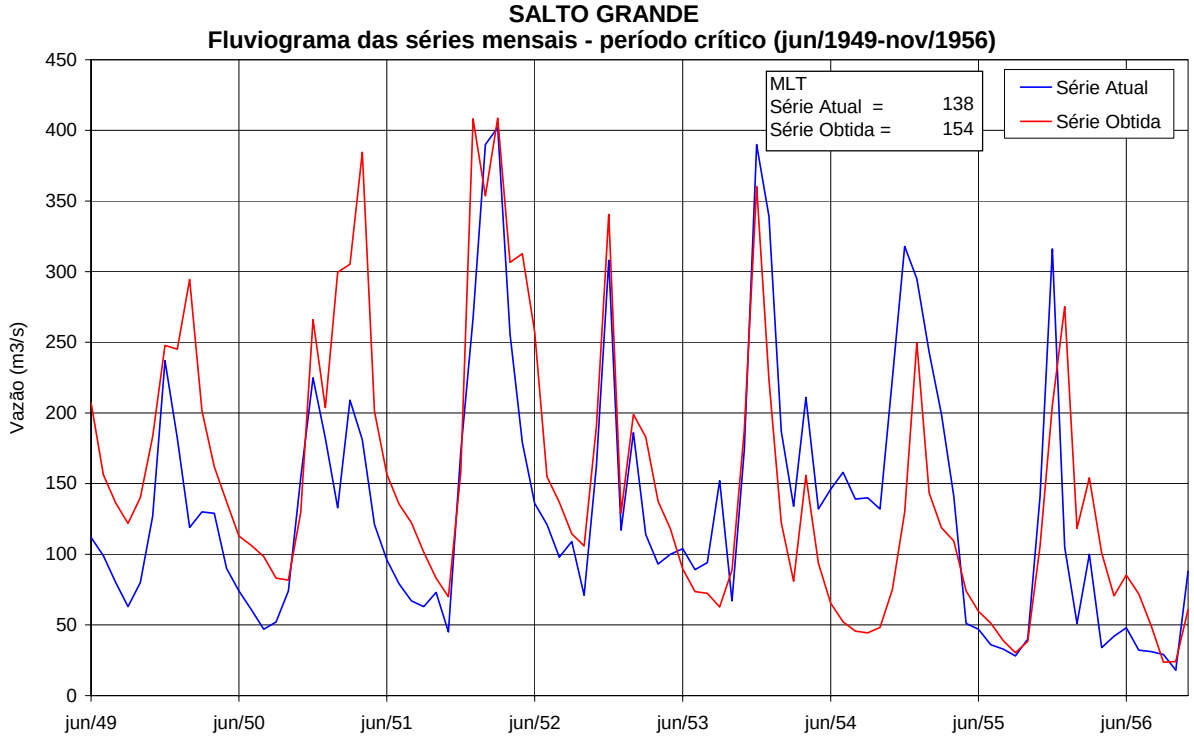


FIGURA 9.4.5.2



As principais estatísticas das séries de vazões diárias da UHE Salto Grande (atual e revista) são apresentadas no Quadro 9.4.5.1 a seguir.

QUADRO 9.4.5.1
Estatísticas das Séries de Vazões Diárias

	Série Atual (desde 01/01/1976)		Série Revista (01/09/1965)	
	Valor	**Data**	**Valor**	**Data**
Mínima – antes do enchimento	-	-	-	-
Mínima – período total	20	22/05/2003	24	21/08/1971
Mínima – após o enchimento	20	22/05/2003	24	21/08/1971
Média – antes do enchimento	-	-	-	-
Média – período total	121		145	
Média – após o enchimento	121		145	
Máxima - antes do enchimento	-	-	-	-
Máxima - período total	1 706	16/01/2003	2 172	02/02/1979
Máxima - após o enchimento	1 706	16/01/2003	2 172	02/02/1979
Desvio Padrão	124		146	
Assimetria	4.04		3.74	

9.4.6. SÉRIE DA UHE PORTO ESTRELA

A Figura 9.4.6.1 apresenta os hidrogramas das vazões médias mensais atuais e revistas e um resumo das estatísticas anuais dessas séries. Já a Figura 9.4.6.2 mostra os fluviogramas dessas duas séries para o período crítico.

Foram encontradas diferenças significativas entre a nova série gerada e a série atualmente em uso na UHE Porto Estrela. A nova série possui vazões médias superiores, tanto no período completo (12,6%) quanto no período crítico (9,3%).

Da mesma forma como ocorrido para Salto Grande, a análise dos fluviogramas do período crítico mostra que o comportamento das duas séries no início do período (até 1952) é diferente do comportamento exibido a partir de 1953.

Do mesmo modo, as diferenças pronunciadas encontradas no período de 1954-1955 foram investigadas em detalhe e os valores da nova série foram confirmados.

FIGURA 9.4.6.1

PORTO ESTRELA
Estatísticas para a série completa

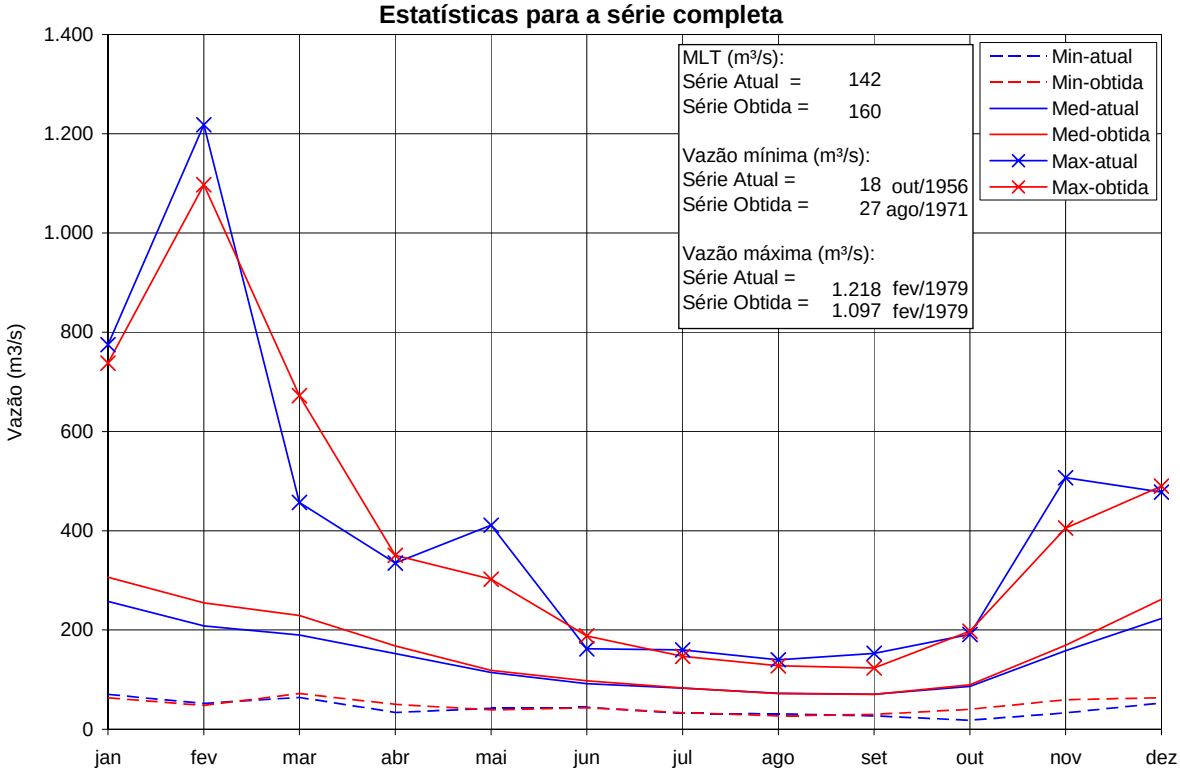
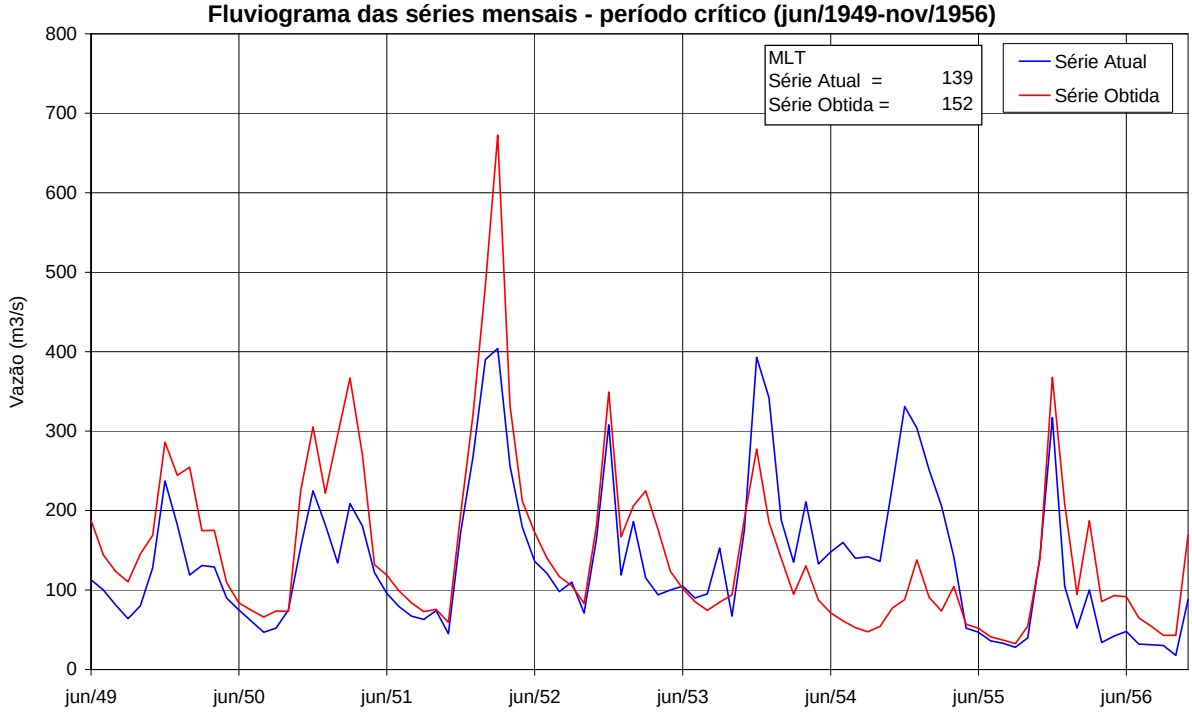


FIGURA 9.4.6.2

PORTO ESTRELA
Fluviograma das séries mensais - período crítico (jun/1949-nov/1956)



As principais estatísticas das séries de vazões diárias da UHE Porto Estrela (atual e revista) são apresentadas no Quadro 9.4.6.1 a seguir.

QUADRO 9.4.6.1
Estatísticas das Séries de Vazões Diárias

	Série Atual (desde 01/01/1939)		Série Revista (desde 01/09/1965)	
	Valor	**Data**	**Valor**	**Data**
Mínima – antes do enchimento	25	20/10/1999	25	21/08/1971
Mínima – período total	25	20/10/2002	25	21/08/1971
Mínima – após o enchimento	25	20/10/2002	29	13/09/2001
Média – antes do enchimento	162		149	
Média – período total	163		152	
Média – após o enchimento	181		173	
Máxima - antes do enchimento	2 350	06/02/1979	2 268	02/02/1979
Máxima - período total	2 350	06/02/1979	2 268	02/02/1979
Máxima - após o enchimento	1 660	16/01/2003	1 618	16/01/2003
Desvio Padrão	68		152	
Assimetria	4.05		3.74	

9.4.7. SÉRIE DA UHE BAGUARI

A Figura 9.4.7.1 apresenta os hidrogramas das vazões médias mensais atuais e revistas e um resumo das estatísticas anuais dessas séries. Já a Figura 9.4.7.2 mostra os fluviogramas dessas duas séries para o período crítico.

Foram encontradas diferenças significativas entre a nova série gerada e a série atualmente em uso na UHE Baguari. A nova série possui vazões médias superiores, tanto no período completo (11,0%) quanto no período crítico (13,1%).

A análise dos fluviogramas do período crítico mostra que essa diferença se concentra antes de 1953, especialmente nos períodos de cheia e recessão.

FIGURA 9.4.7.1

BAGUARÍ
Estatísticas para a série completa

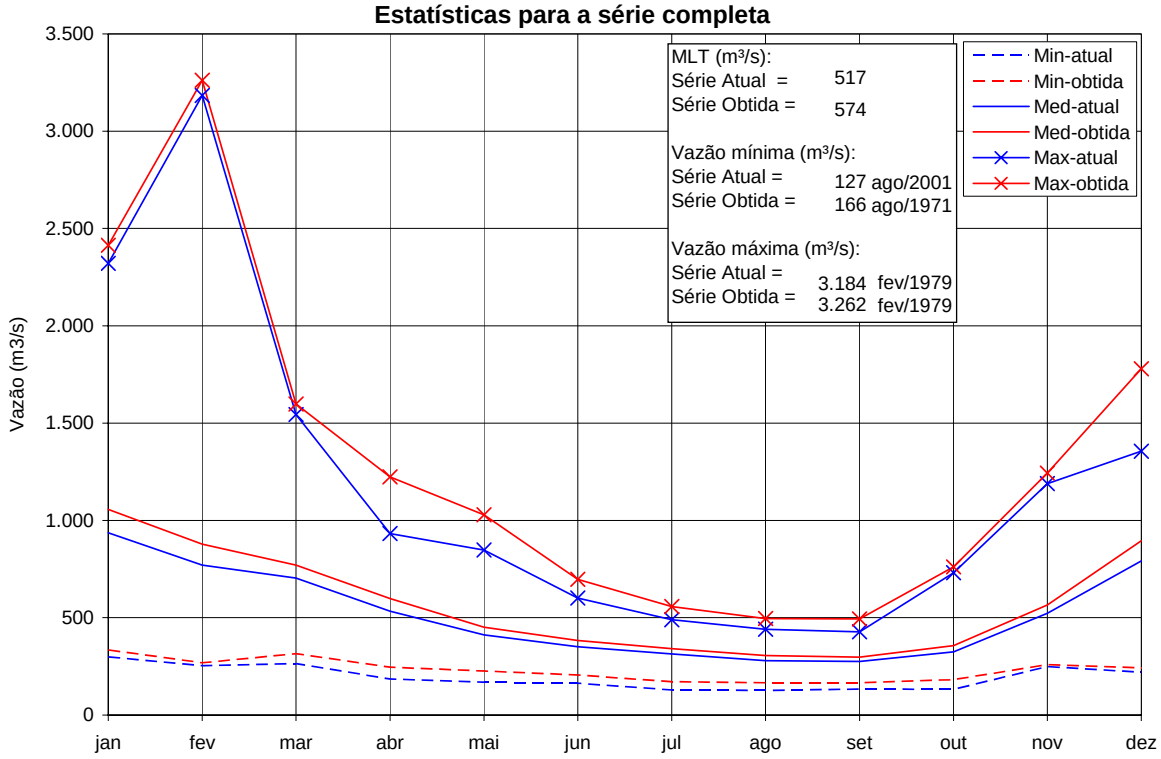
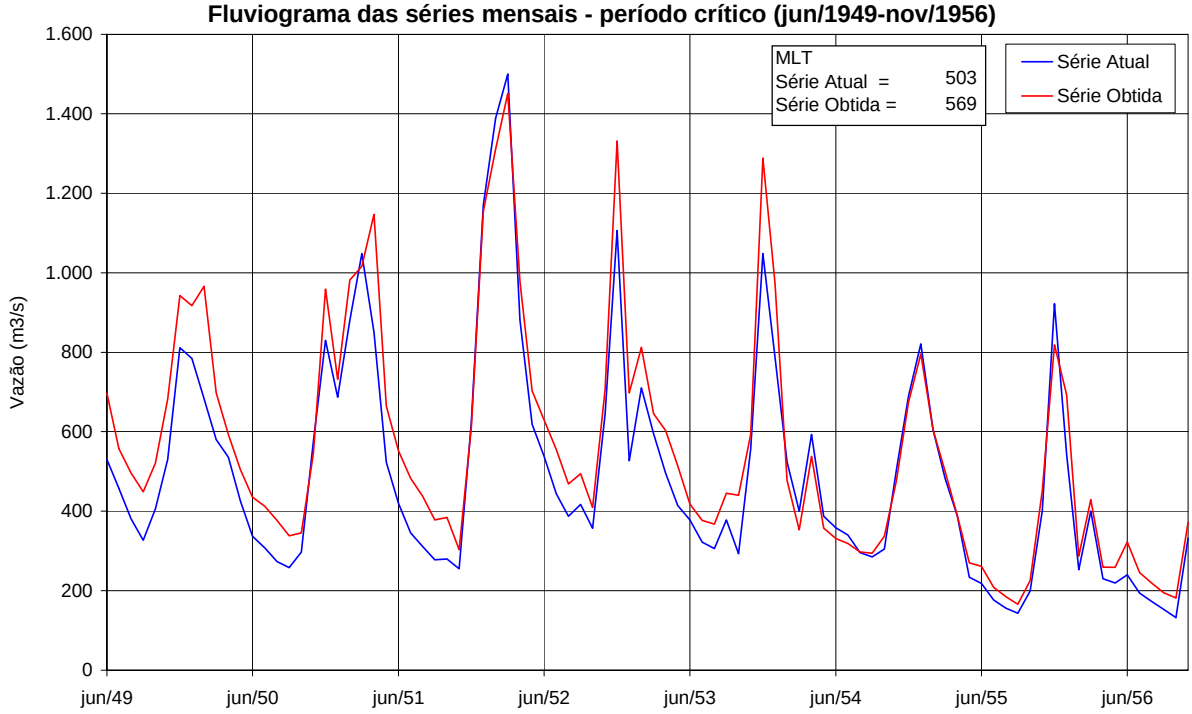


FIGURA 9.4.7.2

BAGUARÍ
Fluviograma das séries mensais - período crítico (jun/1949-nov/1956)



As principais estatísticas das séries de vazões diárias da UHE Baguari (atual e revista) são apresentadas no Quadro 9.4.7.1 a seguir.

QUADRO 9.4.7.1
Estatísticas das Séries de Vazões Diárias

	Série Atual (desde 01/01/1972)		Série Revista (desde 01/07/1969)	
	Valor	**Data**	**Valor**	**Data**
Mínima – antes do enchimento	143	14/09/2001	128	05/09/1971
Mínima – período total	143	14/09/2001	128	05/09/1971
Mínima – após o enchimento	-	-	-	-
Média – antes do enchimento	516		554	
Média – período total	516		554	
Média – após o enchimento	-	-	-	-
Máxima - antes do enchimento	5 423	06/02/1979	6 338	05/01/1997
Máxima - período total	5 423	06/02/1979	6 338	05/01/1997
Máxima - após o enchimento	-	-	-	-
Desvio Padrão	422		438	
Assimetria	3.45		3.37	

9.4.8. SÉRIE DA UHE TRAÍRA II

A Figura 9.4.8.1 apresenta os hidrogramas das vazões médias mensais atuais e revistas e um resumo das estatísticas anuais dessas séries. Já a Figura 9.4.8.2 mostra os fluviogramas dessas duas séries para o período crítico.

A série revista apresentou vazão média de longo termo idêntica à série atualmente em uso. Para o período crítico, foi verificada uma diferença com relação à série revista, apresentando vazões quase 10% superiores à série atual.

A análise dos fluviogramas do período crítico mostra que esta diferença se concentra nos anos de 1949 a 1951.

FIGURA 9.4.8.1

TRAÍRA II
Estatísticas para a série completa

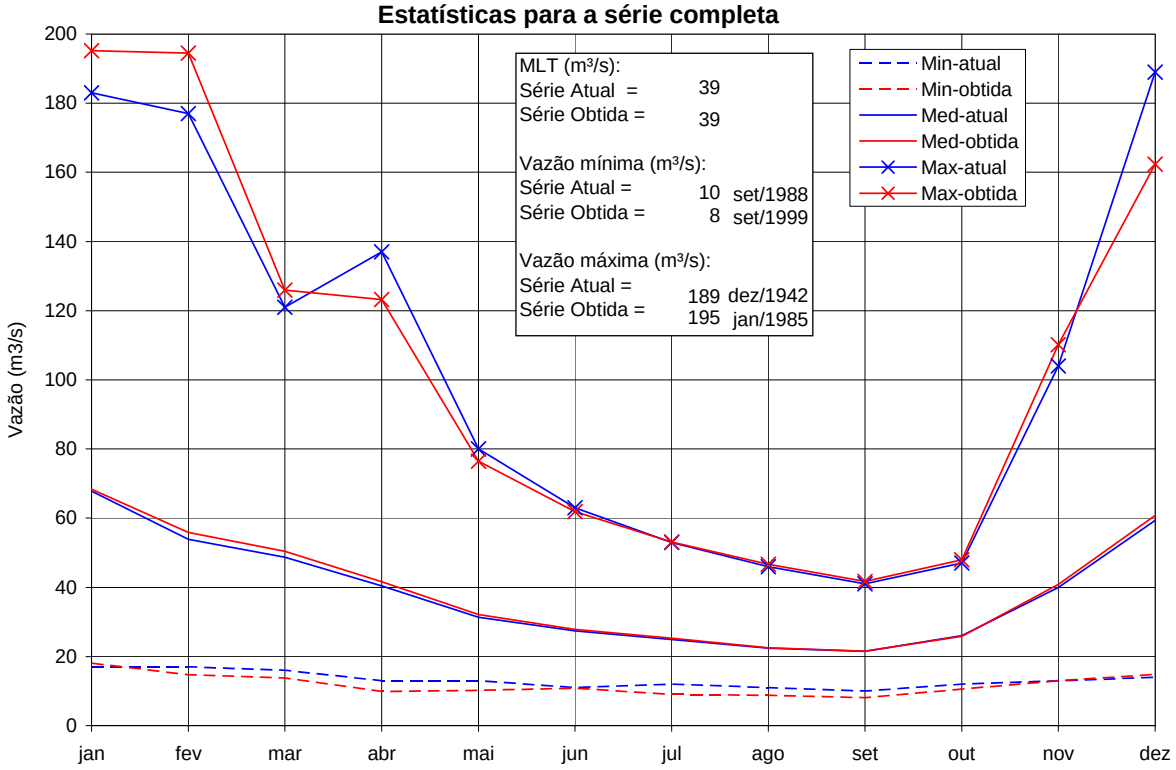
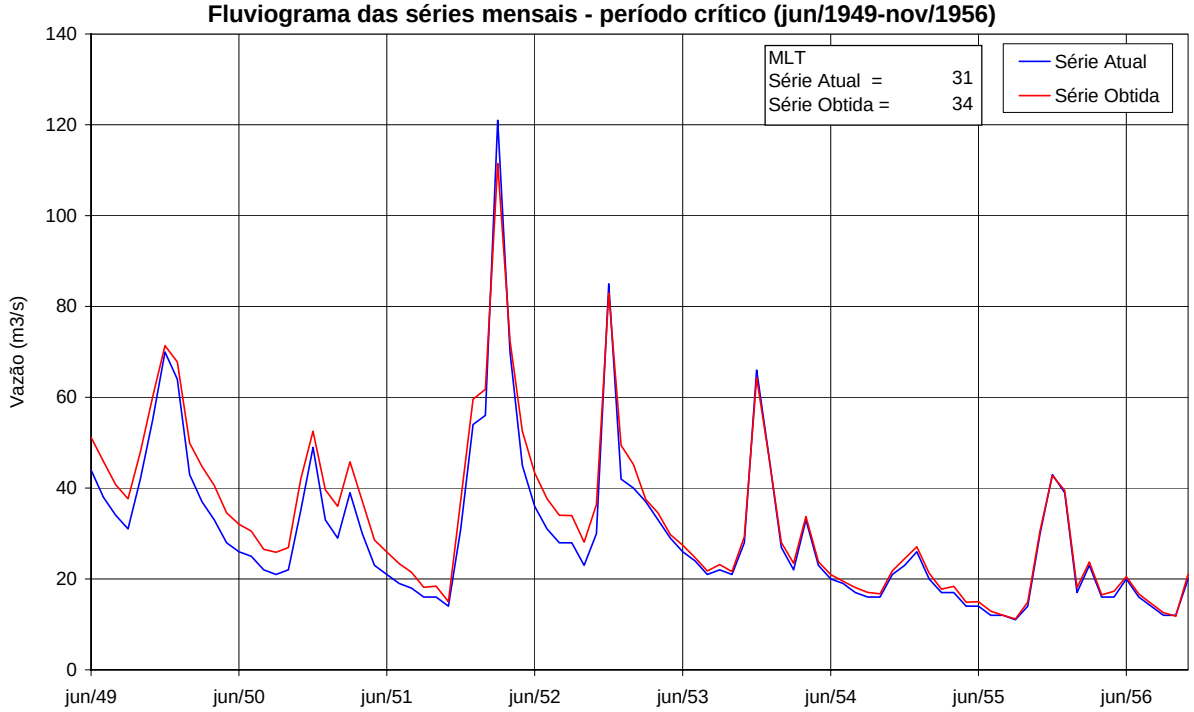


FIGURA 9.4.8.2

TRAÍRA II
Fluviograma das séries mensais - período crítico (jun/1949-nov/1956)



9.4.9. SÉRIE DA UHE AIMORÉS

A Figura 9.4.9.1 apresenta os hidrogramas das vazões médias mensais atuais e revistas e um resumo das estatísticas anuais dessas séries. Já a Figura 9.4.9.2 mostra os fluviogramas dessas duas séries para o período crítico.

Foram encontradas diferenças significativas entre a nova série gerada e a série atualmente em uso na UHE Aimorés. A nova série possui vazões médias superiores, tanto no período completo (11,5%) quanto no período crítico (13,2%).

A análise dos fluviogramas do período crítico mostra que essa diferença se concentra no período anterior a 1954, particularmente nos período de cheias.

FIGURA 9.4.9.1

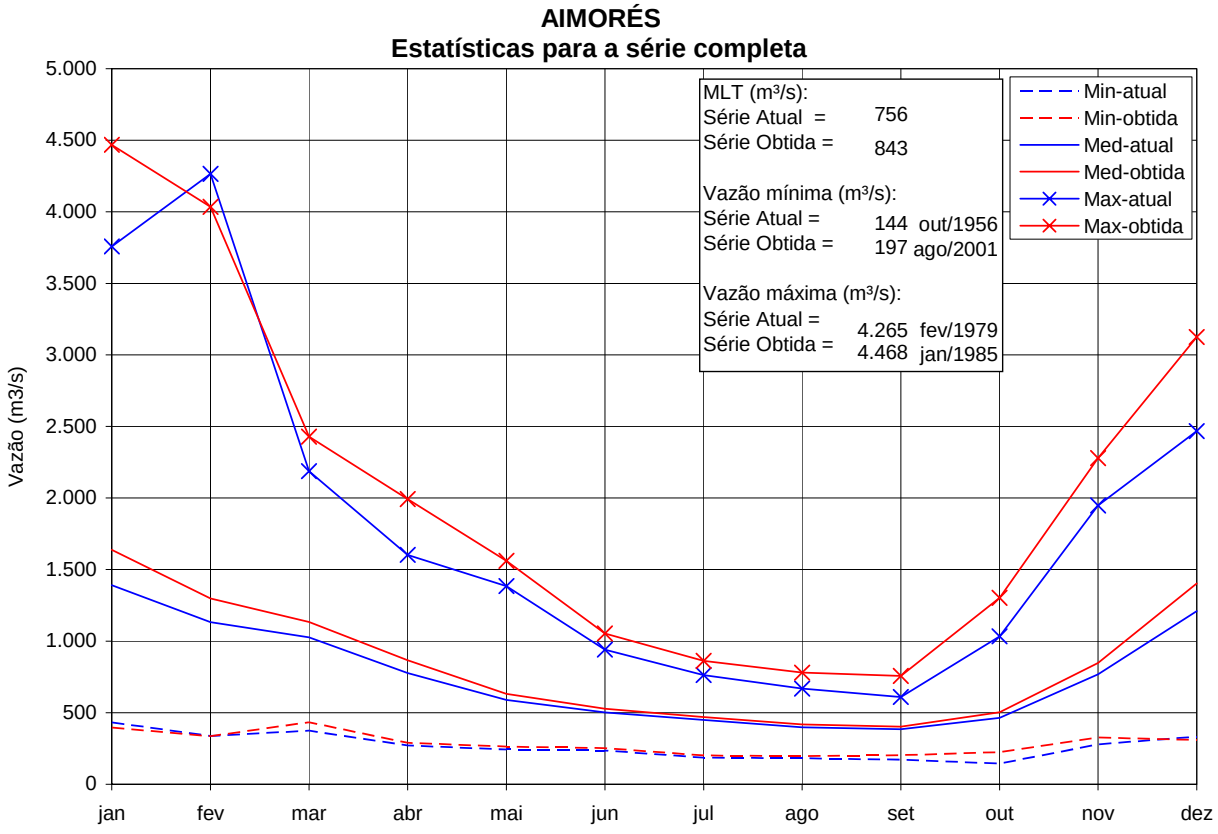
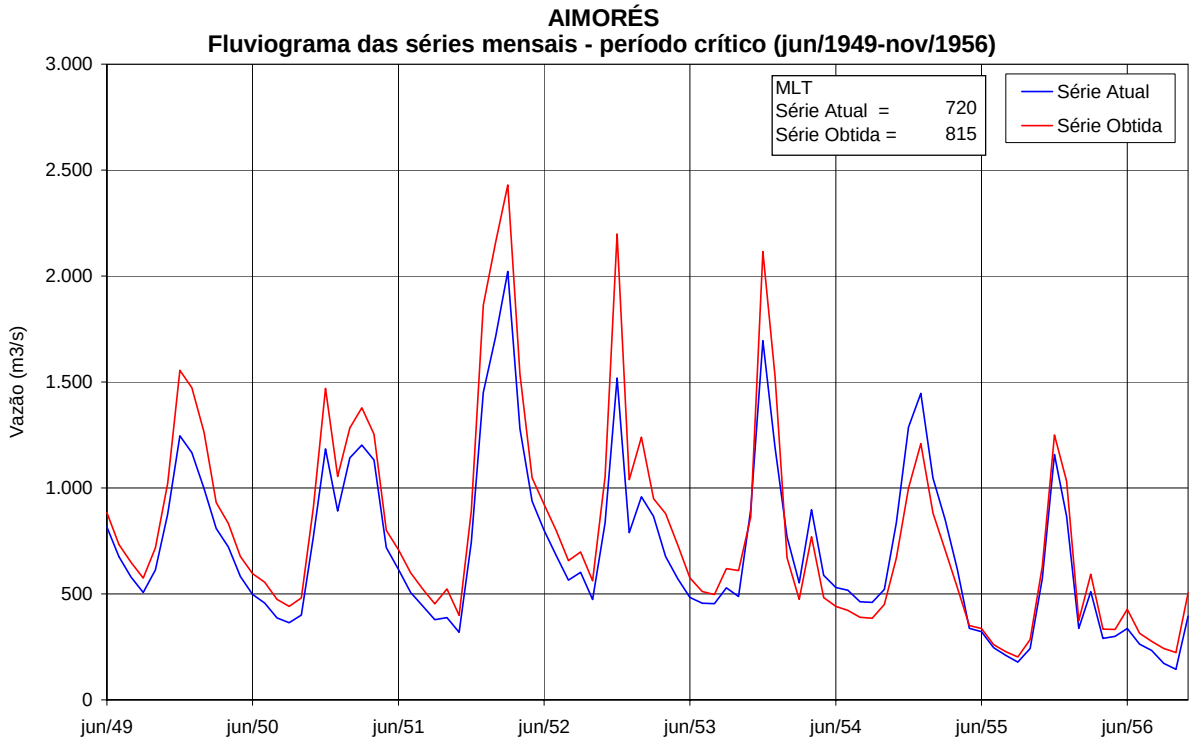


FIGURA 9.4.9.2



As principais estatísticas das séries de vazões diárias da UHE Aimorés (atual e revista) são apresentadas no Quadro 9.4.9.1 a seguir.

QUADRO 9.4.9.1
Estatísticas das Séries de Vazões Diárias

	Série Atual (desde 01/01/1972)		Série Revista (desde 01/02/1938)	
	Valor	**Data**	**Valor**	**Data**
Mínima – antes do enchimento	112	08/11/1972	162	21/07/2001
Mínima – período total	112	08/11/1972	162	21/07/2001
Mínima – após o enchimento	315	24/10/2005	318	29/10/2005
Média – antes do enchimento	729		827	
Média – período total	732		827	
Média – após o enchimento	965		763	
Máxima - antes do enchimento	7 791	08/01/1997	9 852	25/12/1943
Máxima - período total	7 791	08/01/1997	9 852	25/12/1943
Máxima - após o enchimento	3 218	17/12/2005	3 572	17/12/2005
Desvio Padrão	604		673	
Assimetria	2.93		2.81	

9.4.10. SÉRIE DA UHE MASCARENHAS

A Figura 9.4.10.1 apresenta os hidrogramas das vazões médias mensais atuais e revistas e um resumo das estatísticas anuais dessas séries. Já a Figura 9.4.10.2 mostra os fluviogramas dessas duas séries para o período crítico.

Da mesma forma que para a UHE Aimorés, a montante, foram encontradas diferenças significativas entre a nova série gerada e a série atualmente em uso na UHE Mascarenhas. A nova série possui vazões médias superiores, tanto no período completo (9,0%) quanto no período crítico (10,8%).

A análise dos fluviogramas do período crítico mostra que essa diferença se concentra no período anterior a 1954, particularmente nos período de cheias.

FIGURA 9.4.10.1

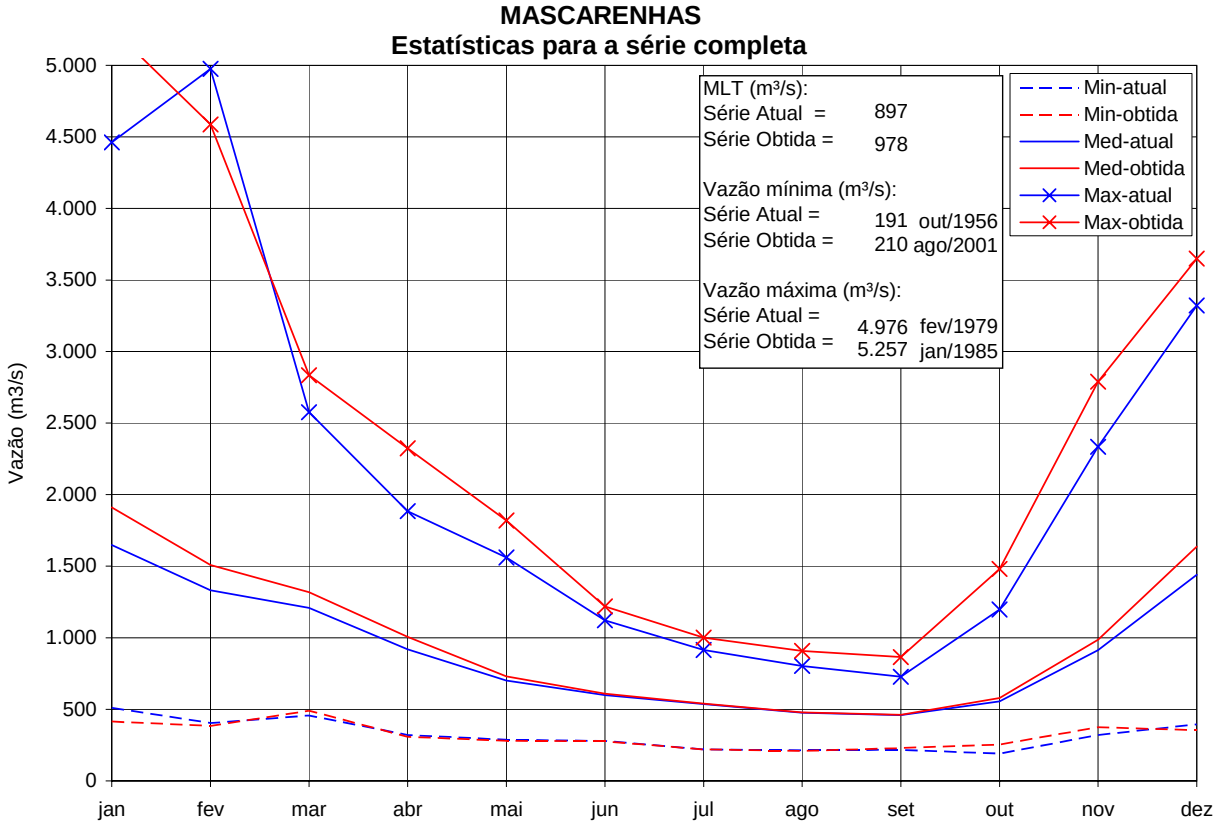
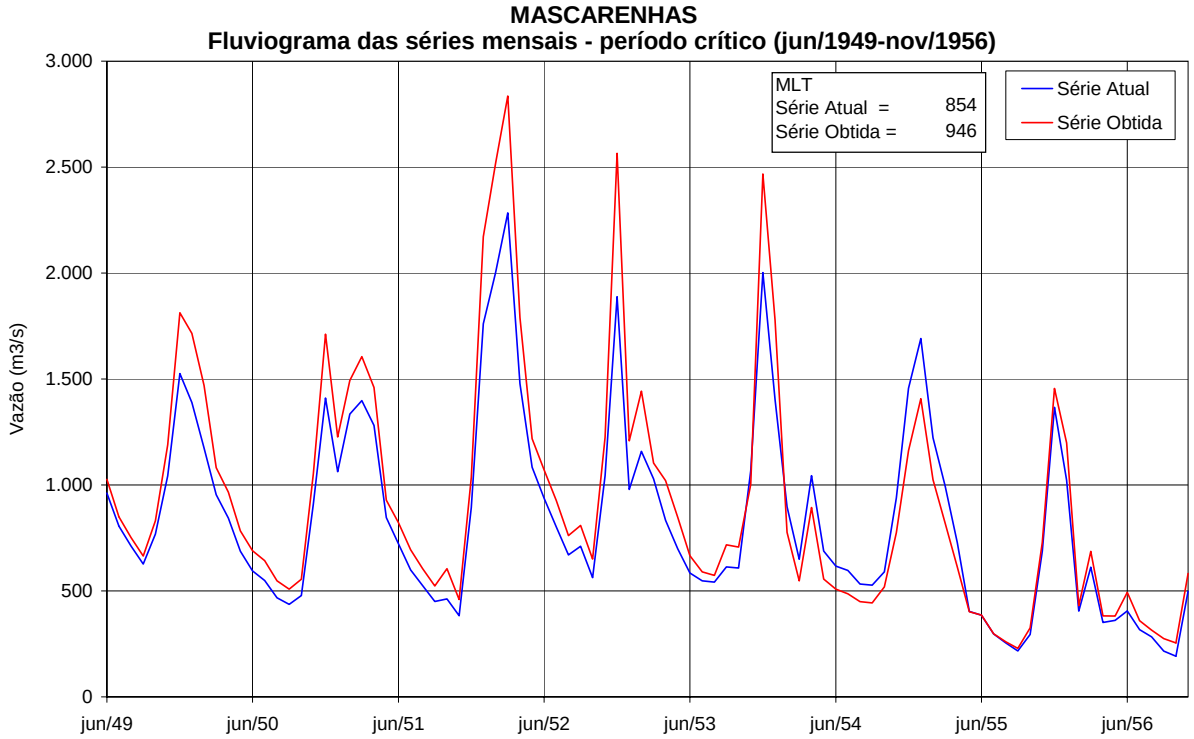


FIGURA 9.4.10.2



As principais estatísticas das séries de vazões diárias da UHE Mascarenhas (atual e revista) são apresentadas no Quadro 9.4.10.1 a seguir.

QUADRO 9.4.10.1
Estatísticas das Séries de Vazões Diárias

	Série Atual (desde 01/01/1939)		Série Revista (desde 01/02/1938)	
	Valor	**Data**	**Valor**	**Data**
Mínima – antes do enchimento	185	24/10/1956	209	28/09/1955
Mínima – período total	175	15/07/2001	183	13/09/2001
Mínima – após o enchimento	175	15/07/2001	183	13/09/2001
Média – antes do enchimento	937		961	
Média – período total	897		958	
Média – após o enchimento	855		955	
Máxima - antes do enchimento	6 166	30/01/1961	11 086	25/12/1943
Máxima - período total	12 659	05/02/1979	11 086	25/12/1943
Máxima - após o enchimento	12 659	05/02/1979	9 259	06/01/1997
Desvio Padrão	703		784	
Assimetria	2.75		2.72	

9.5. AVALIAÇÃO FINAL

Com o objetivo de condensar a análise comparativa entre as séries atuais e as séries revistas, produzidas no decorrer desse trabalho, foram elaborados gráficos de vazões médias em função da área de drenagem, por bacia hidrográfica, considerando o período completo e o período crítico do SIN. Estes gráficos evidenciam as principais diferenças já comentadas nos textos anteriores e eventualmente sinalizam o motivo das mesmas.

O Quadro 9.5.1 apresenta um resumo das vazões médias calculadas para todas as usinas estudadas, considerando o período completo e o período crítico. Indica também as áreas de drenagem dos diversos aproveitamentos, de forma a facilitar a localização dos pontos nos gráficos.

As Figuras 9.5.1 e 9.5.2 apresentam, para a bacia do rio Parnaíba, os gráficos de vazões médias de longo termo e de vazões médias do período crítico, respectivamente.

Da mesma forma, as Figuras 9.5.3 e 9.5.4 referem-se à bacia do rio Jequitinhonha e as Figuras 9.5.5 e 9.5.6 referem-se à bacia do rio Doce.

Na bacia do rio Parnaíba, observa-se uma tendência constante, a partir da UHE Boa Esperança, enquanto que a UHE Ribeiro Gonçalves apresenta vazões médias relativamente inferiores às demais. Esta diferença é explicada pelo regime pluvial, pois a bacia do rio das Balsas apresenta índices superiores aos da bacia do Alto Parnaíba. Na série atual, a UHE Uruçuí acompanha a tendência da UHE Boa Esperança, enquanto que na série revista nota-se nessa usina os efeitos da metodologia adotada, que empregou interpolação.

Na bacia do rio Jequitinhonha, na qual todos os aproveitamentos situam-se ao longo do rio principal, nota-se uma tendência muito bem definida, tanto na série atual quanto na série revista. As duas séries apresentam resultados muito próximos.

Na bacia do rio Doce destaca-se o comportamento diferenciado do rio Suaçuí Grande, onde se situa a UHE Traíra II, com menor produção hídrica, explicada pela menor pluviosidade da bacia do rio Suaçuí Grande (e demais afluentes da margem esquerda do rio Doce a jusante do rio Santo Antonio). Nas demais sub-bacias, os gráficos indicam uma tendência mais homogênea. É importante ressaltar que a série revista apresenta vazões superiores às da série atual a partir da contribuição da sub-bacia do rio Santo Antônio. As maiores diferenças concentram-se na UHE Porto Estrela e na UHE Baguari, reduzindo-se para jusante.

QUADRO 9.5.1
VAZÕES MÉDIAS NAS USINAS EM ESTUDO

Aproveitamento	Área	VAZÃO MLT		VAZÃO PERÍODO CRÍTICO	
		Série Atual	Série Revista	Série Atual	Série Revista
BACIA DO RIO PARNAÍBA					
Ribeiro Gonçalves	30919	215	228	195	201
Uruçuí	77195	437	428	381	357
Boa Esperança	84746	443	464	384	383
Cachoeira	140231	483	499	407	407
Estreito	151406	493	506	412	412
Castelhano	233816	555	559	447	449
BACIA DO RIO JEQUITINHONHA					
Irapé	15880	149	153	131	130
Murta	23493	180	181	154	151
Itapebí	67884	382	391	320	324
BACIA DO RIO DOCE					
Baú	8945	157	152	157	151
Candonga	9007	154	153	154	152
Guilman Amorim	4036	80	78	80	75
Sá Carvalho	4410	87	86	86	82
Salto Grande	9012	142	156	138	154
Porto Estrela	9508	142	160	139	152
Baguari	38311	517	574	503	569
Traíra II	3592	39	39	31	34
Aimorés	62437	756	843	720	815
Mascarenhas	73708	897	978	854	946

FIGURA 9.5.1

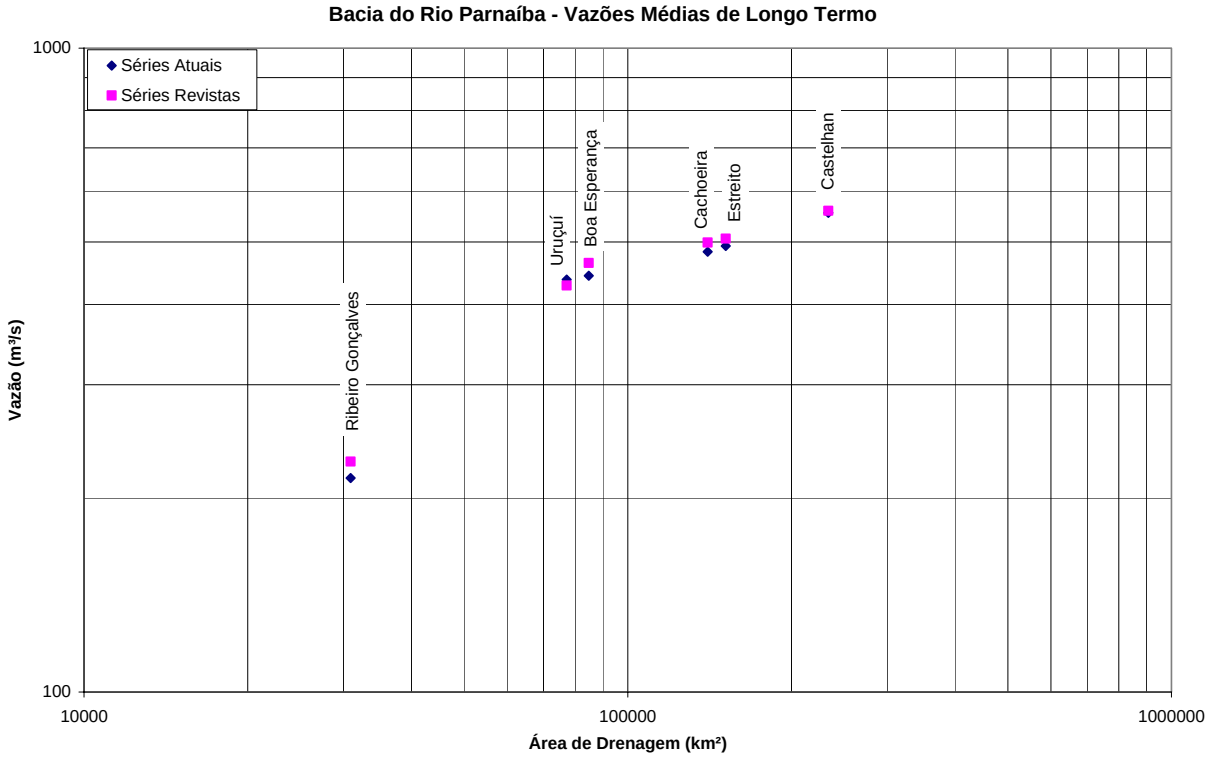


FIGURA 9.5.2

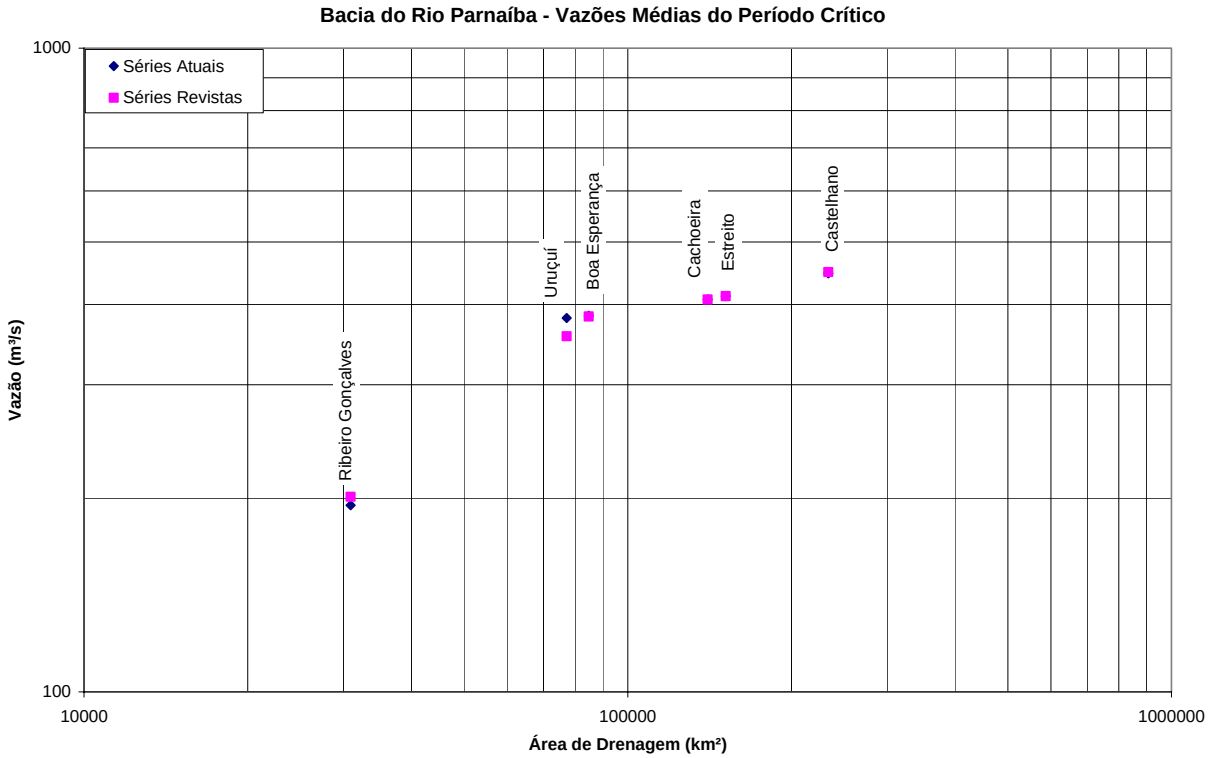


FIGURA 9.5.3

Bacia do Rio Jequitinhonha - Vazões Médias de Longo Termo

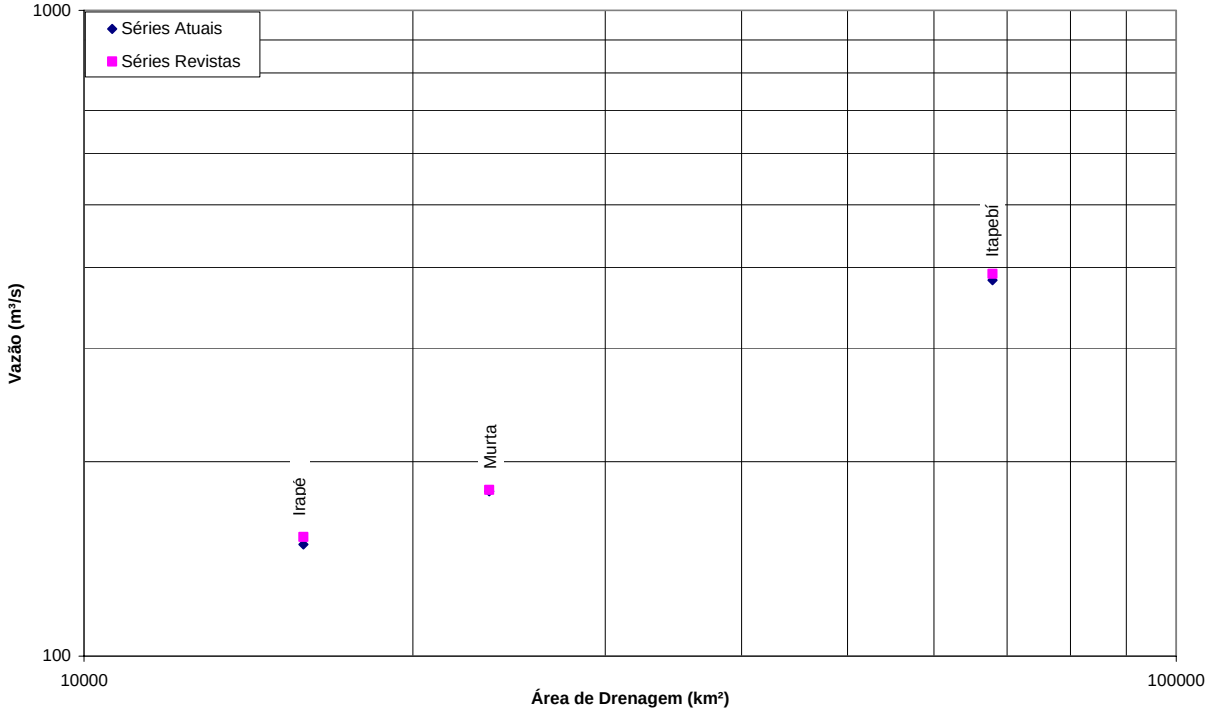


FIGURA 9.5.4

Bacia do Rio Jequitinhonha - Vazões Médias do Período Crítico

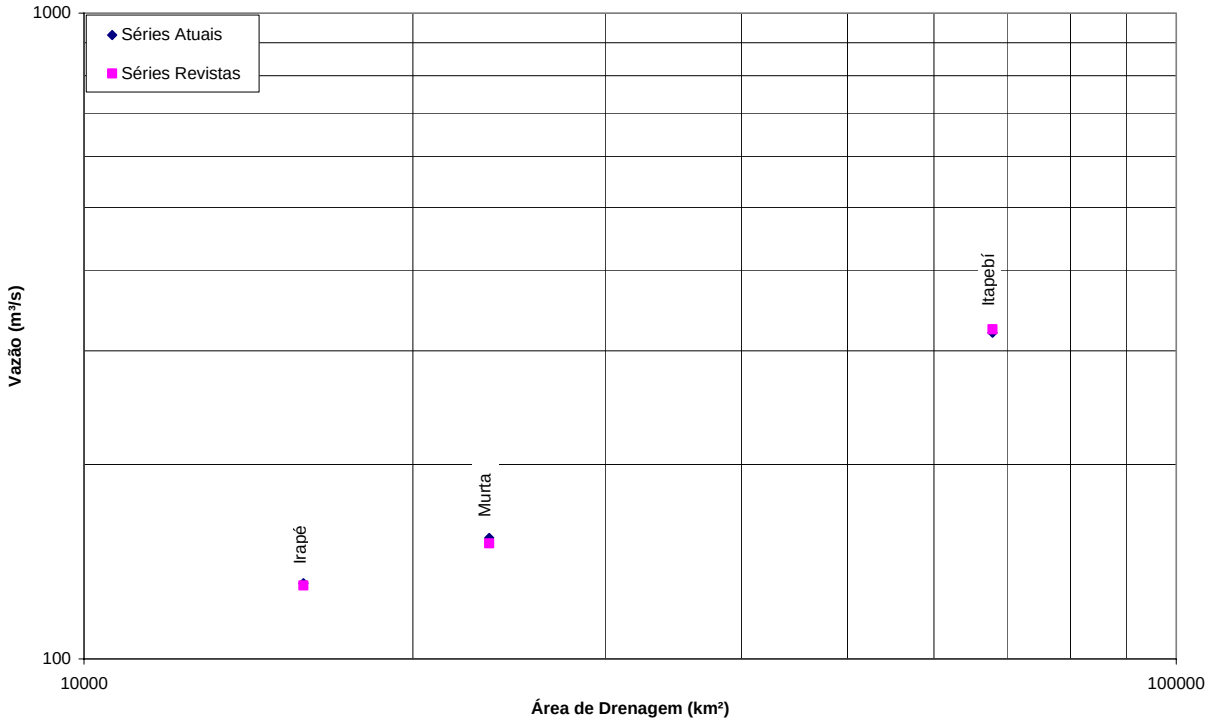


FIGURA 9.5.5

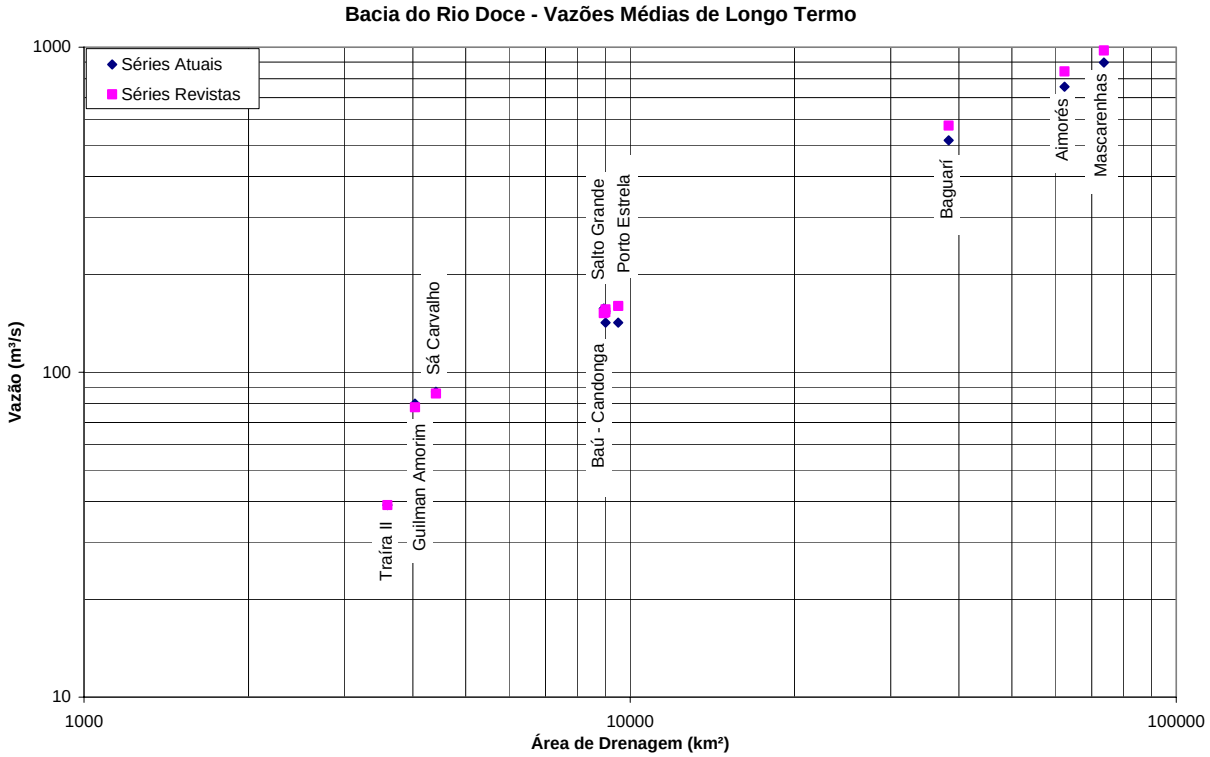
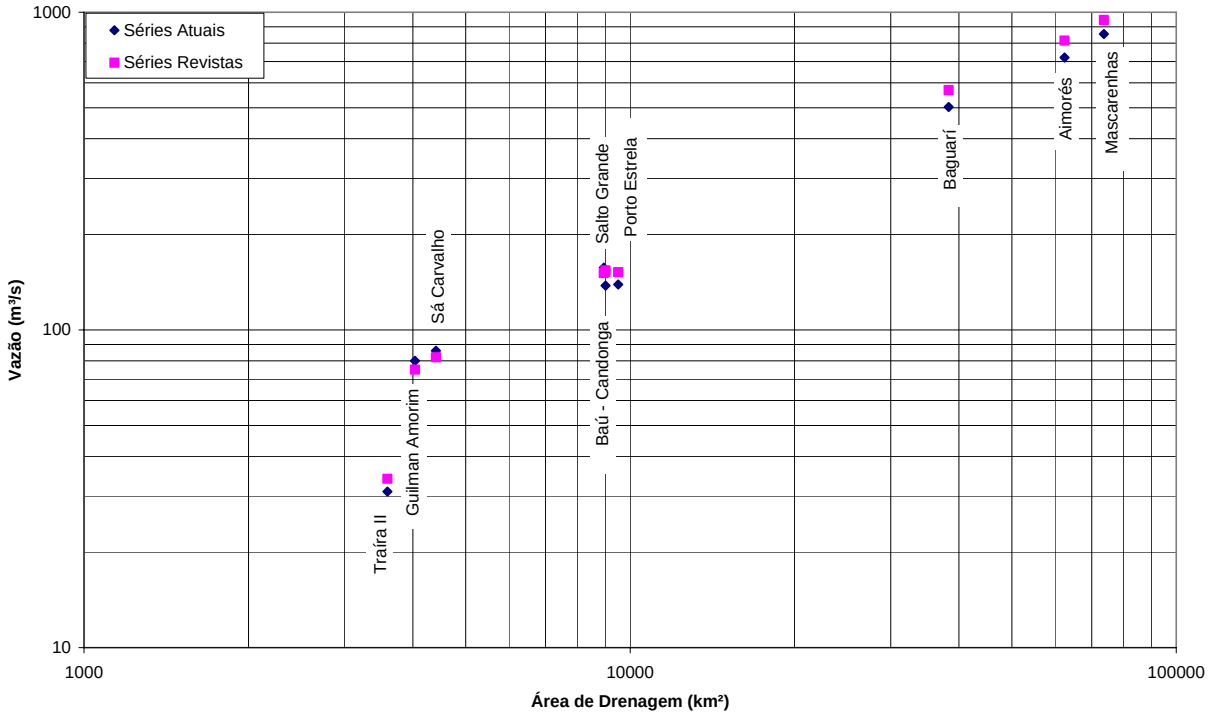


FIGURA 9.5.6



10. COMPLEMENTAÇÃO DA REDE HIDROMÉTRICA

A partir da complementação da rede hidrométrica existente nas bacias dos rios Parnaíba, Jequitinhonha e Doce, foram definidos os locais considerados mais adequados para instalação de novas estações. Isto deverá contribuir para a melhoria do controle das afluências e da representatividade das estações utilizadas como referência para modulação das vazões médias diárias.

Cabe lembrar que durante os estudos de reconstituição das vazões naturais nas bacias dos rios Parnaíba, Jequitinhonha e Doce, um dos principais obstáculos encontrados foi a obtenção de dados de estações fluviométricas que controlassem um percentual significativo de cada bacia incremental, para cada uma das usinas em operação.

Outro aspecto que deve ser destacado é a deficiência na qualidade e na disponibilidade dos registros das estações selecionadas ao longo do tempo.

De acordo com as necessidades verificadas ao longo dos presentes estudos, pôde-se definir uma ordem de prioridade para instalação dos postos sugeridos no presente capítulo. Esta prioridade, de acordo com cada bacia, está indicada mais adiante.

Os Quadros 10.1 a 10.3 apresentam as estações propostas para complementação da rede hidrométrica de cada uma das três bacias estudadas. Essas estações foram codificadas de acordo com a posição da futura estação na bacia.

A maioria das estações propostas está localizada em pontos de cursos d'água afluentes próximos ao seu desemboque nos rios principais e/ou próximos à entrada dos reservatórios das usinas. Para garantir a qualidade das informações hidrométricas é fundamental verificar os locais para instalação das estações, de modo que estejam livres da influência dos remansos provocados pelos níveis d'água altos, durante as cheias, nos reservatórios e rios principais.

10.1. BACIA DO RIO PARNAÍBA

Para a bacia do rio Parnaíba, foram identificados 3 locais onde a instalação de novas estações fluviométricas se faz necessária. Em alguns casos, as estações propostas estão localizadas em rios da bacia que não possuem nenhuma estação, em outros casos, elas estão situadas em rios que já possuem estações, mas que não estão localizadas de forma adequada para o controle da afluência e das áreas incrementais às usinas. Todas as 3 estações indicadas a seguir possuem o mesmo nível de prioridade.

Com relação à UHE Ribeiro Gonçalves, sua área incremental é controlada em 80,9% pelo posto de Fazenda Paracati II. A princípio, considerou-se este valor relativamente baixo. No entanto, analisando-se a localização deste posto no próprio rio Parnaíba e a

ausência de afluente entre o posto e o eixo da usina, optou-se por mantê-lo como responsável por este controle, visto que, caso fosse sugerido outro posto, localizado mais a jusante, ele poderia sofrer influência do remanso do futuro reservatório ou até mesmo ficar afogado.

A seguir, são listadas as estações sugeridas a serem instaladas na bacia do rio Parnaíba.

- Estação 1P

  Localizada no rio Itaueiras, afluente da margem direita do rio Parnaíba, deve estar situada a jusante da estação já existente Itaueira (34350000), mais próxima da foz do rio, de forma a controlar uma área de drenagem maior. Deve-se tomar cuidado para que a mesma seja instalada em um local livre da influência do remanso presente na foz do rio.

- Estação 2P

  Localizada no rio Canindé, afluente da margem direita do rio Parnaíba, deve estar situada a jusante da estação Francisco Ayres (34600000) que, apesar de controlar uma significativa área de drenagem da bacia do rio Canindé, apresenta uma série histórica de vazões muito inconsistente. Sendo assim, optou-se por recomendar a instalação de uma outra estação neste rio, buscando melhorar a qualidade dos dados observados e, ainda, aumentar a área controlada.

- Estação 3P

  Localizada no rio Riachão, afluente da margem esquerda do rio Parnaíba, esta estação deve estar situada o mais próximo possível da foz do referido rio, sendo responsável pelo controle de uma maior área de drenagem. Deve-se tomar cuidado como a influência do remanso presente na foz do rio.

Além das estações novas sugeridas para a bacia do rio Parnaíba, é importante observar que, após o início da operação da UHE Uruçuí, ou seja, do enchimento de seu reservatório, pode ser necessária a reinstalação de outras estações. Isto ocorrerá caso o reservatório desta usina afogue, ou passe a influenciar, as estações que são utilizadas, atualmente, para controlar a incremental: Fazenda Bandeira e São Felix das Balsas.

10.2. BACIA DO RIO JEQUITINHONHA

Na bacia do rio Jequitinhonha foram indicadas 6 novas estações fluviométricas, conforme listado a seguir. Com a instalação dessas novas estações, pretende-se suprir deficiências verificadas ao longo do presente estudo de reconstituição de vazões naturais. As estações 3J, 4J e 5J, no entanto, devem ser consideradas prioritárias com relação às demais indicadas, devido à extrema deficiência da rede atual nestes locais.

- Estação 1J

  Localizada no rio Jequitinhonha, deve estar situada a jusante da estação Vila Terra Branca - Jusante (54010005), de tal forma que seja responsável por controlar uma área incremental até Irapé maior do que a atualmente controlada pela estação existente. Deve-se ter precaução para que a instalação da nova estação se dê em local livre da influência do reservatório da própria usina.

- Estação 2J

  Localizada no rio Itacambiruçu, afluente da margem esquerda do rio Jequitinhonha, deve estar situada a jusante da estação Grão Mogol (54110002), mais próxima à foz do rio. Com isso, será possível ter um maior controle sobre a área de contribuição afluente até Irapé.

- Estação 3J

  Localizada no rio Vacaria, afluente da margem esquerda do rio Jequitinhonha, deve estar situada a jusante da estação Ponte Vacaria (54165000), mais próxima à foz do rio. Com isso, será possível ter um maior controle sobre a área incremental até Murta.

- Estação 4J

  Localizada no rio Salinas, que é afluente da margem esquerda do rio Jequitinhonha, deve estar situada o mais próximo possível da foz do rio, sendo responsável pelo controle de uma maior área de drenagem. Esta estação irá suprir a ausência de controle de vazões no rio Salinas, um importante afluente do rio Jequitinhonha.

- Estação 5J

  Localizada no ribeirão do Salto, afluente da margem esquerda do rio Jequitinhonha, deve estar situada o mais próximo possível da foz do rio, sendo responsável pelo controle de uma maior área de drenagem. Na incremental até Itapebi, o ribeirão do Salto é o maior contribuinte localizado a jusante da estação de Jacinto (54780000). A nova estação irá suprir a ausência de controle neste afluente, aumentando a área de drenagem incremental controlada e auxiliando na realização das modulações desejadas.

  Uma observação pertinente à instalação das estações indicadas em afluentes do rio Jequitinhonha diz respeito aos cuidados na definição de seu local, visto que, apesar de ser interessante o posicionamento destas estações nas proximidades da foz, de tal forma que elas controlem a maior área de drenagem possível, deve-se impedir que elas fiquem sob a influência do efeito de remanso na foz.

10.3. BACIA DO RIO DOCE

Ao longo da bacia do rio Doce, foram identificados 12 locais nos quais é necessária a instalação de uma nova estação fluviométrica, seja por ausência de qualquer estação no afluente ou para aumentar a área de drenagem a ser controlada. De todas as estações indicadas, 7D, 10D e 12D são consideradas como de maior prioridade diante das demais. A seguir serão listadas e descritas, sucintamente, estas novas estações.

– Estação 1D

Localizada no rio da Prata, afluente da margem direita do rio Piracicaba, deve estar situada o mais próximo possível da foz do rio, ficando responsável pelo controle de uma área de drenagem maior. Esta estação irá suprir a ausência de controle no rio da Prata, um importante afluente do rio Piracicaba.

– Estação 2D

Localizada no ribeirão do Peixe, afluente da margem esquerda do rio Piracicaba, deve estar situada o mais próximo possível da foz deste ribeirão, sendo responsável pelo controle de uma área de drenagem maior. Esta estação irá suprir a ausência de controle no ribeirão do Peixe, um importante afluente do rio Piracicaba.

– Estação 3D

Localizada no ribeirão Pitangas, afluente da margem esquerda do rio Santo Antônio, deve estar situada o mais próxima possível da foz deste ribeirão, ficando responsável pelo controle de uma área de drenagem maior. Esta estação irá suprir a ausência de controle no ribeirão Pitangas, o único afluente de maior porte do rio Santo Antônio na incremental entre as usinas Salto Grande e Porto Estrela.

– Estação 4D

Localizada no ribeirão do Bugre, afluente da margem direita do rio Doce, deve estar situada o mais próximo possível da foz deste ribeirão, sendo responsável pelo controle de uma maior área de drenagem. Esta estação irá suprir a ausência de controle neste ribeirão e auxiliar no controle da área incremental até Baguari.

– Estação 5D

Localizada no ribeirão Sujo, afluente da margem direita do rio Suaçuí Grande, deve estar situada o mais próximo possível da foz deste ribeirão, sendo responsável pelo controle de uma maior área de drenagem. Esta estação irá suprir a ausência de controle neste ribeirão e auxiliar no controle da incremental até Traíra II.

– Estação 6D

Localizada no rio Jacuri, afluente da margem esquerda do rio Suaçuí Grande, deve estar situada no local mais próximo possível da foz deste rio, ficando responsável pelo

controle de uma área de drenagem maior. Esta estação irá suprir a ausência de controle neste rio e também auxiliar no controle da incremental até Traíra II.

– Estação 7D

Localizada no rio Suaçuí Grande, afluente da margem esquerda do rio Doce, deve estar situada o mais próximo possível da foz deste rio, sendo responsável pelo controle de uma maior área de drenagem. Esta estação irá suprir a ausência de controle neste rio, após a confluência do rio Itambacuri, e irá e auxiliar no controle da incremental até Aimorés.

– Estação 8D

Localizada no ribeirão Traíra, afluente da margem direita do rio Doce, deve estar situada o mais próximo possível da foz deste ribeirão, sendo responsável pelo controle de uma maior área de drenagem. Esta estação irá suprir a ausência de controle neste rio e irá e auxiliar no controle da incremental até Aimorés.

– Estação 9D

Localizada no ribeirão Laranjeiras, afluente da margem esquerda do rio Doce, deve estar situada o mais próximo possível da foz deste ribeirão, sendo responsável pelo controle de uma maior área de drenagem. Apesar de ser um afluente de pequeno porte da bacia, a instalação desta estação é interessante tanto no sentido de aumentar a área de drenagem incremental controlada até Aimorés quanto para a realização das modulações de vazão diária.

– Estação 10D

Localizada no rio Doce, deve estar situada a montante da estação de Resplendor – Jusante (56948005), que apresenta uma série histórica de vazões inconsistentes. Essas inconsistências podem ser um indicativo de que a referida estação está sendo influenciada pelo remanso do reservatório de Aimorés; por isso, optou-se por indicar a instalação de uma nova estação, um pouco mais a montante, mas, no entanto, livre dos efeitos de Aimorés.

– Estação 11D

Localizada no rio Ema, afluente da margem esquerda do rio Doce, deve estar situada o mais próximo possível da foz deste rio, sendo responsável pelo controle de uma maior área de drenagem. Apesar de ser um afluente de pequeno porte da bacia, a instalação desta estação é interessante tanto no sentido de aumentar a área de drenagem incremental controlada até Aimorés quanto para a realização das modulações desejadas.

– Estação 12D

Localizada no rio Guandu, deve estar situada a montante da estação de Baixo Guandu (56992000), que apresenta uma série histórica de vazões inconsistente, além de uma

curva-chave de qualidade duvidosa. Essas inconsistências são um indicativo de que a referida estação está sendo influenciada pelo rio Doce, devido a sua proximidade da foz; por isso, optou-se por indicar a instalação de uma nova estação, um pouco mais a montante, mas, no entanto, livre desses efeitos.

Uma observação pertinente à instalação das estações acima indicadas diz respeito aos cuidados na definição de seu local, visto que, em muitos dos casos acima descritos, apesar de ser interessante o posicionamento destas estações nas proximidades da foz, de tal forma que elas controlem a maior área de drenagem possível, deve-se impedir que elas fiquem sob a influência do remanso presente na foz dos rios.

Além das novas estações sugeridas para a bacia do rio Doce, é importante observar que, após o início da operação da UHE Baú I, ou seja, do enchimento de seu reservatório, pode ser necessária a reinstalação de outras estações. Isto ocorrerá caso o reservatório desta usina afogue, ou passe a influenciar, as estações que são utilizadas, atualmente, para controlar a afluência no local do eixo da futura usina: Ponte Nova – Jusante; Acaiaca – Jusante; e Fazenda Ocidente.

QUADRO 10.1
ESTAÇÕES PROPOSTAS PARA COMPLEMENTAÇÃO DA REDE HIDROMÉTRICA – BACIA DO RIO PARNAÍBA

Incremental	Margem do Principal	Rio	Código	Área da Estação (km²)	Área Incremental (km²)	Área Estação / Área Incremental	Controle Atual	Controle com Postos Propostos
Estreito	MD	rio Itaueiras	1P	8883	11906	74,6%	41,7%	80,8%*
Castelhano	MD	rio Canindé	2P	75330	90294	83,4%	81,8%	87,3%
	ME	rio Riachão	3P	3460		3,8%		

(*) A estação Barão de Grajaú controla 6,2% desta incremental.

QUADRO 10.2
ESTAÇÕES PROPOSTAS PARA COMPLEMENTAÇÃO DA REDE HIDROMÉTRICA – BACIA DO RIO JEQUITINHONHA

Incremental	Margem do Principal	Rio	Código	Área da Estação (km²)	Área Incremental (km²)	Área Estação / Área Incremental	Controle Atual	Controle com Postos Propostos
Irapé	no principal	rio Jequitinhonha	1J	8400	16200	51,9%	73,3%	82,7%
	ME	rio Itacambiruçu	2J	5000		30,9%		
Murta	ME	rio Vacaria	3J	2920	7700	37,9%	31,4%	82,8%
	ME	rio Salinas	4J	3340		43,4%		
Itapebi	ME	ribeirão do Salto	5J	1660	44200	3,8%	89,1%	92,9%

QUADRO 10.3
ESTAÇÕES PROPOSTAS PARA COMPLEMENTAÇÃO DA REDE HIDROMÉTRICA – BACIA DO RIO DOCE

Incremental	Margem do Principal	Rio	Código	Área da Estação (km²)	Área Incremental (km²)	Área Estação / Área Incremental	Controle Atual	Controle com Postos Propostos
Guilman-Amorim	MD	rio da Prata	1D	512	4036	12,7%	74,8%	99,0%
	ME	ribeirão do Peixe	2D	463		11,5%		
Porto Estrela	ME	ribeirão Pitangas	3D	331	351	94,3%	0,0%	94,3%
Baguari	MD	ribeirão do Bugre	4D	577	15755	3,7%	87,2%	90,9%
Traíra II	MD	ribeirão Sujo	5D	296	3610	8,2%	72,3%	92,5%
	ME	rio Jacuri	6D	433		12,0%		
Aimorés	ME	rio Suaçui Grande	7D	12404	20207	61,4%	82,7%	98,2%
	MD	ribeirão Traíra	8D	865		4,3%		
	ME	ribeirão Laranjeiras	9D	909		4,5%		
	ME	rio Ema	11D	995		4,9%		
Aimorés	no principal	rio Doce	10D	60125	20207	89,9%	82,7%	94,8%
	ME	rio Ema	11D	995		4,9%		
Mascarenhas	MD	rio Guandú	12D	2100	11320	18,6%	96,0%	95,7%

Nota: A estação 10D estaria localizada no curso principal do rio Doce. Para cálculo da relação percentual, foi considerada apenas a parcela da área da futura estação que faria parte da área incremental.

10.4. RECOMENDAÇÕES PARA COMPLEMENTAÇÃO DA REDE

Durante o desenvolvimento dos estudos de consistência de séries de vazões naturais nas bacias dos rios Parnaíba, Jequitinhonha e Doce, constatou-se algumas deficiências no controle das vazões incrementais de algumas usinas.

Diante do quadro atual, recomenda-se, então, a implantação de um total de 20 novas estações fluviométricas para complementar as redes hidrométricas existentes, melhorando o controle das afluências aos reservatórios e das incrementais de cada usina. Isto proporcionaria, conseqüentemente, um aumento no nível de confiabilidade das séries de vazões médias de cada usina.

Vale ressaltar que também foi definido um grupo de 9 estações, já indicadas anteriormente, considerado prioritário. Estas estações deverão receber preferência na instalação.

Recomenda-se, ainda, que as estações a serem implantadas disponham de registradores contínuos de nível e sejam dotadas de sistema de telemetria, garantindo maior confiabilidade e eficiência aos registros nelas obtidos.

Para as estações fluviométricas existentes, que sejam de interesse para o controle das afluências e incrementais, recomenda-se mais empenho e eficiência na operação, possibilitando maior segurança na utilização de seus registros, além da instalação adicional de registradores contínuos de nível e sistema de telemetria.

Durante a implantação das usinas de Baú I e Uruçuí, deverá ser verificado se nas novas condições de escoamento as estações de controle ficarão livres da influência do remanso dos reservatórios. Caso contrário, deverão ser reinstaladas as seguintes estações: Fazenda Bandeira; São Félix das Balsas; Ponte Nova Jusante; Acaiaca Jusante; e Fazenda Ocidente.

Além de proporcionar maior confiabilidade às séries de vazões, os registros obtidos nas novas estações permitirão um controle maior sobre as vazões incrementais nas bacias dos rios Parnaíba, Jequitinhonha e Doce, podendo ser utilizados em outros estudos hidrológicos na bacia.

11. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O processo de obtenção das séries de vazões naturais médias diárias e médias mensais elaboradas ao longo do presente trabalho, para todas as usinas hidrelétricas existentes nas três bacias estudadas, Parnaíba, Jequitinhonha Doce, foi descrito ao longo deste relatório, tendo sido também apresentado minuciosamente nos diversos relatórios parciais listados no capítulo 12. O sumário apresentado a seguir busca apenas destacar os pontos mais significativos do trabalho realizado, seja quanto à metodologia empregada seja quanto aos resultados obtidos.

Algumas recomendações, dentre aquelas também apresentadas nos itens anteriores e nos relatórios parciais, são enfatizadas, em virtude de sua importância para a atualização futura das séries naturais e para o aperfeiçoamento da metodologia ora desenvolvida.

11.1. QUANTO À ABORDAGEM GERAL DOS TRABALHOS

Uma característica marcante do trabalho ora apresentado, que o distingue dos estudos realizados anteriormente para reconstituição das séries de vazões naturais das bacias dos rios Parnaíba (com exceção da série da UHE Boa Esperança), Jequitinhonha e Doce, é a ênfase que foi dada ao tratamento das séries de vazões diárias, fluviométricas e operativas. As séries de vazões médias mensais foram obtidas por integração, como subproduto das séries diárias, propiciando uma consistência garantida por construção entre as séries diárias e mensais, o que não ocorria com as séries disponíveis anteriormente.

Além disso, o processo de reconstituição das séries naturais incluiu, além da correção dos efeitos da operação dos reservatórios implantados na bacia e da evaporação líquida das áreas alagadas, como nas metodologias empregadas anteriormente, uma correção adicional para levar em consideração a evolução dos usos consuntivos das águas ao longo do tempo. Este aprimoramento propicia uma série natural homogênea, a partir da qual é possível considerar, de forma direta, em estudos futuros de planejamento, os prognósticos de evolução dos usos consuntivos nas análises de disponibilidade hídrica e/ou energética.

A base de dados hidrológicos utilizada passou por um minucioso processo de análise de consistência, buscando conferir maior confiabilidade às informações nela contidas. Este processo foi inteiramente documentado ao longo dos relatórios parciais, de modo a garantir transparência a todo o processo e permitir reavaliações futuras mais objetivas.

A base de dados operativos foi submetida, por sua vez, a uma severa análise de consistência, detalhada ao nível diário, durante a qual se criou uma sistemática de trabalho implantada em ferramentas computacionais que poderão ser empregadas futuramente na atualização das séries.

Foram implantadas também as bases cartográficas digitais das três bacias, construídas a partir de mapeamento na escala 1:250.000. Com auxílio dessas bases, foram aferidas as localizações e as áreas de drenagem dos aproveitamentos e dos principais postos fluviométricos de referência nas bacias hidrográficas, tendo sido, para isso, realizadas visitas de campo, além de consultas à documentação existente e aos órgãos envolvidos na operação do sistema.

Ainda como característica específica dos trabalhos realizados, deve ser ressaltada a sistemática de acompanhamento do mesmo, desde a fase primeira, de coleta de dados básicos até à obtenção das novas séries de vazões naturais, passando pela discussão e definição de metodologias e análise dos resultados parciais obtidos. Para isso, foi criada uma Comissão de Acompanhamento, formada por representantes do ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico, ANA – Agência Nacional de Águas, ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, MME – Ministério de Minas e Energia e Empresa de Pesquisa Energética – EPE. Essa Comissão participou de todas as discussões metodológicas e análises de resultados obtidos, através da leitura de documentos produzidos e da realização de reuniões periódicas.

Finalmente, a disponibilidade dos dados básicos, tanto os fluviométricos quanto os operativos foi investigada em profundidade, com a ajuda da Comissão de Acompanhamento e dos Agentes de Geração que atuam nas três bacias hidrográficas estudadas – CHESF, CEMIG, ITAPEBI, CANDONGA, PORTO ESTRELA e ESCELSA – tendo sido recuperadas informações complementares, buscando tornar a base de dados o mais completa possível.

11.2. QUANTO À METODOLOGIA EMPREGADA

Dentro da metodologia empregada na reconstituição das séries de vazões naturais, algumas qualidades devem ser ressaltadas, enquanto que certos aspectos podem ser destacados como merecedores de algum aprofundamento futuro.

No presente estudo foi utilizada uma metodologia que apresenta vantagens em relação às metodologias empregadas em estudos anteriores, ao dar prioridade ao emprego dos dados operativos das usinas já implantadas, em detrimento de técnicas alternativas, como por exemplo, a utilização de correlações com postos fluviométricos. Este aspecto é muito importante, pois com o desenvolvimento futuro das três bacias, incluindo a implantação de novos aproveitamentos, alguns postos fluviométricos poderão perder a sua qualidade atual, ou até mesmo ser descontinuados. Além disso, a incorporação das vazões correspondentes aos usos consuntivos de água, na reconstituição das séries naturais, e o trabalho realizado ao nível de vazões diárias conferiu maior robustez aos resultados obtidos.

Foram assumidas algumas considerações que, em etapas futuras, podem ser aperfeiçoadas, tais como, por exemplo, o método de propagação de vazões envolvendo apenas a translação (ou defasagem) do hidrograma afluente. Esta

simplificação, como se sabe, ignora os termos de amortecimento e de difusão (alargamento) dos hidrogramas afluentes a cada trecho. O emprego de um tempo de viagem constante, na metodologia de propagação, constitui também uma simplificação que pode ser revista, com a realização de estudos específicos em determinados estirões.

Algumas dificuldades encontradas na análise de consistência entre usinas, principalmente em períodos de cheias, provavelmente poderiam ser superadas com mais precisão caso o processo de propagação fosse mais elaborado. Este aprimoramento, entretanto, exigiria uma base de dados hoje indisponível. Quanto a isso, seria recomendável realizar estimativas dos tempos de viagem entre usinas, considerando diferentes situações hidrológicas, tomando por base dados operativos horários das usinas.

Com base nestas novas informações, será possível estudar a possibilidade e os benefícios associados à utilização de modelos de propagação mais elaborados, do tipo armazenamento, para simulação de escoamentos nos cursos d'água naturais. Esses modelos, baseados na equação da continuidade, substituem a equação dinâmica por uma equação relacionando o volume de armazenamento com as vazões afluentes e defluentes ao trecho. Os modelos SSARR ou Muskingum constituem exemplos de modelos de armazenamento. É necessário registrar, entretanto, que este aprimoramento poderia beneficiar as séries de vazões diárias, benefícios estes que provavelmente não se refletiriam nas séries de vazões médias mensais.

Outro aspecto metodológico adotado, motivado pelas dificuldades em se fechar as análises de consistência entre usinas de localização muito próxima, como Guilman-Amorim e Sá Carvalho, no rio Piracicaba, ou Salto Grande e Porto Estrela, no rio Santo Antônio, foi estudar a série de vazões naturais para uma das usinas e transferi-la para a outra por um processo simplificado, como proporcionalidade de áreas de drenagem.

Na bacia do rio Parnaíba ocorreu uma situação similar, devido ao conjunto de futuras usinas a serem implantadas a jusante de Boa Esperança. Nesse trecho, com vazões incrementais muito pequenas, foi necessário estudar apenas uma série, para a usina de jusante (Castelhano), interpolando-se entre esta série e a série de Boa Esperança para as demais usinas (Cachoeira e Estreito).

Ainda na bacia do rio Doce, houve dificuldade na consistência das séries fluviométricas do trecho a jusante de Baguarí, porque a freqüência de ocorrência de vazões incrementais negativas entre postos fluviométricos e usinas (Aimorés e Mascarenhas) foi muito elevada.

A este respeito, recomenda-se que sejam realizadas revisões nos processos de cálculo das vazões defluentes e afluentes a estas usinas, de modo a permitir, futuramente, uma evolução nesta metodologia, conforme tratado mais adiante.

Recomenda-se, também, melhorar as condições de operação dos postos fluviométricos de referência, cujas séries são utilizadas na modulação das vazões incrementais, seja através da melhoria instrumental das estações existentes, seja a partir da

complementação da rede fluviométrica, conforme sugerido no capítulo 9 e comentado mais adiante, ainda neste capítulo.

11.3. QUANTO AOS DADOS OPERATIVOS DAS USINAS

Conforme já enfatizado anteriormente, foi dedicado grande esforço na análise de consistência dos dados operativos diários das usinas já implantadas nas três bacias hidrográficas estudadas, obtendo-se como resultado o melhor conjunto possível de informações.

Apesar disso, algumas inconsistências existentes nos dados operativos ficaram sem solução, seja por falta de registros adequados, seja pela necessidade de realização de trabalhos específicos, envolvendo medições locais e aferição de características cadastrais das usinas, como rendimentos, perdas de carga, curvas de descarga, etc. Buscando indicar caminhos para melhorar a questão dos dados operativos de algumas usinas no futuro, são apresentadas mais adiante algumas sugestões.

As recomendações quanto ao registro de dados operativos podem ser consideradas gerais e extensíveis a todos os aproveitamentos. Mas os casos mais importantes são tratados em particular, como se segue.

UHE Boa Esperança: embora os dados operativos dessa usina tenham sido considerados bons, são feitas duas recomendações quanto ao seu registro voltadas para dirimir, no futuro, dúvidas acerca dos dados fluviométricos de jusante.

- Associar os dados de vazão defluente da usina com os dados fluviométricos dos postos a jusante, principalmente Barão de Grajaú e Fazenda Veneza, buscando entender a razão das inúmeras inconsistências encontradas.

- Incluir nessa análise os dados dos postos fluviométricos de Barra do Lance e Francisco Ayres.

- Buscar obter os dados relativos aos inúmeros açudes situados nos afluentes da margem direita do rio Parnaíba, principalmente na bacia do rio Canindé, para auxiliar no processo de análise das inconsistências a jusante.

UHE Guilman-Amorim e UHE Sá Carvalho: essas duas usinas encontram-se muito próximas e apresentam inconsistências freqüentes em seus registros. Recomenda-se um aprimoramento no registro dos dados operativos incluindo:

- Determinação de vazões turbinadas separadamente por unidade geradora, considerando a variação de níveis de montante e jusante (queda bruta);

- Rendimentos específicos para cada faixa operativa, em vez de produtibilidade constante;

- Avaliação mais precisa de vazões vertidas, considerando o registro horário de níveis d'água e aberturas de comporta (no caso de Sá Carvalho).

- Operação cuidadosa dos postos fluviométricos de Nova Era e Mário de Carvalho, referências de montante e jusante, respectivamente.

Além disso, recomenda-se que a análise de consistência dos dados operativos dessas usinas seja feita em conjunto, com os dois Agentes compartilhando suas informações, de modo a facilitar a identificação e solução dos problemas. Esta abordagem, envolvendo um acompanhamento contínuo, é mais eficiente que a empregada no presente trabalho, que tratou todos os dados de uma só vez, mascarando problemas que poderiam ser identificados se fossem observados regularmente.

UHE Salto Grande e UHE Porto Estrela: caso semelhante às duas anteriores. Valem as três primeiras recomendações, alem das seguintes:

- Operação cuidadosa dos postos fluviométricos de Fazenda Ourofino e Fazenda Meloso, a montante, e Naque Velho, a jusante, que fazem o controle das vazões afluentes e defluentes das duas usinas;

- Acompanhamento diário dos dados operativos, com os dois Agentes, compartilhando suas informações.

UHE Aimorés e UHE Mascarenhas: talvez o caso mais delicado de todos os analisados no presente trabalho. Como foram encontradas inconsistências sistemáticas entre os dados dessas usinas e as informações fluviométricas disponíveis, além das inconsistências mútuas, é necessário um cuidado maior. Recomenda-se:

- Aferir as curvas características (produtibilidade, perdas, níveis de jusante, capacidade de vazão, etc.) dos dois aproveitamentos;

- Adotar procedimentos detalhados no cálculo das vazões defluentes (turbinadas e vertidas), discriminando por unidade (turbina, comporta) e considerando as variações ao longo do dia (pelo menos a cada hora);

- Compartilhar informações e fazer balanços horários de vazões incrementais;

- Monitorar as vazões afluentes através dos postos de Governador Valadares, Tumiritinga (ou outro a ser implantado mais a jusante), São Sebastião da Encruzilhada e Baixo Guandu (de preferência o novo posto instalado pela UHE Mascarenhas, melhor situado que o antigo);

- Monitorar as vazões defluentes através dos postos fluviométricos de Colatina e Jusante Mascarenhas, este último instalado há poucos anos em um local mais promissor.

- Realizar campanhas de medições de descarga cobrindo essa rede fluviométrica, de modo a acompanhar de perto a possível evolução das curvas-chave.

11.4. QUANTO AOS DADOS FLUVIOMÉTRICOS

A análise de consistência de dados fluviométricos realizada foi minuciosa e permitiu a definição de séries de vazões médias diárias de referência para a reconstituição das vazões das usinas em estudo.

Os maiores problemas encontrados, relativamente aos dados fluviométricos, são listados a seguir.

Na bacia do rio Parnaíba, foram encontradas inúmeras inconsistências entre as vazões defluentes de Boa Esperança e as vazões registradas nos postos de Fazenda Veneza, no rio Parnaíba, Barra do Lance, no rio Gurguéia, e Francisco Aires, no rio Canindé.

A existência de inúmeros açudes em operação nas bacias dos rios Gurguéia e Canindé, alguns com volumes de armazenamento elevados, pode estar na origem dos problemas de inconsistência encontrados. É fundamental a realização de um monitoramento mais detalhado dessas bacias, de modo a identificar as causas das inconsistências e tentar restabelecer as séries de vazões naturais dessas bacias. Sem isso, as séries dos aproveitamentos situados a jusante de Boa Esperança sempre apresentarão um desvio em relação ao comportamento natural.

Na bacia do rio Jequitinhonha, a rede fluviométrica apresentou um desempenho mais satisfatório, não sendo necessário maiores reparos.

Na bacia do rio Doce, foram encontrados problemas no trecho a jusante de Governador Valadares, cuja solução irá exigir a realização de campanhas específicas, conforme já mencionado na análise dos dados operativos.

Na comparação conjunta do fluviograma da estação Resplendor (ou Resplendor – Jusante) com fluviogramas de estações vizinhas, como Tumiritinga e Barra do Cuieté (ou Barra do Cuieté – Jusante), foram observadas inconsistências, mesmo a nível mensal, que não puderam ser resolvidas por mudanças nas curvas-chave.

Esta situação também foi observada na análise conjunta dos postos Colatina (ou Colatina – Jusante), com Resplendor (ou Resplendor – Jusante), São Sebastião da Encruzilhada e Baixo Guandu.

Durante o desenvolvimento dos estudos de consistência de séries de vazões naturais nas bacias dos rios Parnaíba, Jequitinhonha e Doce, constataram-se algumas deficiências no controle das vazões incrementais de algumas usinas.

Diante do quadro atual, foi recomendada (vide Capítulo 10) então, a implantação de um total de 20 novas estações fluviométricas para complementar as redes hidrométricas existentes, melhorando o controle das afluências aos reservatórios e das incrementais de cada usina. Isto proporcionaria, conseqüentemente, um aumento no nível de confiabilidade das séries de vazões médias de cada usina. Recomendou-se, ainda,

mais empenho e eficiência na operação, possibilitando maior segurança na utilização de seus registros, além da instalação adicional de registradores contínuos de nível e sistema de telemetria.

Vale ressaltar que, durante a implantação das usinas de Baú I e Uruçuí, deverá ser verificado se nas novas condições de escoamento as estações de controle ficarão livres da influência do remanso dos reservatórios. Caso contrário, deverão ser reinstaladas as seguintes estações: Fazenda Bandeira; São Félix das Balsas; Ponte Nova Jusante; Acaiaca Jusante; e Fazenda Ocidente.

11.5. QUANTO AOS RESULTADOS OBTIDOS

Foram definidas séries de vazões naturais médias diárias e médias mensais para 19 usinas das bacias hidrográficas dos rios Parnaíba, Jequitinhonha e Doce. Essas séries foram retificadas para considerar a evolução dos usos consuntivos em cada bacia e o efeito da evaporação líquida nos reservatórios existentes.

As novas séries de vazoes naturais elaboradas são, na maior parte dos casos, semelhantes às séries atualmente em uso no ONS. As novas séries das bacias dos rios Parnaíba e Jequitinhonha ficaram com médias muito próximas às calculadas para as séries atuais. As maiores diferenças encontradas não ultrapassaram os 3%.

Na bacia do rio Doce é que ocorreram diferenças mais significativas. Para a UHE Baú a série revista apresentou, para o período completo, vazão média inferior (3,2%) à média da série atual. Para o período crítico, essa diferença foi um pouco maior, cerca de 3,8%. Essa diferença já não se verificou com relação a Candonga, situada imediatamente a jusante. Na verdade, verificou-se que as séries atuais de Baú e Candonga são inconsistentes entre si, o que explica esta aparente contradição.

Para Guilman Amorim e Sá Carvalho, embora as vazões médias do período completo obtidas nesse novo estudo sejam muito próximas às das séries atuais, as vazões médias do período crítico das novas séries são inferiores às médias das séries atuais.

Maiores diferenças foram encontradas na bacia do rio Santo Antônio, nas usinas de Salto Grande e Porto Estrela. Nesse caso, as novas séries apresentaram médias bastante superiores às séries atuais, tanto para o período completo quanto para o período crítico.

Essa diferença entre as duas séries (atual e revista) se estendeu até Baguari, alcançando a casa dos 13%, reduzindo-se daí para jusante, na medida em que as áreas de drenagem aumentavam.

Na bacia do rio Parnaíba, foi observada, nas séries revistas, uma tendência de crescimento uniforme das vazões médias com as áreas de drenagem a partir da UHE Boa Esperança. A UHE Ribeiro Gonçalves, situada a montante, apresentou vazões

médias relativamente inferiores às demais, devido à menor pluviosidade da bacia do Alto Parnaíba, comparativamente à bacia do rio Balsas.

Na bacia do rio Jequitinhonha foi notada uma tendência muito bem definida de variação das vazões médias com a área de drenagem, tanto na série atual quanto na série revista, denotando um comportamento homogêneo das vazões. As duas séries (atual e revista) apresentam resultados muito próximos para essa bacia.

Na bacia do rio Doce destacou-se o comportamento diferenciado do rio Suaçuí Grande, onde se situa a UHE Traíra II, com produção hídrica inferior aos demais rios da bacia, também devido à menor pluviosidade. Nas demais sub-bacias, o comportamento das vazões médias com as áreas de drenagem foi bastante homogêneo.

As principais ressalvas que podem ser feitas aos resultados encontrados são as seguintes:

- As séries de vazões naturais das usinas a serem construídas a jusante da UHE Boa Esperança apresentam vazões incrementais incompatíveis com as áreas de drenagem incrementais existentes. Este comportamento deverá ser melhor estudado no futuro, considerando, se possível, os dados operativos dos açudes existentes na região.

- As séries de vazões da bacia do rio Doce a jusante de Baguari deverão ser reavaliadas no futuro, após maior acumulação de dados operativos, em virtude das inconsistências entre dados operativos e dados fluviométricos verificadas neste trecho.

12. BIBLIOGRAFIA

12.1 ESTUDOS ANTERIORES

No início dos trabalhos, o ONS forneceu à HICON alguns documentos referentes a estudos sobre consistência de vazões realizados anteriormente nas bacias dos rios Parnaíba, Jequitinhonha e Doce. ANA, ANEEL, CHESF, CEMIG e FURNAS também foram consultados sobre a existência, em seus acervos, de outros estudos e documentos sobre o assunto.

Paralelamente, a HICON buscou reunir os estudos disponíveis em seu acervo bibliográfico, realizados anteriormente nas bacias dos rios Parnaíba, Jequitinhonha e Doce ou em outras bacias, que pudessem trazer alguma contribuição metodológica ao presente Estudo.

Apresenta-se a seguir uma relação dos documentos analisados, incluindo uma descrição sumária de seu conteúdo.

CHESF/Diretoria de Operação/Departamento de Movimento de Energia – Consistência de Dados Hidrológicos do Rio Parnaíba. Janeiro de 1986.

Em janeiro de 1986, foi concluído pela CHESF o Estudo de Consistência de Dados Hidrológicos do Rio Parnaíba, que teve por objetivo apresentar o resultado da consistência dos dados da rede de postos que a CHESF mantém para suporte dos estudos e controle da operação hidrológica do reservatório de Boa Esperança na bacia do rio Parnaíba.

Como os dados hidrológicos até então utilizados apresentavam inconsistências, esta análise fez-se necessária. Além disso, o conhecimento de informações importantes advindas das cheias de porte ocorridas em 1980, 1981 e 1985 proporcionou melhores condições para a avaliação das séries hidrológicas utilizadas até a data do estudo.

COHEBE/HIDROSERVICE – Hidrologia do Rio Parnaíba Tendo em Vista o Aproveitamento de Boa Esperança. Volume I – Texto. Volume II – Ilustrações. São Paulo, 1965.

Neste Relatório é apresentado um reexame completo dos estudos realizados pela HIDROSERVICE para o DNOCS, que constam no Relatório HS18-R5-63, de 15 de março de 1963. Este reexame foi realizado devido à disponibilidade de novos dados básicos, obtidos após o período em que a HIDROSERVICE teve sob sua responsabilidade a operação dos postos hidrométricos da bacia do rio Parnaíba.

Foi feita a apresentação tanto desses novos dados como de estudos sobre as características das chuvas e deflúvios na bacia e a montante de Boa Esperança. Foram indicadas ainda as possibilidades de regularização e de produção de energia elétrica do projeto e emitidos pareceres hidrológicos sobre as enchentes máximas para desvio do rio durante a fase de construção e para o dimensionamento de órgãos de extravasamento.

COHEBE – Projeto Boa Esperança – Aproveitamento, Reservatório e Barragem. Parte 1. Outubro de 1967.

Este relatório faz parte de um conjunto de documentos composto de três partes, que sintetiza o projeto do aproveitamento hidrelétrico de Boa Esperança. Foi enviado pela CHESF a fim de subsidiar os estudos de revisão das séries de vazões naturais da bacia do rio Parnaíba.

Na primeira parte deste conjunto, utilizada no presente trabalho, encontram-se resumidos os principais aspectos topográficos, geológicos, hidrológicos e de viabilidade técnica e econômica do aproveitamento, além da descrição dos projetos da barragem, do sangradouro e do sistema de eclusas. Participaram dos estudos que envolvem esses aspectos entidades públicas e privadas, sob a coordenação geral da COHEBE.

As demais partes do conjunto de documentos referem-se aos projetos do circuito hidráulico de tomada d'água, incluindo instalações hidrelétricas, e do sistema de transmissão e encontram-se em relatórios separados.

CEMIG/PROMON – Usina Hidrelétrica de Murta – Rio Jequitinhonha – Relatório Complementar – Levantamento e Estudos de Engenharia. Belo Horizonte, Minas Gerais, Outubro de 1998.

Este relatório engloba os resultados e levantamentos, investigações, análises e estudos de engenharia, realizadas para os Estudos de Viabilidade do Aproveitamento Hidrelétrico de Murta, no rio Jequitinhonha, no norte de Minas Gerais, elaborados pela PROMON e pela CEMIG.

O objetivo deste trabalho inclui a revisão dos estudos anteriormente realizados e o desenvolvimento de estudos e investigações adicionais que permitam a definição da localização e das características mais adequadas do aproveitamento, do seu custo, do seu cronograma e da sua seqüência de construção, e das condições de interligação do mesmo à rede do Sistema Elétrico Nacional.

A CEMIG elaborou estudos hidrológicos, mercadológicos e energéticos, além de levantamentos topográficos, aerofotogramétricos, batimétricos e hidrométricos. Desenvolveu, ainda, estudos de interligação da usina à rede nacional.

CEMIG/Superintendência de Projetos de Geração – Bacia do Rio Jequitinhonha – Revisão e Consolidação de Dados Fluviométricos de Interesse Energético. Belo Horizonte, Minas Gerais, Agosto de 1985.

O "Grupo de Trabalho para a Revisão e Atualização Permanente dos Dados Hidrométricos de Interesse do Setor Elétrico", coordenado pela ELETROBRÁS, preparou este relatório, que se refere à revisão e consolidação dos dados de descargas dos postos fluviométricos de interesse hidrelétrico e do cálculo das vazões naturais médias mensais nos locais de aproveitamento da bacia do rio Jequitinhonha.

São mostradas as dezesseis séries de vazões naturais médias mensais para os locais de aproveitamentos hidrelétricos inventariados, correspondentes aos períodos de janeiro de 1931 a dezembro de 1982. Tais dados passaram por revisões e análises de consistência antes de serem consolidados, que demonstraram a baixa qualidade dos dados fluviométricos da bacia em questão.

CVRD/Geoprojetos – Usina Hidrelétrica Candonga – Relatório do Projeto Básico (Texto). Setembro de 2000.

O escopo deste relatório foi consubstanciar os estudos desenvolvidos para a definição, a nível de projeto básico, do aproveitamento hidrelétrico de Candonga, com uma potência instalada de 140 MW, no trecho alto do Rio Doce, em Minas Gerais.

Neste estudo foram apresentados, entre outros aspectos, estudos aerofotogramétricos e topobatimétricos, hidrometeorológicos, geológicos e energéticos, além de comparações com estudos realizados anteriormente.

Queiroz Galvão/SPEC – Projetos de Revisão do Inventário do Rio Suaçuí Pequeno – Caderno de Desenhos. Março de 2001.

Este material reúne desenhos referentes ao Inventário do Rio Suaçuí Pequeno, incluindo seções, plantas e vistas de interesse do projeto.

ONS/HICON - Relatório de Disponibilidade de Dados Básicos e Estudos Existentes da Bacia do rio Grande – ONS-003/02 – Dezembro/2002 (Revisão 1 – Julho/2003).

ONS/HICON - Relatório de Visita às Usinas Hidrelétricas e aos Postos Fluviométricos – ONS-004/03 – Julho/2003.

ONS/HICON - Relatório Sobre a Metodologia de Reconstituição das Séries de Vazões Naturais – ONS-008/03 – Julho/2003 (Revisão 1 – Janeiro/2004).

ONS/HICON - Relatório de Análise de Consistência dos Dados Operativos dos Aproveitamentos Hidrelétricos – ONS-010/03 – Agosto/2003 (Revisão 1 – Fevereiro/2004).

ONS/HICON - Relatório de Análise de Consistência dos Dados Fluviométricos das Estações – Volumes 1 e 2 – ONS-011/03 – Agosto/2003 (Revisão 1 – Janeiro/2004).

ONS/HICON - Relatório de Análise de Consistência dos Dados Pluviométricos – ONS-013/03 – Novembro/2003 (Revisão 1 – Janeiro/2004).

ONS/HICON - Relatório de Complementação da Rede Hidrométrica – ONS-019/03 – Dezembro/2003 (Revisão 1 – Janeiro/2004).

ONS/HICON - Modelo de Reconstituição de Vazões Naturais – Manual de Utilização – ONS-017/03 – Dezembro/2003 (Revisão 1 – Fevereiro/2004).

12.2 DOCUMENTAÇÃO ELABORADA

Ao longo do desenvolvimento dos Estudos de Consistência de Séries de Vazões Naturais nas bacias dos rios Parnaíba, Jequitinhonha e Doce, a HICON elaborou e emitiu ao ONS diversos documentos relativos à cada uma das etapas previstas inicialmente.

A listagem a seguir apresenta uma relação desses documentos, nos quais podem ser obtidos maiores detalhes a respeito dos estudos.

Relatório de Disponibilidade de Dados Básicos e Estudos Existentes – ONS-050/07 – Março/2007 (Revisão 1 – Maio/2007).

Relatório de Visita às Usinas Hidrelétricas e aos Postos Fluviométricos – ONS-048/07 – Fevereiro/2007 (Revisão 1 – Maio/2007).

Relatório Sobre a Metodologia de Reconstituição das Séries de Vazões Naturais – ONS-074/08 – Maio/2008.

Relatório de Análise de Consistência dos Dados Operativos dos Aproveitamentos Hidrelétricos – ONS-067/07 – Novembro/2007 (Revisão 1 – Novembro/2007).

Relatório de Análise de Consistência dos Dados Fluviométricos das Estações – Volumes 1 e 2 – ONS-068/07 – Março/2008.

Relatório de Análise de Consistência dos Dados Pluviométricos – ONS-064/07 – Dezembro/2007.

Relatório de Complementação da Rede Hidrométrica – ONS-073/08 – Junho/2008.

Manual dos Programas de Reconstituição das Séries de Vazões Naturais – ONS-075/08 – Junho/2008.