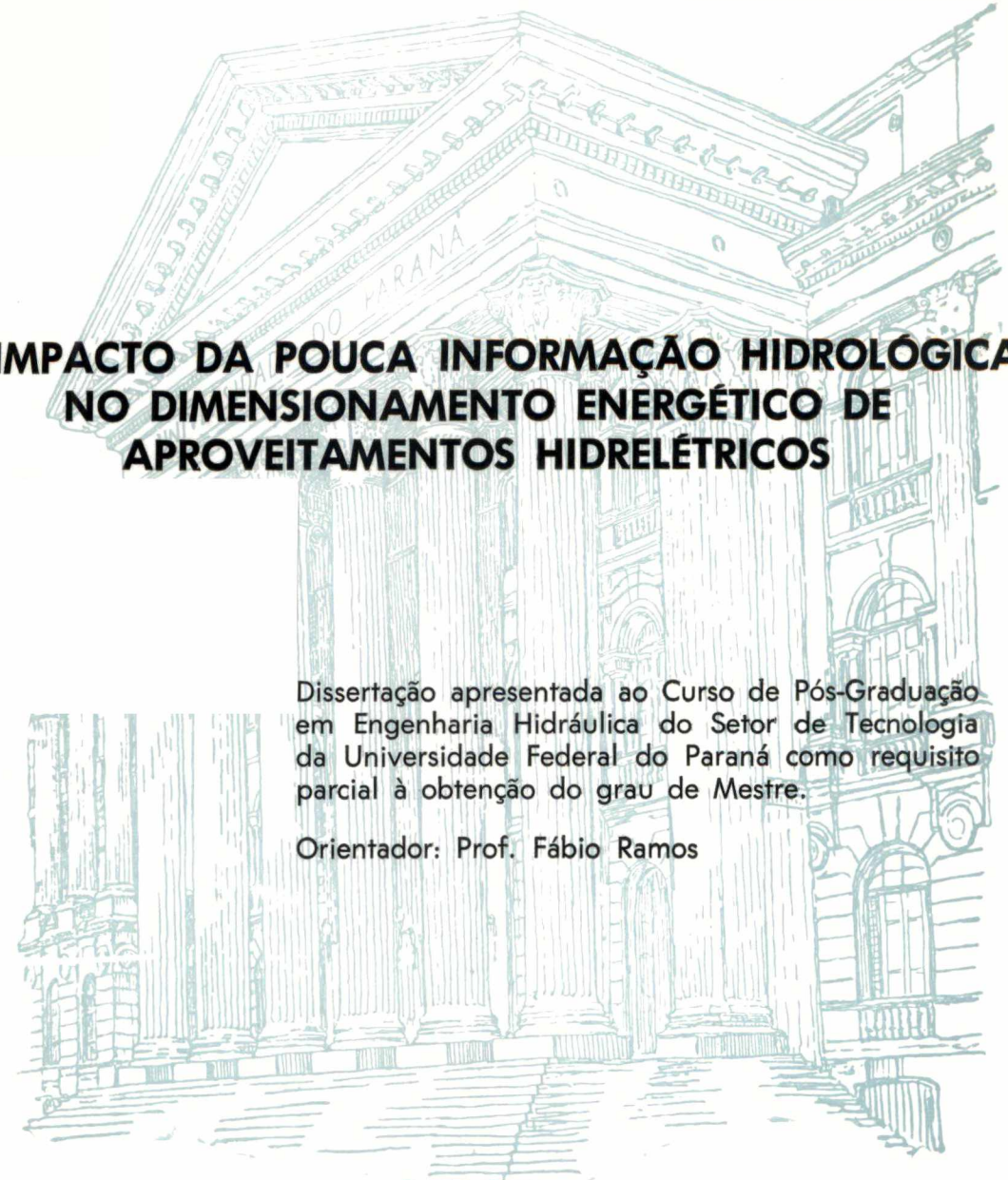
EDILAINE DOS SANTOS



O IMPACTO DA POUCA INFORMAÇÃO HIDROLÓGICA NO DIMENSIONAMENTO ENERGÉTICO DE APROVEITAMENTOS HIDRELÉTRICOS

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Fábio Ramos

CURITIBA
2000

EDILAINE DOS SANTOS

O IMPACTO DA POUCA INFORMAÇÃO HIDROLÓGICA NO DIMENSIONAMENTO ENERGÉTICO DE APROVEITAMENTOS HIDRELÉTRICOS

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Fábio Ramos

CURITIBA
2000

O IMPACTO DA POUCA INFORMAÇÃO HIDROLÓGICA NO DIMENSIONAMENTO ENERGÉTICO DE APROVEITAMENTOS HIDRELÉTRICOS

por

EDILAINE DOS SANTOS

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção de grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

ORIENTADOR:

Fábio Ramos
Universidade Federal do Paraná

MEMBROS:

Miriam Rita Moro Mine
Universidade Federal do Paraná

Secundino Soares Filho
Universidade Estadual de Campinas

Curitiba, 24 de outubro de 2000.

À minha família, em especial aos meus pais,

sempre grandes Amigos...

Aos meus Amigos,

minha grande família...

AGRADECIMENTOS

À irmã e amiga Rosane, às amigas Ana Sylvia e Rosane Miers, e ao amigo e irmão Dinael, pela sempre constante presença, carinho e amizade.

Ao professor Fábio Ramos, não apenas pela orientação desta dissertação, mas por todo incentivo e apoio ao longo de minha vida acadêmica e profissional.

Aos colegas Alex Sandro Feil, Fernando Umbria e Renê Bettega, pela inestimável ajuda no desenvolvimento dos estudos energéticos e econômico-financeiros.

À amiga Iride Líbera Ahlfeldt, pelo cuidadoso trabalho de organização das referências bibliográficas.

Aos colegas da INTERTECHNE e do CEHPAR, pelo incentivo, apoio e colaboração durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

Às Sras Marlene Teixeira da Silva e Andrelina Laura (ANEEL/Brasília), e ao Sr. José Mário da Silva (CPRM/Goiânia), pelo sempre pronto atendimento no fornecimento de dados; e ao Sr. João Eduardo Gonçalves Lopes (CESP), pelo atencioso acompanhamento na utilização do modelo SMAP.

Agradeço principalmente, de forma especial e eterna, ao Dr. Celso Charuri, que das mais diferentes maneiras, com seus exemplos de Bondade, Sabedoria e Ação, a cada dia me mostra o melhor caminho a seguir.

E a todos os demais que, com Amizade, Cumplicidade e Compreensão, me impulsionam cada dia mais alto. Que eu possa e mereça fazer o mesmo por vocês.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS v

LISTA DE FIGURAS vii

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS x

RESUMO xi

ABSTRACT xii

1. INTRODUÇÃO 1

2. O SISTEMA ELÉTRICO NACIONAL 5

2.1 A configuração do sistema elétrico 5

2.2 O papel da hidroeletricidade 12

2.3 Capacidade hidrelétrica nacional instalada e prevista 14

3. ESTUDOS HIDROENERGÉTICOS 20

3.1 Estudos hidrológicos 21

3.2 Estudos energéticos 22

3.3 Custos e benefícios energéticos 24

4. DISPONIBILIDADE DE DADOS HIDROLÓGICOS 28

4.1 Postos fluviométricos - informações existentes 30

4.2 Postos pluviométricos - informações existentes 32

4.3 Consistência dos dados hidrológicos 35

4.4 Densidade da rede hidrométrica nacional 36

5. ESTUDOS HIDROENERGÉTICOS COM POUCOS DADOS 40

5.1 Riscos decorrentes da insuficiência de dados 40

5.2 Deficiências mais freqüentemente encontradas 44

5.3 Procedimentos usuais para regionalização de informações hidrológicas 45

6. ESTUDO DE CASO – DESCRIÇÃO GERAL 53
6.1 Método de avaliação do impacto da informação hidrológica 54
6.2 Escolha do local 55
6.3 Cenários considerados 63
7. ESTUDO DE CASO - ESTUDOS HIDROLÓGICOS 64
7.1 Dados utilizados 64
7.2 Análise de consistência dos dados 69
7.3 Obtenção das séries mensais básicas 82
7.4 Obtenção das séries de vazões médias mensais para os diferentes cenários 85
7.5 Análise dos resultados dos estudos hidrológicos 100
8. ESTUDO DE CASO - ESTUDOS ENERGÉTICOS 108
8.1 Definição dos parâmetros de projeto do aproveitamento 108
8.2 Determinação da potência instalada e da energia garantida 109
8.3 Análise dos resultados dos estudos energéticos 112
9. ESTUDO DE CASO - ESTUDOS ECONÔMICO-FINANCEIROS 115
9.1 Determinação dos custos e benefícios energéticos 115
9.2 Determinação dos fluxos de caixa e parâmetros econômico financeiros 118
9.3 Análise dos resultados dos estudos econômico-financeiros 125
10. AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DA INFORMAÇÃO HIDROLÓGICA 132
11. CONCLUSÕES 140
ANEXOS 149
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 180

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Capacidade elétrica dos Sistemas Interligados segundo a fonte de geração (1996) 13

Tabela 2.2 Panorama mundial da geração de energia elétrica (1996) 14

Tabela 2.3 Capacidade hidrelétrica instalada (1996) e prevista (1997-2006) 16

Tabela 2.4 Capacidade hidrelétrica total e inexplorada das regiões geo-elétricas – Plano 2015 17

Tabela 2.5 Capacidade hidrelétrica inexplorada dos Estados (1991) 18

Tabela 4.1 Postos fluviométricos extintos e em operação nos Estados 31

Tabela 4.2 Postos pluviométricos extintos e em operação nos Estados 33

Tabela 4.3 Recomendações da OMM para estabelecimento de rede de monitoramento pluviométrico e fluviométrico com densidade mínima 37

Tabela 4.4 Densidade dos postos pluviométricos e fluviométricos da Rede Básica Hidrometeorológica Nacional 39

Tabela 7.1 Postos fluviométricos utilizados 64

Tabela 7.2 Postos pluviométricos utilizados 67

Tabela 7.3 Totais evaporados em tanque tipo Classe "A" no posto Peixe 67

Tabela 7.4 Séries de vazões médias mensais obtidas - denominação 86

Tabela 7.5 Períodos utilizados para calibração e verificação do modelo SMAP 97

Tabela 7.6 Valores característicos na série histórica no local do estudo de caso e das séries obtidas para os diferentes cenários 101

Tabela 8.1 Vazão mínima defluente para cada uma das séries 109

Tabela 8.2 Potência instalada do aproveitamento integrado para cada uma das séries 111

Tabela 8.3 Diferença relativa entre os valores de potência instalada obtidos a partir das 9 séries de vazões médias mensais 112

Tabela 9.1 Fluxo de caixa obtido para a série nº 6 do Cenário 4, por SMAP (SMAP-FazLob), com MRE. 121

Tabela 9.2 Fluxo de caixa obtido para a série nº 6 do Cenário 4, por SMAP (SMAP-FazLob), sem MRE. 122

Tabela 9.3 Parâmetros estatísticos do TRD 124

Tabela 9.4 Parâmetros estatísticos da TIR, VPL e B/C 124

Tabela 9.5 TIR com 95% de freqüência em relação a taxa de atratividade esperada (9%) 126

Tabela 10.1 Resultados da análise de sensibilidade da taxa de juros e dos custos total do investimento e de operação e manutenção 134

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Divisão geo-elétrica do Brasil 15

Figura 4.1 Bacias hidrográficas brasileiras 28

Figura 4.2 Distribuição dos postos fluviométricos e pluviométricos em operação segundo as regiões geo-elétricas 29

Figura 4.3 Distribuição dos postos fluviométricos com mais de 30 anos de registro histórico e com registro no período crítico do sistema elétrico nacional 32

Figura 4.4 Distribuição dos postos pluviométricos com mais de 30 anos de registro histórico e com registro no período crítico do sistema elétrico nacional 34

Figura 4.5 Situação da consistência de dados fluviométricos e pluviométricos em 1996 36

Figura 5.1 Determinação da energia gerada para uma determinada configuração de um aproveitamento hidrelétrico 42

Figura 6.1 Local escolhido para o estudo de caso 62

Figura 7.1 Localização das bacias hidrográficas de interesse e dos postos hidrométricos utilizados 68

Figura 7.2 Posto Porto Nacional - Relações *cota x vazão* utilizadas pela ANELL - Principais tendências 71

Figura 7.3 Posto Porto Nacional - Relações cota x vazão utilizadas pela ANELL e medições de descarga líquida 73

Figura 7.4 Posto Porto Nacional - Medições de descarga líquida e curva de descarga revisada 74

Figura 7.5 Posto Jacinto - Medições de descarga líquida, curva de descarga da ANEEL e curva de descarga revisada 77

Figura 7.6 Posto Colonha - Medições de descarga líquida, curva de descarga da ANEEL e curva de descarga revisada 79

Figura 7.7 Posto Fazenda Lobeira - Medições de descarga líquida, curva de descarga da ANEEL e curva de descarga revisada 81

Figura 7.8 Correlação entre vazões médias mensais dos postos Porto Nacional e Fazenda Lobeira 83

Figura 7.9 Curva duplo-acumulativa - Posto Paranã e postos localizados no Estado da Bahia 85

Figura 7.10 Função entre área de drenagem e vazão média de longo termo para os Cenários 3 e 4 88

Figura 7.11 Correlação entre vazões médias mensais (m^3/s) para os Cenários 2, 3 e 4 91

Figura 7.12 Estrutura do modelo de transformação chuva-vazão SMAP - Versão mensal 94

Figura 7.13 Sazonalidade na região do estudo de caso - Vazões médias mensais de longo termo 97

Figura 7.14 Calibração e verificação do modelo SMAP - Cenário 2 98

Figura 7.15 Calibração e verificação do modelo SMAP - Cenário 3 99

Figura 7.16 Calibração e verificação do modelo SMAP - Cenário 4 99

Figura 7.17 Diferença percentual das vazões médias mensais de longo termo, mês a mês, em relação à série histórica disponível no local do estudo de caso 102

Figura 7.18 Curvas de permanência de vazões médias mensais obtidas para os diferentes cenários considerados 103

Figura 7.19 Curvas de permanência de vazões médias mensais obtidas pelas diferentes metodologias para obtenção de séries consideradas 104

Figura 7.20 Variação da vazão específica dos postos Jacinto e Porto Nacional ao longo do ano 106

Figura 8.1 Vazões médias mensais no período crítico das 9 séries 113

Figura 9.1 Diagrama do fluxo de caixa obtido para a série nº 6 do Cenário 4, por SMAP (SMAP-FazLob), com e sem MRE. 123

Figura 9.2 Diagrama dos valores comercializados no mercado SPOT de energia, para a série nº 6 do Cenário 4, por SMAP (SMAP-FazLob), com e sem MRE. 123

Figura 9.3 Curvas de freqüência da TIR - por cenário de disponibilidade de dados 127

Figura 9.4 Curvas de freqüência do VPL - por cenário de disponibilidade de dados 128

Figura 9.5 Curvas de freqüência da TIR - por metodologia de obtenção de séries de vazões médias mensais 129

Figura 9.6 Curvas de freqüência do VPL - por metodologia de obtenção de séries de vazões médias mensais 130

Figura 10.1 Tendência de preço da energia nova para diferentes TIR 136

Figura 10.2 Tendência do preço da energia nova para diferentes taxas de juros 137

Figura 10.3 Tendência de preço da energia nova para diferentes câmbios do dólar 137

Figura 10.4 Tendência de preço da energia nova para diferentes cortes no investimento 138

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL:	Agência Nacional de Energia Elétrica
B/C:	Índice Benefício/Custo
CCPE:	Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos
CCC:	Conta de Consumo de Combustíveis
COPEL:	Companhia Paranaense de Energia
CPRM:	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DNAEE:	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
ELETROBRÁS:	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
INMET:	Instituto Nacional de Meteorologia
MAE:	Mercado Atacadista de Energia
MODDHT:	Modelo de Despacho Hidrotérmico
MRE:	Mecanismo de Realocação de Energia
OMM:	Organização Meteorológica Mundial
ONS:	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PDE:	Programação Dinâmica Estocástica
PIE:	Produtor Independente de Energia
SMAP:	*Soil Moisture Accouting Procedure*
TIR:	Taxa Interna de Retorno
TRD:	Tempo de Retorno Descontado
VPL:	Valor Presente Líquido

RESUMO

A implantação de um aproveitamento hidrelétrico exige investimentos de grande vulto, e respostas às questões típicas do empreendedor - investir ou não?; gerará os benefícios esperados ou não? - são fundamentadas em informações cuja confiabilidade nem sempre é a desejável. As informações obtidas a partir da rede hidrométrica possuem um peso significativo na decisão sobre a viabilidade financeira de uma usina hidrelétrica, visto que se constituem na base de estudos que determinam vários aspectos dos benefícios e custos envolvidos. A presente dissertação, através de um estudo de caso, verifica os impactos no desempenho econômico-financeiro de um empreendimento avaliado com base em informações hidrológicas obtidas por diferentes metodologias usualmente utilizadas para a obtenção de séries de vazões médias mensais em locais com escassez de dados hidrométricos. São analisados os métodos de transferência direta (relação entre áreas de drenagem e entre vazões médias de longo termo), correlação e o modelo determinístico de transformação chuva-vazão SMAP, considerando-se diferentes cenários de disponibilidade de dados. Os resultados obtidos são analisados em termos de vazões características, capacidade instalada e parâmetros econômico-financeiros. No estudo efetuado, a vazão média de longo termo foi satisfatoriamente reproduzida por todas as metodologias e cenários. Porém, quando analisada a permanência das vazões médias mensais, verificou-se que os métodos de transferência direta utilizados tendem a descaracterizar hidrologicamente a região em estudo, impondo a ela as condições hídricas da origem dos registros, enquanto que as séries obtidas por correlação e pelo modelo SMAP apresentaram uma melhor adequação. Constatou-se, também, que a disponibilidade de dados na bacia em estudo levou à obtenção de séries de vazões médias mensais que reproduziram, de maneira mais satisfatória, a série histórica disponível para o local. O dimensionamento energético do aproveitamento, considerando sua operação integrada ao sistema, resultou em valores de capacidade instalada sensivelmente diferentes para os casos analisados, sendo que, considerando a sua operação isolada do sistema, esta variação apresentou-se ainda mais significativa. Na avaliação dos parâmetros econômico-financeiros verificou-se que a aplicação do Mecanismo de Realocação de Energia produz uma significativa redução dos riscos hidrológicos, porém, não os elimina. Na determinação do fluxo de caixa, principal instrumento de avaliação da viabilidade do empreendimento, constatou-se a ocorrência de reflexos devidos à adoção das diferentes séries de vazões médias mensais estabelecidas neste estudo, sendo que estes reflexos representam um "novo risco" que não deve ser desprezado. Entretanto, através de uma análise de sensibilidade, verificou-se que este "novo risco" resultou em magnitude e peso que não diferem significativamente dos demais riscos já conhecidos e normalmente avaliados pelo investidor, e não necessariamente chega a proporcionar uma base falsa para a tomada de decisão.

ABSTRACT

The implementation of a hydroelectric scheme demands the investment of large sums, and the answers to the entrepreneur's typical questions – to invest or not?; will it generate the expected benefits? – are based upon information whose reliability is not always as desired. The data obtained from the hydrometric network have a significant weight in the decision on the economical feasibility of a hydroelectric powerplant, as they constitute the basis for studies through which several aspects of the involved costs and benefits are determined. The present dissertation evaluates, through a case study, the impacts on the economical-financial performance of a project of hydrological data obtained by different methods which are commonly used for the determination of monthly mean flow series in places with scarce hidrometric data. The Direct Transfer (ratio between drainage areas and between long term meanflows) and Correlation methods, as well as the SMAP deterministic transformation model were analyzed, considering different scenarios of data availability. The obtained results were analyzed in terms of characteristic flows, installed capacity and economical-financial parameters. In this study the long term mean flow was satisfactorily reproduced by all methods in every scenario. However, when the permanence of the monthly mean flows was analyzed, it was found that the Direct Transfer methods tend to discharacterize the studied region, from the hydrological point of view, by imposing to it the hydrological conditions of the origin of the data. In this respect, the series obtained by correlation and by the SMAP model showed a better adequacy. It has been found also that a greater data availability in the studied basin resulted in significant improvements in the obtained series. The energetic dimensioning of the plant, considering its operation within an integrated generation system, resulted in considerably different values of installed capacity and primary energy for the analyzed cases. The variations were even greater when independent operation was considered. In the evaluation of the economical-financial parameters it was verified that the application of the Energy Realocation Mechanism produces a significant reduction of the hydrological risks, although it does not eliminate them. In the determination of the cash-flow, the main instrument for the evaluation of a project's feasibility, it was found that, although the reflex of the differences which exist between the various monthly meanflow series determined in this study represents a new risk factor which should not be neglected, its magnitude and weight does not differ significantly from the several other risks, which are normally known and evaluated by the investor, and thus does not necessarily constitute a false decision basis.

1. INTRODUÇÃO

A decisão de um empreendedor, seja ele público ou privado, de investir na implantação de um determinado aproveitamento hidrelétrico, tem como principal base de análise as relações entre custos e benefícios. Estes por sua vez, têm como fator preponderante de determinação o resultado de estudos e análises que tiveram como *input* a série de vazões resultante do estudo hidrológico.

Os estudos hidrológicos, visando o dimensionamento de um aproveitamento hidrelétrico em sua fase de viabilidade, são fundamentados, quase que totalmente, em informações disponíveis na rede hidrométrica nacional, cuja coordenação encontra-se a cargo da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

A rede hidrométrica possui postos cujo início da operação datam do final do século XIX, e desde então diversas estações de monitoramento foram implantadas em todo o país. Entretanto, a implantação destes postos, que se deu de forma mais intensa a partir da década de 70, ocorreu de forma bastante lenta em várias regiões. Desta forma, apesar de haver um número razoável de séries com registros de boa qualidade, as mesmas apresentam-se curtas.

Outro aspecto a ser considerado é que a manutenção e operação de uma rede hidrométrica de densidade, qualidade e comprimento de série desejáveis para a caracterização hidrológica satisfatória de qualquer local de uma bacia hidrográfica, requerem alocação de verbas e de pessoal nem sempre disponíveis.

Devido às diversas dificuldades encontradas para a execução desta tarefa, muitos postos acabaram sendo totalmente abandonados ou permanecem operando sem a devida manutenção de suas instalações, proporcionando registros com grande quantidade de

falhas ou com observações de má qualidade, seja pela falta de treinamento e/ou acompanhamento do observador por parte da entidade responsável pelo posto.

A ausência de informações suficientes e confiáveis em algumas regiões do país, torna necessária a adoção de métodos diversos que procuram reproduzir, ou ao menos estimar, as informações hidrológicas necessárias aos estudos no local de interesse.

Estes métodos, apesar de consagrados e amplamente utilizados, têm a sua eficiência dependente de diversos fatores, tais como a semelhança de condições hídricas entre os locais considerados, qualidade dos dados utilizados e adequação do método adotado ao problema em análise.

Os resultados destes métodos, quanto mais distanciados das verdadeiras condições hídricas oferecidas pelo local, podem produzir estimativas tanto mais errôneas de custos e benefícios, podendo induzir o investidor a uma decisão que poderá ser até mesmo desastrosa.

Este trabalho se propõe a avaliar a incerteza na determinação das receitas provenientes da energia gerável em estudos de viabilidade de aproveitamentos hidrelétricos efetuados sem informações hidrométricas confiáveis.

Procurou-se com isso, avaliar o valor da informação hidrológica confiável e verificar a necessidade ou não de maiores investimentos na implantação, manutenção e operação da rede hidrométrica nacional, e a avaliação do impacto da deficiência da mesma frente à tomada de decisões de investimentos em energia hidrelétrica.

Para tanto, foi efetuado um estudo de caso na região brasileira mais típica de ocorrer o tipo de problema proposto: a Região Centro-Oeste.

A Região Centro-Oeste, devido ao seu alto potencial hidrelétrico ainda inexplorado, apresenta-se, nesse setor, como um dos principais pólos de investimentos do País. Entretanto, a acentuada deficiência de informações hidrológicas constatada nesta região faz com que, não somente o hidrólogo, mas principalmente o investidor, tenha a necessidade de um maior conhecimento acerca da robustez dos resultados obtidos, de forma a possuir subsídios mais seguros para nortearem a tomada de decisões.

Esta dissertação encontra-se dividida em 11 capítulos, sendo esta introdução o Capítulo 1.

No Capítulo 2 apresentam-se as principais modificações que estão ocorrendo no sistema elétrico brasileiro, com ênfase no Mercado Atacadista de Energia e no Mecanismo de Realocação de Energia, que surgiram como parte do programa de reestruturação pelo qual o setor vem passando. Nesse mesmo capítulo são também apresentadas análises do papel da hidroeletricidade no contexto energético nacional e do potencial energético do país, seja ele explorado, inventariado ou estimado.

No Capítulo 3 discorre-se sobre os estudos hidroenergéticos, apresentando uma breve descrição de suas etapas e os respectivos objetivos destas.

No Capítulo 4 apresenta-se uma análise da rede hidrométrica nacional e dos dados disponíveis, tanto em termos dos trabalhos de consistência realizados pela entidade responsável quanto à densidade dessa rede nos diversos Estados, e no Capítulo 5 discorre-se sobre os riscos decorrentes da escassez de dados hidrométricos em estudos hidroenergéticos.

O estudo de caso efetuado para a avaliação do impacto da informação hidrológica no dimensionamento energético de aproveitamentos hidrelétricos é apresentado nos Capítulos 6 a 9. O Capítulo 6 apresenta a metodologia adotada e os critérios e análises

efetuadas para a escolha do local. Nos Capítulos 7 e 8 são apresentados os estudos hidrológicos e energéticos, respectivamente, compreendendo as etapas de análise e consistência dos dados utilizados, obtenção das séries de vazões médias mensais para diferentes cenários de disponibilidade de dados hidrológicos e diferentes metodologias de regionalização, e a conseqüente determinação da capacidade instalada do aproveitamento para estas diferentes séries. No Capítulo 9 apresentam-se os estudos econômico-financeiros efetuados e os resultados obtidos em termos de fluxo de caixa e parâmetros econômico-financeiros do empreendimento.

O Capítulo 10 apresenta a análise de sensibilidade efetuada para a avaliação do peso e significância das diferenças verificadas entre os resultados econômico-financeiros obtidos no estudo de caso a partir da adoção das diferentes séries de vazões médias mensais.

E, finalmente, no Capítulo 11 apresentam-se as principais conclusões obtidas durante o desenvolvimento desta dissertação, e sugestões para estudos futuros.

2. O SISTEMA ELÉTRICO NACIONAL

A organização institucional do Sistema Elétrico Nacional vem passando por profundas mudanças que têm como principal objetivo concentrar os organismos governamentais na tarefa de elaboração das políticas energéticas e regulamentação do setor, e transferir para o setor privado a responsabilidade da operação e investimentos.

Esta reformulação, que tem introduzido diversas modificações na organização, procedimentos e nos papéis dos diversos agentes, apesar de já delineada, tem suscitado amplos estudos, análises e debates em vários setores da sociedade, visto algumas regras já estabelecidas poderem levar à severas implicações financeiras para os agentes, tendo esse fato resultado em questionamentos sobre o necessário equilíbrio comercial do novo modelo.

Apresentam-se a seguir alguns conceitos e definições do setor elétrico brasileiro, sendo alguns desses resultantes do processo de reformulação.

2.1 A configuração do sistema elétrico

Junto com a desverticalização da indústria energética, surgiu uma das principais figuras da reestruturação do setor: o Produtor Independente de Energia (PIE).

O PIE, de acordo com o estabelecido no Artigo 13 da Lei 9074/95 (ARAÚJO e HOFFMANN, 1998), venderá a sua produção de energia por preço definido, exclusivamente, pelas forças de mercado, estabelecendo-se assim o fator concorrência. Em se tratando de energia hidrelétrica, celebrará com a União um contrato de Uso de Bem Público.

A ANEEL é a autoridade reguladora e fiscalizadora do sistema, tendo, entre outras, a função de assegurar o fornecimento de energia elétrica adequado e confiável aos consumidores e incentivar a concorrência.

O papel das Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (ELETROBRÁS) no cenário energético foi reformulado, sendo duas de suas mais importantes funções absorvidas por duas novas entidades: o Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos (CCPE) e o Operador Nacional do Sistema (ONS).

O CCPE, que está diretamente ligado à Secretaria de Energia do Ministério de Minas e Energia, passa a ter responsabilidade sobre o planejamento do sistema, tarefa para a qual contará com o auxílio das equipes técnicas da ELETROBRÁS. O ONS, entidade privada, é a responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica nos sistemas interligados brasileiros.

A "nova" ELETROBRÁS passa a ser a *holding* federal, na qual o governo tem participação minoritária, e proporciona ao mesmo a oportunidade de investir capital próprio em projetos de interesse público.

Para reger o relacionamento entre o investidor privado e o governo, estão sendo criados novos mecanismos e regras. Estes terão a função de proporcionar a ambos o alcance dos seus objetivos: para o governo, a garantia do fornecimento de energia elétrica aos consumidores, bem como a continuidade de investimentos no setor; e para o investidor privado, a geração de lucros e retorno do capital investido. Por imposição constitucional, as usinas nucleares e a Itaipu Binacional terão de ser mantidas na esfera estatal.

Dos mecanismos e regras do sistema elétrico que delineiam as várias etapas existentes desde a produção da energia até a sua entrega ao consumidor, para a geração hidrelétrica, destacam-se como principais pontos:

2.1.1 Concessão

A concessão é efetuada por autorização ou licitação. A concessão é por licitação quando o aproveitamento possui capacidade instalada superior a 30 MW.

2.1.2 Operação

Com relação ao sistema elétrico brasileiro, o produtor independente pode operar integrado ao sistema ou livre, o que é função do porte do aproveitamento e da sua interferência na operação do sistema integrado. Se operar integrado (capacidade instalada igual ou superior a 50 MW), submeter-se-á às regras operativas definidas pela ANEEL, que buscam assegurar a otimização dos recursos energéticos, e prevalecer-se-á da regularização hidrológica proporcionada pela operação integrada; se livre (capacidade instalada inferior a 50 MW), definirá as suas próprias regras operativas, limitadas pela hidrologia do local, assumindo totalmente os riscos hidrológicos.

Também poderão operar de forma integrada os geradores com capacidade instalada inferior a 50 MW que manifestarem opção neste sentido, bem como os autoprodutores com capacidade igual ou superior a 50 MW, desde que sua operação não afete significativamente a otimização eletro-energética do sistema.

2.1.3 Transmissão e Distribuição

De forma a promover a competição da geração, criou-se uma rede básica de transmissão, que se encontra à margem das questões comerciais entre produtores e

consumidores. Assim, qualquer fornecimento a um consumidor livre será viável considerando-se, entretanto, as limitações operativas desta rede.

A remuneração pela utilização da rede dar-se-á mediante o pagamento de tarifas de transporte, sendo as relações comerciais devidas ao mesmo realizadas pelo ONS, que é o órgão gestor da rede.

Como nem toda transmissão estará na rede básica, as distribuidoras deverão administrar os pedidos de acesso ao seu subsistema, viabilizando o caminho elétrico entre o produtor e o consumidor.

A condições gerais de acesso aos sistemas de transmissão e distribuição, estabelecidas pela ANEEL, têm como objetivo: (1) assegurar tratamento não discriminatório a todos os usuários dos referidos sistemas; (2) assegurar a cobertura de custos compatíveis com custos-padrão; (3) estimular novos investimentos na expansão dos sistemas; (4) induzir a utilização racional dos sistemas; e (5) indicar aos novos usuários a localização mais adequada de suas instalações, com vistas a minimizar os custos de ampliação ou utilização dos sistemas elétricos.

2.1.4 Comercialização

O novo modelo institucional do setor elétrico prevê que a comercialização da energia do sistema interligado dar-se-á através de contratos bilaterais firmados entre as empresas interessadas ou através de operações realizadas pelo preço de curto prazo do mercado (operações *spot*).

Os contratos bilaterais, através dos quais o gerador deverá negociar a maior parte de sua energia, terão especificados os preços e volumes contratados. Através das operações *spot*, serão negociados os volumes não contratados bilateralmente.

Para a realização destas negociações foi criado o Mercado Atacadista de Energia (MAE).

2.1.4.1 MAE - Mercado Atacadista de Energia

Serão integrantes do MAE: (1) titulares de concessão ou autorização para exploração de serviços de geração que possuam central geradora com capacidade instalada igual ou superior a 50 MW; (2) titulares de concessão, permissão ou autorização para exercício de atividades de comercialização de energia elétrica com mercado igual ou superior a 300 GWh/ano; e (3) titulares de autorização para importação ou exportação de energia elétrica em montante igual ou superior a 50 MW.

Os demais titulares, que não se enquadrarem nos limites acima, também poderão optar por serem integrantes do MAE, bem como os consumidores livres.

A energia gerada por um determinado empreendedor, que for contratada bilateralmente, o será em caráter competitivo, de acordo com o interesse das partes envolvidas. Já a energia não contratada será comercializada em operações *spot*. Atualmente, o preço *spot* é definido pelo MAE antes do despacho em tempo real (ex-ante). Entretanto, está previsto que o preço *spot* passe a ser definido também após o despacho (ex-post), representando desta forma o custo real de operação verificado no sistema. Assim, a contabilização passará a ser dupla: na primeira parte contabiliza-se com o preço ex-ante, e após a definição do preço ex-post contabilizam-se eventuais diferenças verificadas.

O preço *spot* de energia reflete o custo marginal de curto prazo do sistema, e pode atingir valores bastante altos. Desta forma, o investidor estará exposto ao risco hidrológico, neste contexto representado pela volatilidade do preço *spot* de energia do MAE.

Este risco poderá ser materializado quando, em determinadas situações, o gerador submetido ao despacho centralizado for instruído a reduzir a sua produção energética em benefício do sistema como um todo. Esta situação poderá levar o gerador a ter de recorrer ao mercado *spot*, submetendo-se ao preço deste, para honrar seus contratos bilaterais firmados a preço de mercado competitivo.

Tendo-se em vista estes aspectos, e que a atual reestruturação do setor elétrico abre espaço para a entrada de capital de investidores privados, torna-se importante considerar que a decisão de investimento de capital pelo empreendedor privado depende basicamente da análise do nível de retorno do capital investido *versus* os riscos envolvidos no empreendimento.

Para o panorama anterior à reformulação do sistema, o Decreto Nº 73.102/73 (BRASIL, 1973) estabelecia que os ônus e vantagens decorrentes das variações de condições hidrológicas em relação ao período hidrológico crítico, bem como os decorrentes do consumo dos combustíveis fósseis necessários ao atendimento das necessidades do sistema, fossem rateados entre todas as empresas concessionárias do setor, de acordo com critérios preestabelecidos. Na prática, os ônus acabavam por se "dissolverem" no sistema e terminavam sendo repassados para os consumidores.

Neste novo cenário, cada usina integrante do sistema fechará um contrato específico, onde serão previstos os ônus e benefícios referentes ao aproveitamento em questão. Estes, portanto, serão do empreendedor. O repasse destes para o consumidor já não será mais um bom negócio, visto que valerão as leis de mercado e livre concorrência.

Este novo aspecto, introduzido pela reformulação do setor, levou os órgãos governamentais a criarem uma ferramenta de administração do risco hidrológico, o Mecanismo de Realocação de Energia (MRE), de forma a evitar um possível afastamento do investidor privado frente a estes riscos.

2.1.4.2 MRE - Mecanismo de Realocação de Energia

O MRE foi criado com o objetivo de gerenciar o risco hidrológico enfrentado pelos geradores devido à variação de sua energia individual, quando esta é fruto da otimização geral do sistema, e dele participam todos os geradores hidrelétricos despachados centralizadamente, aos quais é designado um volume de energia assegurada, com base no critério de 5% de déficit, através de simulações hidrotérmicas. Entretanto, como os geradores térmicos que participam da Conta de Consumo de Combustíveis (CCC) também são centralizadamente, estes também encontram-se integrados ao MRE, o que prevalecerá até que a CCC seja extinta dos sistemas interligados, o que ocorrerá na mesma proporção da liberação dos Contratos Iniciais.

O MRE garante ao gerador participante, estando o sistema superavitário, a sua energia assegurada quando a sua produção tiver que ser reduzida em função do despacho centralizado.

A parcela de energia secundária do sistema atualmente é dividida da seguinte maneira: 50% entre todos os participantes do MRE, proporcionalmente à sua energia assegurada; e 50% entre os participantes que efetivamente produziram a energia excedente, proporcionalmente a esta geração. Prevê-se que futuramente a totalidade da energia secundária ocorra entre todos os agentes participantes, proporcionalmente à sua energia assegurada, não se levando em conta a geração efetiva dos agentes.

No caso de déficit do sistema, o mesmo será dividido entre todos os geradores integrantes, proporcionalmente às respectivas energias asseguradas.

O custo da energia transferida pelo MRE será pequeno, pois refletirá apenas os custos de operação e compensação financeira correspondentes.

Após a realocação, tanto em caso de déficit como superávit, a energia faltante ou excedente ao cumprimento dos contratos será comercializada ao preço do mercado (operações *spot*).

BETTEGA, BUSETTI e MÜLLER (1998) mostraram, através de um estudo de caso onde consideraram alguns aproveitamentos da Companhia Paranaense de Energia (COPEL), que o MRE reduz sensivelmente a exposição dos aproveitamentos ao preço do MAE, tendo os pontos de maior exposição, para o caso analisado, sido observados no período crítico do sistema.

Neste mesmo trabalho, avaliada a participação da usina hidrelétrica de Itaipu no MRE, concluiu-se que a sua inclusão mostrou-se benéfica para as usinas analisadas, porém, não para ela própria. Apoiados neste fato, Bettega, Busetti e Müller concluíram que "... a eficiência do MRE para uma determinada usina hidrelétrica dependerá do comportamento do seu regime hidrológico em relação ao regime hidrológico do sistema".

2.2 O papel da hidroeletricidade

O sistema elétrico nacional apresenta características que o distingue da maior parte dos sistemas elétricos no mundo. Trata-se de um sistema predominantemente hidrelétrico, com usinas de grandes reservatórios de regularização plurianual. Na produção de energia elétrica, a participação hidrelétrica alcança cerca de 97%, sendo que, atualmente, a produção térmica se destina basicamente aos sistemas isolados e à complementação no atendimento do mercado dos sistemas interligados. Esta complementação se faz necessária nos períodos hidrologicamente desfavoráveis ou para atendimento localizado, quando ocorrem restrições de transmissão.

O sistema elétrico brasileiro é composto hoje pelos Sistemas Interligados Sul/Sudeste/Centro-Oeste e Norte/Nordeste, e pelos Sistemas Isolados. Estes Sistemas apresentam-se no cenário de produção elétrica nacional conforme mostrado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 Capacidade elétrica dos Sistemas Interligados segundo a fonte de geração (1996)

Característica		Sistema		
		Sul/Sudeste /Centro-Oeste	**Norte/ Nordeste**	**Isolados**
Capacidade Instalada Total (MW)		41.713*	14.172	1.680
Usinas Hidrelétricas	Capacidade (MW)	38.281	13.879	576
	Representação no Sistema (%)	91,8	97,9	34,3
	Representação no Brasil (%)	66,5	24,1	1,0
	Potência Inventariada (MW)	38.506	57.807	-
Usinas Térmicas	Capacidade (MW)	3.432	293	1.104
	Representação no Sistema (%)	8,2	2,1	65,7
	Representação no Brasil (%)	6,0	0,5	1,9

*inclui 50% da capacidade da UHE Itaipu

Com esta predominância hidrelétrica, o sistema gerador brasileiro apresenta-se, em termos mundiais, muito diferenciado dos demais países. Na Tabela 2.2 é comparada a participação das diferentes fontes primárias na geração de energia elétrica, no âmbito mundial (predominância do carvão, seguido da hidrelétrica e nuclear) e no Brasil, ficando evidenciado o contexto bem distinto da situação brasileira (BRASIL, 1996).

Tabela 2.2 Panorama mundial da geração de energia elétrica (1996)

Fonte	Local	
	No mundo	No Brasil
Carvão	40%	1,2%
Hidro	19%	96,8%
Nuclear	17%	0,7%
Gás	13%	-
Deriv. Petróleo	11%	1,3%

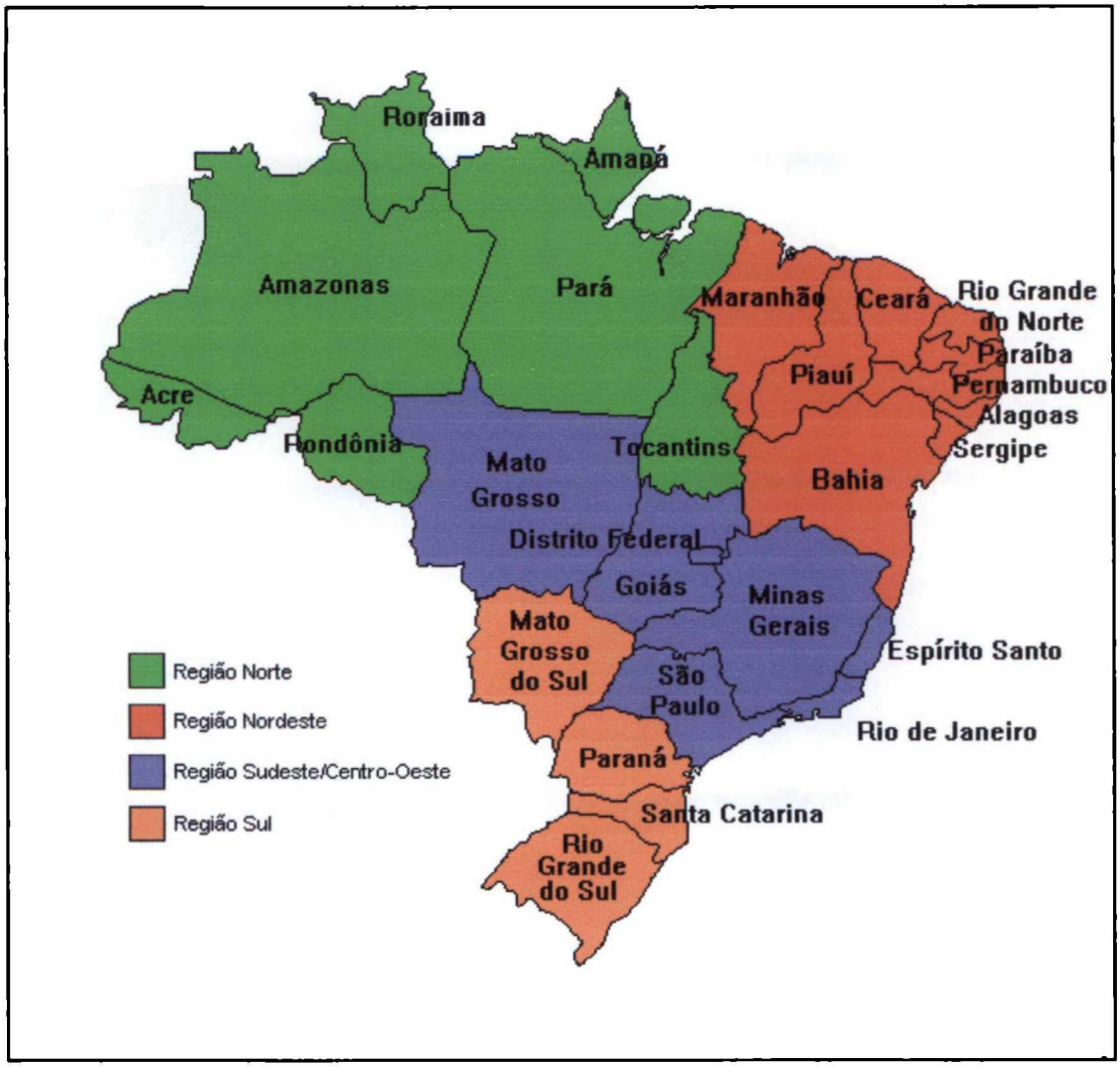
2.3 Capacidade hidrelétrica nacional instalada e prevista

O planejamento dos sistemas elétricos é atribuição do Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos – CCPE, o qual foi criado a partir da reestruturação do setor e que encontra-se vinculado à Secretaria de Energia do Ministério de Minas e Energia. Este órgão tem como objetivo, entre outros, oferecer aos agentes do mercado de energia elétrica um quadro de referência para os seus planos de investimento, através do planejamento indicativo da expansão de geração.

As análises aqui apresentadas foram efetuadas a partir dos dados constantes no Plano Decenal de Expansão 1997-2006, que apresenta a capacidade elétrica instalada no país até 1996, bem como a capacidade prevista para entrar em operação no período de abrangência do referido plano.

Para uma melhor análise e apresentação destes valores, adotou-se a divisão geo-elétrica estabelecida pela ELETROBRÁS, havendo como única simplificação a inclusão da totalidade do Estado do Tocantins na Região Norte, sendo que na divisão original, a parte sul do mesmo encontra-se anexada à Região Sudeste/Centro-Oeste. A divisão adotada é apresentada na Figura 2.1.

Figura 2.1 Divisão geo-elétrica do Brasil



A Tabela 2.3 apresenta as parcelas da capacidade elétrica nacional instalada e prevista, para entrada em operação no período compreendido entre abril/1997 e abril/2006, referentes aos aproveitamentos hidrelétricos interligados ao sistema nacional. Apenas os aproveitamentos hidrelétricos foram considerados nas análises por representarem a maior fração do potencial elétrico do país (97%), sendo que os mesmos são quase que totalmente interligados (99%).

Tabela 2.3 Capacidade hidrelétrica instalada (1996) e prevista (1997-2006)

Região	Cap. Inst. (MW) (Sist. Interligado)	Cap. Prevista para Inst. (MW) (04/1997 - 04/2006)
Norte	4.242,80	6.493,00
Nordeste	9.636,40	3.570,80
Sudeste / Centro-Oeste	25.034,92	9.658,91
Sul	13.245,45	6.318,10
Total	52.160	26.041

Além da programação dos empreendimentos que deverão passar a gerar energia à médio prazo, também é efetuada a avaliação do potencial hidrelétrico do país. Esta estimativa tem se tornado cada vez mais precisa à medida que dados em maior volume e mais confiáveis vão sendo acrescidos às análises, bem como à medida que maiores investimentos em estudos de escritório e de campo são efetuados. Estes fatores permitem um maior conhecimento das bacias hidrográficas e resultam, conseqüentemente, em melhores partições de queda destas bacias.

Tendo como base as informações para 1991 que constam no Plano Nacional de Energia Elétrica 1993-2015 - Plano 2015 (BRASIL, 1994), o potencial energético brasileiro é de cerca de 261.400 MW, sendo que 39% deste valor encontra-se totalmente inexplorado, não tendo sido sequer inventariado.

A distribuição deste potencial hidrelétrico estimado, segundo as regiões geo-elétricas, é apresentada na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 Capacidade hidrelétrica total e inexplorada das regiões geo-elétricas – Plano 2015

Região	Cap. Total		Cap. Inexplorada		
	(MW)	(%)	(MW)	(%) da cap. total da região	(%) da cap. Inexplorada do país
Norte	109.730,2	41,97	62.343,8	56,82	61,12
Nordeste	26.351,0	10,08	1.596,0	6,06	1,56
Sudeste / Centro-Oeste	76.739,7	29,35	27.622,6	36,00	27,08
Sul	48.641,8	18,60	10.431,6	21,45	10,23
Total	261.462,7	100,00	101.994,0	39,01	100,00

Nota-se que a Região Norte concentra mais de 40% da capacidade hidrelétrica nacional, sendo que cerca de 57% do seu potencial encontra-se ainda por ser explorado, o que representa aproximadamente 61% do potencial inexplorado do país. Estão incluídos na capacidade hidrelétrica total dessa região os aproveitamentos em construção, operação, e em estudo (inventário, viabilidade e projeto básico), sendo esses valores respectivamente iguais a 479,6 MW, 4.326,7 MW e 42.580,1 MW. Da capacidade hidrelétrica em estudo da Região Norte, cerca de 80% corresponde ao Estado do Pará.

Também a região Sudeste/Centro-Oeste possui uma forte representação na potência hidroelétrica nacional a ser explorada: cerca de 27%. Da capacidade hidrelétrica dessa região, 21505,9 MW encontram-se em operação, e 22.117,6 MW em estudos de inventário, viabilidade ou projeto básico.

O potencial hidrelétrico inexplorado de cada região é apresentado na Tabela 2.5, indicando os Estados mais representativos em termos desta capacidade.

Os Estados do Pará, Amazonas e Roraima, na Região Norte, e Mato Grosso, na Região Sudeste/Centro-Oeste, representam hoje as maiores fontes de energia hídrica inexplorada do país, com cerca de 71.000 MW, o que corresponde a 70% da capacidade hidrelétrica nacional disponível para exploração.

A taxa atual de aproveitamento do potencial hidroenergético destes Estados é bastante baixa, correspondendo a 7,10%, 1,28%, 1,41% e 1,55% da capacidade total disponível para os Estados do Pará, Amazonas, Roraima e Mato Grosso, respectivamente.

Estes baixos percentuais são devidos, em grande parte, a questões ambientais e custos de transmissão, por estarem distanciados dos principais centros de carga.

Tabela 2.5 Capacidade hidrelétrica inexplorada dos Estados (1991)

Região	Estado	Capacidade Inexplorada		
		Na região		No país
Norte	Pará	21.360,0 MW	34,0%	20,94%
	Amazonas	19.322,0 MW	30,8%	18,94%
	Roraima	13.675,0 MW	21,8%	13,41%
	Demais Estados	8.437,8 MW	13,4%	8,27%
	Total	**62.794,8 MW**	**100,0%**	**61,57%**
Nordeste	Bahia	994,1 MW	86,8%	0,97%
	Piauí	104,2 MW	9,1%	0,10%
	Pernambuco	24,0 MW	2,1%	0,02%
	Demais Estados	22,7 MW	2,0	0,02%
	Total	**1.145,0 MW**	**100,0%**	**1,12%**
Sudeste/	Mato Grosso	16.890,9 MW	61,1%	16,56%
Centro-Oeste	Goiás	4.285,8 MW	15,5%	4,20%
	Minas Gerais	4.255,8 MW	15,4%	4,17%
	Demais Estados	2.195,1 MW	7,9%	2,15%
	Total	**27.622,6 MW**	**100,0%**	**27,08%**
Sul	Rio Grande do Sul	4.319,9 MW	41,4%	4,24%
	Paraná	2.618,3 MW	25,1%	2,57%
	Santa Catarina	2.361,8 MW	22,6%	2,32%
	Demais Estados	1.131,6 MW	10,9%	1,11%
	Total	**10.431,6 MW**	**100,0%**	**10,23%**
	TOTAL	101.994,0 MW	-	100,00%

O Plano 2015, na análise do potencial hidrelétrico da Amazônia, prevê que o Brasil dificilmente poderá abrir mão deste parque energético, e que o maior desafio desta questão será definir qual a parcela deste potencial que poderá ser efetivamente aproveitada, sem causar efeitos ambientais que sejam julgados inaceitáveis pela sociedade.

Quanto à distância dos centros de carga, os Planos 2015 e Decenal prevêem a construção de novas linhas de transmissão e a interligação dos diversos sistemas elétricos, de forma a se obter uma utilização mais racional e otimizada da energia gerada nas diversas regiões do país.

3. ESTUDOS HIDROENERGÉTICOS

Segundo o MANUAL DE INVENTÁRIO HIDRELÉTRICO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS (ELETROBRÁS, 1997), o potencial hidrelétrico de um determinado local corresponde ao potencial que pode ser técnica, econômica e ambientalmente aproveitado, em relação a uma determinada configuração específica de um sistema elétrico, considerando-se as usinas em operação, em construção ou planejadas, e levando-se em conta cenários de utilização múltipla.

De acordo com este mesmo manual, as etapas de estudos e projetos para implantação de um aproveitamento hidrelétrico são:

Estimativa do potencial hidrelétrico: procede a análise preliminar das características da bacia hidrográfica, no sentido de verificar a sua vocação para geração de energia elétrica. Efetuada em escritório, com base apenas nos dados disponíveis, faz a primeira avaliação do potencial e estimativa de custo do aproveitamento da bacia hidrográfica, e a definição de prioridades para a etapa seguinte.

Estudo de inventário hidrelétrico: determinação do potencial hidrelétrico da bacia e definição da melhor divisão de queda. Efetuado utilizando-se dados secundários complementados com informações de campo, e pautada em estudos básicos (hidrometeorológicos, energéticos, geológicos, ambientais e outros usos da água).

Estudo de viabilidade: definição da concepção global de um dado aproveitamento. Compreende o dimensionamento do aproveitamento, das obras de infra-estrutura local e regional necessárias à sua implantação, do seu reservatório e respectiva área de influência, dos outros usos da água, e as ações ambientais correspondentes. O relatório final do estudo de viabilidade constitui a base técnica para a licitação da concessão de projetos de geração.

Projeto básico: detalhamento e definição do orçamento do aproveitamento, de forma a permitir a elaboração dos documentos de licitação das obras civis e do fornecimento e montagem dos equipamentos hidromecânicos e eletromecânicos. Nesta etapa se realiza, também, o Projeto Básico Ambiental.

Projeto executivo: elaboração dos desenhos de detalhamento das obras civis e dos equipamentos hidromecânicos e eletromecânicos necessários à execução da obra e à montagem dos equipamentos. Nesta etapa são tomadas todas as medidas pertinentes à implantação do reservatório.

3.1 Estudos hidrológicos

Das etapas de estudos para a implantação de um aproveitamento hidrelétrico, as três primeiras têm seus estudos hidrológicos efetuados, na grande maioria das vezes, a partir dos dados disponíveis para a região em questão. A partir de então, são definidas as carências de informações e as ações para a obtenção de dados mais confiáveis para as etapas seguintes.

De forma geral, os estudos hidrológicos a serem efetuados para o dimensionamento energético de um aproveitamento hidrelétrico visam (CASTOR SOBRINHO, 1983):

a) caracterização física da bacia contribuinte;

b) caracterização do regime fluviométrico do rio, com determinação de vazões para utilização nos cálculos da potência a ser instalada e da energia assegurada quando da interligação da usina ao sistema;

c) determinação da relação cota-descarga do canal de fuga da usina;

d) verificação da possibilidade de um aproveitamento a fio d'água ou com regularização.

Para estes estudos, os dados hidrometeorológicos a serem coletados correspondem às series de descargas diárias líquidas e sólidas e dados meteorológicos (precipitação, vento, insolação, temperatura, etc.) das estações já existentes na bacia, com dados confiáveis e período de registro suficientemente longo. Devem ser levantadas as

principais informações disponíveis, tais como fichas descritivas das estações, resumos das medições de descarga líquida e registros de observações de níveis de água ou limnigramas, além de eventuais análises de consistência de dados realizadas. Devem também ser determinadas as lacunas espaciais e temporais existentes. A rede fluviométrica de estações deve ser caracterizada em termos do tipo e características do dado disponível. Também a obtenção de dados geológicos pode auxiliar a caracterização das condições de regularização hídrica da bacia hidrográfica.

O estudo de viabilidade, do qual resulta o dimensionamento de um determinado aproveitamento e as informações a serem utilizadas durante o processo de licitação do empreendimento é, desta forma, baseado principalmente nas informações provenientes da rede de monitoramento hidrométrico nacional, cujo planejamento, coordenação e centralização encontra-se a cargo da ANEEL.

3.2 Estudos energéticos

Em um estudo de viabilidade para um aproveitamento hidrelétrico, o dimensionamento energético consiste na determinação da depleção máxima do reservatório (volume útil), da potência instalada (capacidade total dos geradores) e da queda de referência (queda líquida na qual as turbinas com seus distribuidores totalmente abertos irão fornecer a potência instalada). (LÔU, ALBUQUERQUE e ORLEANS, 1985)

Os dados necessários são as séries de vazões naturais médias mensais, no período histórico disponível, incluindo o período crítico do sistema de referência ao qual a bacia está inserida, e os níveis de água normais característicos dos locais de barramento.

O MANUAL DE INVENTÁRIO HIDRELÉTRICO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS (ELETROBRÁS, 1997) define por sistema de referência o conjunto de usinas geradoras de energia elétrica, em relação ao qual os benefícios energéticos da

alternativa em exame devem ser quantificados. O sistema de referência deve ser caracterizado pelo sistema eletro-energético ao qual o aproveitamento será interligado.

O Decreto Nº 73.102/73 (BRASIL, 1973), em seu Art. 19, define o período hidrológico crítico dos sistemas elétricos interligados da Região Sudeste/Centro-Oeste e da Região Sul como aquele em que, em decorrência de condições hidrometeorológicas diversas, os reservatórios de acumulação hidráulica neles existentes tiverem de ser plenamente utilizados, atendidos os seguintes aspectos: continuidade do suprimento de energia elétrica aos sistemas distribuidores, de forma a atender plenamente aos seus requisitos de potência e energia, e sob condições de tensão e freqüência adequadas; e economia dos combustíveis utilizados nas centrais termoelétricas, restringindo o seu consumo ao mínimo indispensável ao atendimento dos requisitos dos sistemas elétricos, em complementação dos recursos hidrelétricos considerando, entretanto, as imposições de interesse nacional.

O mesmo decreto, em seu Parágrafo Único, estabelece que na operação conjunta destes dois sistemas (Sudeste/Centro-Oeste - Sul), o período hidrológico crítico será aquele em que as condições definidas no Art. 19 se aplicarem aos dois sistemas elétricos considerados como único.

A ELETROBRÁS estabelece, no Plano 2015, o período crítico para o sistema elétrico interligado Sudeste/Centro-Oeste - Sul como o corresponde ao período de junho de 1949 a novembro de 1956 (90 meses), que é o mesmo período apontado nas simulações de longo prazo efetuadas considerando-se apenas a Região Sudeste/Centro-Oeste.

Para o sistema Norte/Nordeste, apesar da hidrologia apresentar-se significativamente distinta do sistema Sudeste/Centro-Oeste - Sul, geralmente é considerado o mesmo período crítico, devido aos estudos estarem concentrados

principalmente na Bacia do Rio São Francisco, que apresenta hidrologia similar à Região Sudeste.

A interligação destes dois sistemas (Sudeste/Centro-Oeste - Sul e Norte/Nordeste), que já se encontra implantada, proporciona um sistema único que abrange todo o território nacional. Simulações recentes efetuadas pela ELETROBRÁS apontam que para este sistema único prevalece o período crítico definido para o sistema Sudeste/Centro-Oeste – Sul, ou seja, o período de junho de 1949 a novembro de 1956, fato este explicado pelo alto grau de regularização existente neste último sistema. Para que houvessem alterações no período crítico para o sistema interligado único, seria necessário que existissem nas regiões Norte e Nordeste reservatórios de tamanho tal que possibilitassem a regularização da grande sazonalidade observada nestas regiões.

3.3 Custos e benefícios energéticos

A implantação de um aproveitamento hidrelétrico implica em custos elevados que, evidentemente, devem gerar benefícios econômicos e sociais que compensem os investimentos realizados.

Os estudos de viabilidade de um empreendimento hidrelétrico têm como critério básico a maximização da eficiência econômico-energética em conjunto com a minimização dos impactos ambientais. Consequentemente, para a sua realização, devem ser estabelecidos critérios de natureza energética, econômica, ambiental e técnica de engenharia.

Os critérios de natureza energética e econômica referem-se à otimização do aproveitamento do potencial hidrelétrico da bacia estudada, respeitadas as parcelas de queda e vazão comprometidas com outros usos da água, quando estes existirem. Esses critérios estão relacionados com o objetivo de maximização da eficiência econômica-

energética, que é traduzida na comparação das alternativas pela composição do índice custo/benefício energético (US$/MWh). Este índice é definido como a razão entre o seu custo total anual e o seu benefício energético.

3.3.1 Custos

Os custos decorrentes de um aproveitamento hidrelétrico envolvem vários fatores, como projeto, construção, aspectos institucionais, sociais, políticos, entre outros.

Para o processo de avaliação da viabilidade de uma determinada usina hidrelétrica, tendo sido dimensionadas suas estruturas e equipamentos, obtém-se a estimativa dos custos das obras civis e dos equipamentos. Deverão também ser estimados os custos ambientais que serão efetivamente internalizados no custo de implantação dos aproveitamentos e incorporados nos índices custo-benefício.

A estimativa de custo da usina deverá sempre retratar as condições específicas locais, condições mercadológicas da época de implantação do empreendimento e as características específicas do projeto.

3.3.2 Benefícios energéticos

Os benefícios decorrentes de uma usina hidrelétrica são os proporcionados pelo valor de venda da energia. Se o projeto visar múltiplos usos, benefícios adicionais como os decorrentes de irrigação, navegação, etc., poderão ser obtidos.

Os benefícios energéticos, que são os decorrentes do valor de venda da energia, apresentam-se divididos em três categorias: energia firme, energia secundária e capacidade de ponta.

A energia firme corresponde à maior carga que a usina pode atender sem a ocorrência de déficit mesmo nas piores condições hidrológicas registradas no histórico de afluências naturais (ELETROBRÁS, 1997), e representa, nos estudos de inventário, a variável mais importante na análise dos benefícios de uma alternativa, sendo esta considerada como a energia média gerada pela usina, obtida em simulações de operação do sistema ao longo do período crítico do mesmo.

Em um sistema integrado, a energia firme do mesmo é maior que a simples soma das energias garantidas das usinas consideradas isoladamente, pois a interligação elétrica entre as usinas situadas nas diferentes bacias hidrográficas do país permite a compensação da diversidade hidrológica entre as mesmas.

Segundo ARAÚJO e HOFFMANN (1998), esta compensação hidrológica, que proporciona uma maior otimização do aproveitamento dos potenciais hidrelétricos, associada ao aumento de eficiência obtido pela programação conjunta da produção de energia das usinas do sistema, é, atualmente, responsável por um ganho de cerca de 22% (aproximadamente 5.200 MW) na disponibilidade nacional de energia elétrica. Com a interligação elétrica dos sistemas Norte-Sudeste, prevista no Plano 2015, o ganho adicional será de aproximadamente 800 $MW_{médios}$. Por esta análise, estes mesmos autores concluem que, nas atuais condições de atendimento, para a hipótese de operação isolada de cada uma das usinas, sem preocupações com a otimização do sistema, já se teria racionamento caso a gestão integrada fosse abandonada.

Já a energia secundária corresponde à parcela disponível apenas em períodos hidrologicamente favoráveis (ELETROBRÁS, 1997). Quando da interligação de um aproveitamento a um sistema, a energia secundária passa a ser referida ao sistema, e não mais à usina. Neste caso, a energia secundária do sistema é menor que a soma das energias secundárias considerando os aproveitamentos isoladamente, visto que a regularização hídrica proporcionada pela interligação elétrica, transforma parte da energia secundária da

usina em energia garantida no sistema. Da energia secundária resultante do sistema, parte é transformada em energia garantida pela geração térmica, uma vez que esta complementa a geração até que os 95% de garantia sejam atingidos.

A capacidade de ponta representa a capacidade máxima de produção de energia durante o intervalo de tempo correspondente à ponta da carga, e está diretamente relacionada à capacidade instalada da usina, ou, considerando-se um sistema interligado, à capacidade instalada das usinas (ELETROBRÁS, 1997).

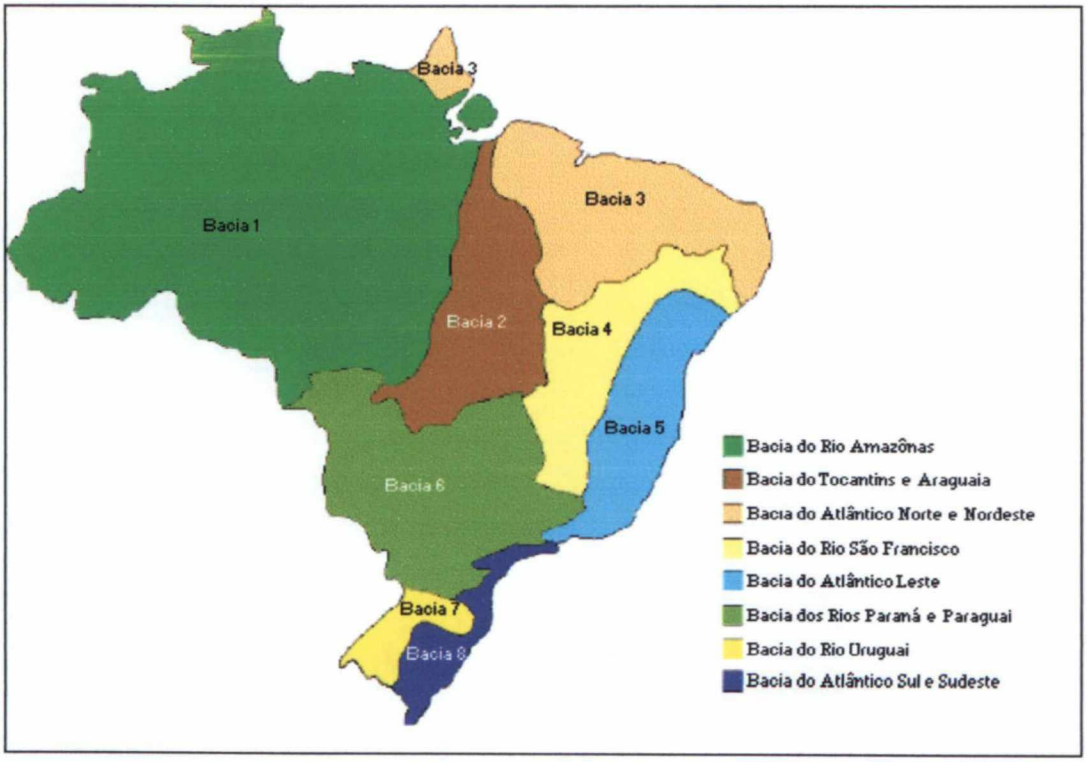
Esses aspectos particulares proporcionados pela integração de um aproveitamento a um sistema, fazem com que os benefícios energéticos da usina passem a ser obtidos pela determinação do acréscimo de energia, garantida e assegurada, e de capacidade de ponta que a sua inserção proporciona ao sistema.

4. DISPONIBILIDADE DE DADOS HIDROLÓGICOS

Para a avaliação da disponibilidade de dados hidrológicos na rede hidrográfica brasileira, foram utilizadas as versões dos Inventários de Estações Fluviométricas (BRASIL, 1998g) e Pluviométricas (BRASIL, 1998h), cedidos pela ANEEL em arquivo magnético.

A rede hidrográfica brasileira encontra-se dividida pela ANEEL em oito grandes bacias hidrográficas, conforme apresentado na Figura 4.1.

Figura 4.1 Bacias hidrográficas brasileiras



Distribuídas nestas bacias existem atualmente em operação 10.603 estações de monitoramento hidrológico, sendo 3.403 estações fluviométricas e 7.200 estações pluviométricas. Este número de postos corresponde à rede hidrométrica total, incluindo postos da rede básica de monitoramento, bem como as estações secundárias implantadas

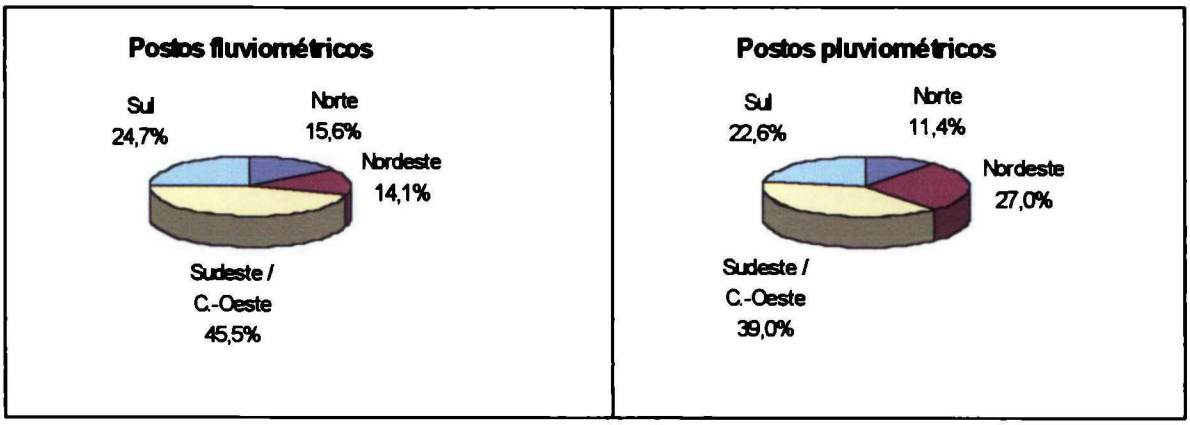
para atender necessidades específicas de diversos setores, entre estes o setor energético, de saneamento, de irrigação, de navegação e de meio ambiente.

A ANEEL, que deste total é responsável por 1.782 estações fluviométricas e 2.407 estações pluviométricas, possui, entre outras atribuições, a função de planejar, coordenar e centralizar o sistema de coleta e armazenamento de informações hidrológicas nacionais, estabelecendo a codificação para as estações hidrométricas do País, bem como promover contínuo intercâmbio de dados com entidades nacionais e internacionais que se dediquem a investigações hidrológicas.

As 6.414 estações restantes são de responsabilidade das mais diferentes entidades que, no desenvolvimento de suas atribuições, necessitam de variadas formas de informações hidrológicas.

A Figura 4.2 apresenta a distribuição das estações fluviométricas e pluviométricas em operação de acordo com as regiões geo-elétricas.

Figura 4.2 Distribuição dos postos fluviométricos e pluviométricos em operação segundo as regiões geo-elétricas



Durante a etapa de obtenção de dados hidrológicos visando estudos relativos a aproveitamentos hidrelétricos, a busca desses dados não se limita aos postos em operação e nem aos postos mantidos pela ANEEL, que é o órgão centralizador dessas informações. Somando aos postos hidrológicos em operação os que já encontram-se desativados, o número de locais com registros históricos passa a ser 18.426.

Muitas vezes, postos já extintos apresentam séries históricas suficientemente longas e confiáveis que, em vários casos, proporcionam a base principal de estudos. O mesmo ocorre com os postos mantidos por outras entidades que não a ANEEL. O acesso a estes dados, quando os mesmos não podem ser disponibilizados pela própria ANEEL, é, na maioria dos casos, simples.

4.1 Postos fluviométricos - informações existentes

O total de postos fluviométricos, extintos ou não, que possuem registros históricos, é de 6.848.

A Tabela 4.1 apresenta a distribuição desses postos fluviométricos nas regiões geo-elétricas. Os totais parciais encontram-se discretizados por Estado, pelo tipo de informações coletadas na estação e conforme o tamanho do registro histórico existente. Este último foi analisado apenas em função da data inicial e final de operação do posto, conforme o Inventário de Estações Fluviométricas, não sendo considerados os períodos com falhas. Para fins de análise, a data final considerada para os postos em operação foi dez/97.

Dos postos fluviométricos existentes, a quase totalidade dos mesmos possui as informações básicas necessárias ao desenvolvimento de estudos pertinentes à viabilidade energética de um aproveitamento hidrelétrico: observações do nível de água e medições de

descarga líquida (93% e 70% respectivamente). As informações de medições de descarga sólida e qualidade das águas são pertinentes às questões relativas ao reservatório.

Tabela 4.1 Postos fluviométricos extintos e em operação nos Estados

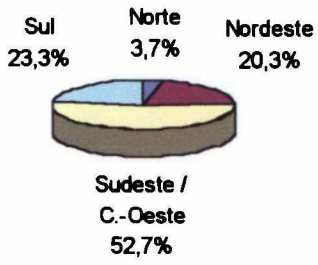
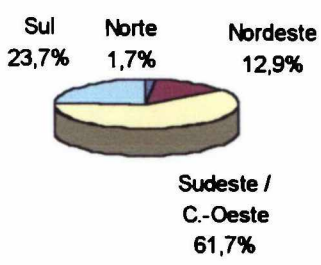
Região	Estado	Tipo						Período (anos)								Total
		F	R	D	S	Q	T	p<=5	5<p<=10	10<p<=20	20<p<=30	30<p<=40	40<p<=50	p>50	sem data	
Norte	AC	30	0	27	3	3	7	7	4	14	1	4	0	0	0	30
	AP	26	5	21	3	4	0	14	1	6	3	0	1	0	1	26
	AM	170	9	122	33	32	27	38	10	69	37	11	1	2	7	175
	MA	75	7	67	13	22	3	10	13	17	21	14	0	0	2	77
	PA	225	18	144	30	25	14	35	33	89	60	4	2	2	12	237
	RO	85	5	73	14	18	5	11	14	46	13	1	1	0	8	94
	RR	26	1	23	9	8	4	6	1	9	6	3	0	0	5	30
	TO	92	4	58	3	5	3	21	16	21	31	0	1	2	8	100
	Total	729	49	535	108	117	63	142	92	271	172	37	6	6	43	769
Nordeste	AL	34	7	24	7	8	3	7	12	4	4	2	1	4	1	35
	BA	445	78	357	40	77	19	86	85	55	87	61	30	39	14	457
	CE	184	26	92	4	13	2	23	22	55	33	25	6	19	1	184
	PB	59	12	40	2	2	0	6	4	9	22	13	2	3	0	59
	PE	119	24	60	17	23	4	30	12	16	35	20	3	3	3	122
	PI	84	9	54	7	9	1	17	12	13	24	17	1	0	2	86
	RN	104	13	67	4	11	0	16	16	32	26	4	1	9	0	104
	SE	31	4	24	2	6	1	8	7	2	7	2	1	4	1	32
	Total	1060	173	718	83	149	30	193	170	186	238	144	45	81	22	1079
Sudeste/	ES	141	7	82	3	44	2	21	25	42	14	11	17	10	8	148
Centro-	GO	309	53	248	31	48	16	69	64	71	63	20	7	2	80	376
Oeste	MT	207	29	177	30	28	18	44	33	60	46	23	0	1	16	223
	MG	1095	183	1001	83	299	47	243	125	193	237	129	42	121	98	1188
	RJ	523	154	242	10	70	27	199	80	112	41	20	20	51	18	541
	SP	876	241	773	24	103	45	92	122	259	164	94	50	85	31	897
	Total	3151	667	2523	181	592	155	668	449	737	565	297	136	270	251	3373
Sul	MS	131	26	120	6	24	13	18	5	57	32	16	0	1	14	143
	PR	572	75	435	152	211	31	142	82	175	91	24	15	29	82	640
	RS	586	60	276	51	69	21	99	88	146	92	52	37	64	16	594
	SC	229	25	176	26	48	18	29	24	54	45	21	13	39	25	250
	Total	1518	186	1007	235	352	83	288	199	432	260	113	65	133	137	1627
Total no Brasil		*6458*	*1075*	*4783*	*607*	*1210*	*331*	*1291*	*910*	*1626*	*1235*	*591*	*252*	*490*	*453*	*6848*

obs.: F - estação com escala para observação do nível de água
R - estação com registrador (limnígrafo)
D - estação com medição de descarga líquida
S - estação com medição de descarga sólida
Q - estação de qualidade das águas
T - estação telemétrica
sem data - informação sobre a data de início de operação da estação não disponível

Outras características dos postos fluviométricos, desejáveis para a sua utilização em estudos hidroenergéticos, são o comprimento da série histórica dos mesmos e a existência de registros para o período crítico do sistema em que o aproveitamento encontra-se inserido.

A Figura 4.3 apresenta as percentagens de postos que atendem estas condições. Como comprimento desejável da série histórica, foi adotado um período mínimo de 30 anos. Os valores foram determinados utilizando-se apenas as datas de início e final de operação dos postos (data de extinção para os postos desativados e dez/1997 para os postos em atividade), não tendo sido analisados períodos com falhas de registro. O período crítico considerado nesta estatística é o correspondente a junho de 1949 a novembro de 1956 que, com a interligação dos sistemas Norte/Nordeste e Sudeste/Centro-Oeste - Sul, já em fase de implantação, representará, segundo as atuais análises da ELETROBRÁS, o período crítico do sistema elétrico nacional.

Figura 4.3 Distribuição dos postos fluviométricos com mais de 30 anos de registro histórico e com registro no período crítico do sistema elétrico nacional

Postos fluviométricos com mais de 30 anos de registro *Quantidade: 1333 (19,5% do total)*	**Postos fluviométricos com registro no período crítico do sistema elétrico nacional** *Quantidade: 1034 (15,1% do total)*
	

4.2 Postos pluviométricos - informações existentes

O total de postos pluviométricos, extintos ou não, que possuem registros históricos, é de 11.578.

A Tabela 4.2 apresenta a distribuição desses postos pluviométricos nas regiões geo-elétricas. Os totais parciais encontram-se discretizados por Estado, pelo tipo de

informações coletadas na estação e conforme o tamanho do registro histórico existente. Este último foi analisado apenas em função da data inicial e final do posto, conforme o Inventário de Estações Pluviométricas, não sendo considerados os períodos com falhas. Para fins de análise, a data final considerada para os postos em operação foi dez/97.

Tabela 4.2 Postos pluviométricos extintos e em operação nos Estados

Região	Estado	Tipo					Período (anos)								Total
		P	R	E	C	T	p<=5	5<p<=10	10<p<=20	20<p<=30	30<p<=40	40<p<=50	p>50	sem data	
Norte	AC	40	13	3	8	6	5	11	16	4	0	0	1	3	40
	AP	46	18	3	17	4	12	3	15	5	3	4	2	2	46
	AM	232	73	17	35	31	35	46	91	36	6	2	15	1	232
	MA	241	34	3	18	3	3	27	82	29	87	0	11	2	241
	PA	276	80	33	55	12	49	30	91	78	7	5	12	4	276
	RO	60	20	5	10	6	6	3	34	12	1	0	2	2	60
	RR	46	16	1	6	7	4	11	17	12	1	0	1	0	46
	TO	88	22	10	10	8	8	5	20	48	2	0	5	0	88
	Total	1029	276	75	159	77	122	136	366	224	107	11	49	14	1029
Nordeste	AL	145	17	3	16	4	5	23	16	10	39	10	41	1	145
	BA	1218	193	69	57	24	61	72	213	143	424	72	226	7	1218
	CE	533	66	29	20	7	7	38	34	32	159	22	239	2	533
	PB	219	37	5	16	4	22	8	20	29	59	5	76	0	219
	PE	551	46	8	28	6	10	19	176	29	216	16	79	6	551
	PI	292	28	3	19	5	20	6	61	13	165	0	27	0	292
	RN	200	12	0	12	1	9	27	18	12	55	7	72	0	200
	SE	129	6	4	7	4	3	13	37	2	38	4	31	1	129
	Total	3287	405	121	175	55	137	206	575	270	1155	136	791	17	3287
Sudeste/	ES	188	38	11	26	4	19	19	25	50	15	27	32	1	188
Centro-	GO	244	59	26	35	15	25	16	38	136	14	3	10	2	244
Oeste	MT	224	59	13	39	17	24	14	71	84	16	3	9	3	224
	MG	1338	274	39	129	58	222	179	220	258	193	48	203	16	1339
	RJ	495	123	13	135	24	85	71	102	64	54	34	84	1	495
	SP	2485	300	7	235	72	187	184	392	628	361	191	530	13	2486
	Total	4974	853	109	599	190	562	483	848	1220	653	306	868	36	4976
Sul	MS	194	45	11	23	22	17	4	61	80	14	6	12	0	194
	PR	1154	175	33	91	48	65	110	198	594	85	44	53	5	1154
	RS	649	84	44	192	24	30	40	138	120	143	74	96	9	650
	SC	288	72	27	50	22	5	30	54	81	32	21	65	0	288
	Total	2285	376	115	356	116	117	184	451	875	274	145	226	14	2286
Total no Brasil		*11575*	*1910*	*420*	*1289*	*438*	*938*	*1009*	*2240*	*2589*	*2189*	*598*	*1934*	*81*	*11578*

obs.: P - estação com pluviômetro
R - estação com registrador (pluviógrafo)
E - estação com tanque evaporímetro "A"
C - estação climatológica
T - estação telemétrica
sem data - informação sobre a data de início de operação da estação não disponível

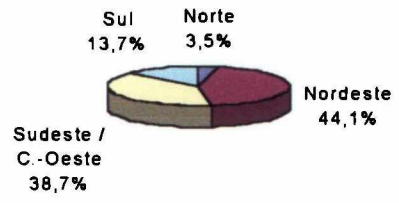
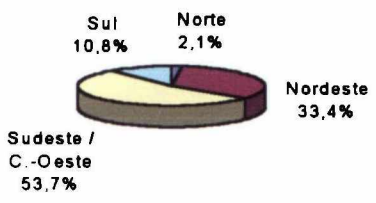
As informações obtidas dos postos pluviométricos, além de contribuírem para a caracterização do regime hidrológico da região de interesse, se tornam essenciais quando as

informações fluviométricas existentes para o local não são suficientes para a obtenção de uma série de vazões médias mensais suficientemente longa e confiável.

Em diversas ocasiões torna-se necessária a adoção de modelos de transformação chuva-vazão, onde uma série de totais mensais precipitados e parâmetros de caracterização meteorológica (dados climatológicos e de evaporação) são fundamentais para a obtenção de bons resultados.

Assim como nos postos fluviométricos, a Figura 4.4 apresenta as percentagens dos postos que possuem séries longas de registro de totais precipitados (neste estudo, 30 anos), bem como a percentagem dos que possuem estes dados para o período crítico do sistema. Os valores foram determinados utilizando-se apenas as datas inicial e final de operação dos postos (data de extinção para os postos desativados e dez/1997 para os postos em atividade), não tendo sido analisados períodos com falhas de registro.

Figura 4.4 Distribuição dos postos pluviométricos com mais de 30 anos de registro histórico e com registro no período crítico do sistema elétrico nacional

Postos pluviométricos com mais de 30 anos de registro *Quantidade: 4721 (40,8% do total)*	**Postos pluviométricos com registro no período crítico do sistema elétrico nacional** *Quantidade: 2995 (25,9% do total)*
	

4.3 Consistência dos dados hidrológicos

A ANEEL desenvolve trabalhos de análise de consistência e homogeneização das séries de totais de chuva, níveis e vazões das bacias hidrográficas brasileiras.

Estes trabalhos se constituem em (BRASIL, 1997d; BRASIL, 1997e):

a) análise dos dados diários existentes nos boletins originais de campo, sendo então eliminados os erros de transcrição, digitação ou erros grosseiros de leitura do observador;

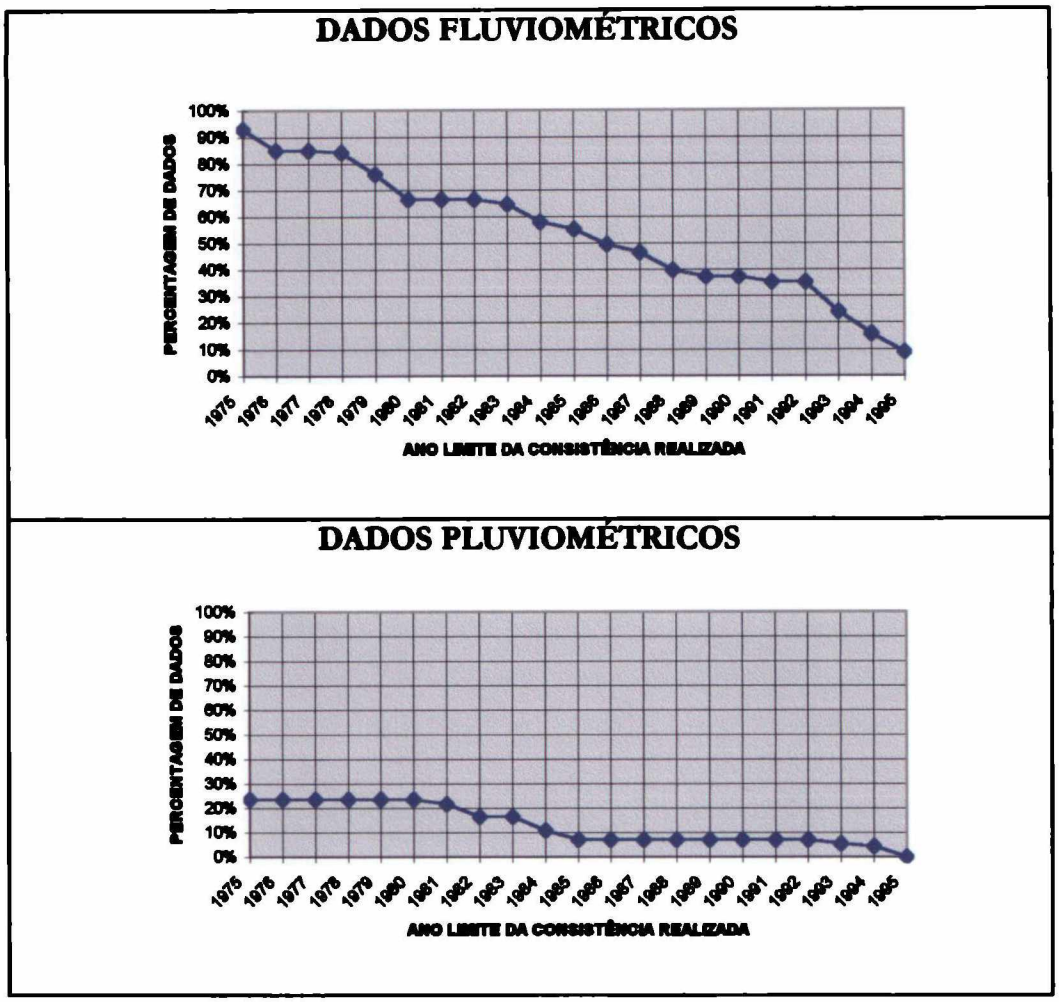
b) dados das estações fluviométricas: são analisados os cotagramas e as curvas-chaves, bem como efetuada a geração de vazões médias diárias, testes de continuidade, análise global da bacia e aplicação de técnicas de homogeneização de dados;

c) dados das estações pluviométricas: são homogeneizados e os dados processados analisados. Com esta análise decide-se pela permanência do total mensal considerado duvidoso ou pela substituição do mesmo. Para os períodos com falhas são estimados valores com base nas estações vizinhas, considerando-se os diversos fatores tendenciosos que podem ter influência na obtenção dos mesmos.

A Figura 4.5 apresenta a situação da consistência dos dados fluviométricos e pluviométricos, segundo posição levantada pela ANEEL em agosto de 1996. São apresentadas as percentagens acumuladas de dados consistidos para os diversos anos das séries históricas.

Dos postos fluviométricos, 93% possuem seus registros consistidos até o ano de 1975. Dos 7% restantes, 3% encontram-se em análise. Os postos com os trabalhos de consistência em situação mais adiantada, que possuem seus registros analisados até o ano de 1995, compreendem cerca de 9% da quantidade total de estações.

Figura 4.5 Situação da consistência de dados fluviométricos e pluviométricos em 1996



Os dados de totais precipitados, em termos de consistência, encontram-se em situação menos favorável que os dados fluviométricos. Apenas 23,5% dos postos possuem as suas séries consistidas pelo menos até o ano de 1975. Os postos com os trabalhos de consistência em situação mais adiantada, que possuem seus registros analisados até o ano de 1994, compreendem cerca de 4,4% da quantidade total de estações. Dos postos ainda não consistidos, 5% encontram-se em análise.

4.4 Densidade da rede hidrométrica nacional

O principal objetivo da implantação de uma rede de monitoramento em uma bacia hidrográfica é assegurar que, por meio dos registros dos valores fornecidos pelas diferentes

estações de medição, seja possível determinar, com suficiente precisão para propósitos práticos, as características hidrometeorológicas de qualquer região da bacia (BRASIL, s.n.).

A Organização Meteorológica Mundial - OMM sugere alguns critérios para o estabelecimento de uma rede mínima, constituída pelo menor número de estações que forneçam os dados indispensáveis ao objetivo da rede e que atendam às condições de desenvolvimento da bacia. (BRASIL, s.n.).

A Tabela 4.3 apresenta uma síntese destas recomendações para o estabelecimento de rede de monitoramento pluviométrico e fluviométrico com densidade mínima, considerando-se, para ambos os tipos de estações, condições normais e adversas de operação. Como situação adversa de operação, entende-se a existência de dificuldades ocasionadas por pequena densidade populacional, deficiência de comunicação ou razões econômicas relevantes. (BRASIL, s.n.).

Tabela 4.3 Recomendações da OMM para estabelecimento de rede de monitoramento pluviométrico e fluviométrico com densidade mínima

Tipo de região	Postos pluviométricos		Postos fluviométricos	
	Área (km^2) por estação, em condições normais de operação	Área (km^2) por estação, em condições adversas de operação	Área (km^2) por estação, em condições normais de operação	Área (km^2) por estação, em condições adversas de operação
Regiões planas de zonas temperadas, mediterrâneas e tropicais	600 a 900	900 a 3.000	1.000 a 2.500	3.000 a 10.000
Regiões montanhosas de zonas temperadas, mediterrâneas e tropicais	100 a 250	250 a 1.000	300 a 1.000	1.000 a 5.000
Pequenas ilhas montanhosas com precipitação muito irregular e rede hidrográfica muito densa	25	-	140 a 300	-
Zonas árida e polar	1.500 a 10.000	-	10.000 a 20.000	-

Para a avaliação da rede hidrométrica nacional foram determinadas as densidades, para cada Estado, dos postos pluviométricos e fluviométricos que compõem a Rede Básica Hidrometeorológica Nacional.

Esta rede, que é composta por 1.874 postos fluviométricos e 2.234 postos pluviométricos, tem como característica básica a permanência dos mesmos em operação contínua, por tempo longo e indeterminado, de maneira a fornecer dados sobre os parâmetros indispensáveis ao desenvolvimento de um estudo estatístico seguro, e é composta por estações mantidas por diversas entidades que, através de convênios ou acordos, fornecem os dados hidrológicos à ANEEL.

A Tabela 4.4 apresenta a quantidade de postos pluviométricos e fluviométricos da Rede Básica Hidrometeorológica Nacional para cada um dos Estados brasileiros, bem como a densidade da rede em cada um dos mesmos. Para a determinação das densidades não foram consideradas as características geográficas de cada Estado, mas sim, de forma conservadora, adotados os valores limites para condições adversas de operação sugeridos para redes pluviométricas e fluviométricas em regiões tropicais (um posto a cada 3.000 km^2 e 10.000 km^2, respectivamente).

Nota-se, pela Tabela 4.4, que a rede pluviométrica básica atende aos critérios mínimos sugeridos pela OMM apenas nas Regiões Sudeste/Centro-Oeste e Sul. Para a rede fluviométrica, a deficiência maior ocorre na Região Norte, onde os Estados do Amapá, Amazonas, Pará e Roraima ainda possuem baixa densidade de postos. Na Região Sudeste/Centro-Oeste, apesar da densidade total ser satisfatória, a quantidade de postos no Estado do Mato Grosso apresenta-se insuficiente.

Tabela 4.4 Densidade dos postos pluviométricos e fluviométricos da Rede Básica Hidrometeorológica Nacional

Região	Estado	Área ($km^2/10^3$)	Postos pluviométricos				Postos fluviométricos				
			P	PR	Total	Postos por 3.000 km^2	F	FR	FD	Total	Postos por 10.000 km^2
Norte	Acre	153,15	18	5	23	0,45	1	-	17	18	1,2
	Amapá	143,45	10	5	15	0,31	-	3	9	12	0,8
	Amazonas	1.577,82	128	27	155	0,29	30	5	75	110	0,7
	Maranhão	333,37	60	11	71	0,64	-	7	36	43	1,3
	Pará	1.253,16	120	17	137	0,33	22	7	51	80	0,6
	Rondônia	238,51	28	9	37	0,47	3	-	29	32	1,3
	Roraima	225,12	14	4	18	0,24	1	1	10	12	0,5
	Tocantins	278,42	51	10	61	0,66	4	-	29	33	1,2
	Total	4.203,00	429	88	517	0,37	61	23	256	340	0,8
Nordeste	Alagoas	27,93	16	3	19	2,04	3	5	16	24	8,6
	Bahia	567,30	101	19	120	0,63	6	31	132	169	3,0
	Ceará	146,35	22	-	22	0,45	-	8	33	41	2,8
	Paraíba	56,58	5	1	6	0,32	1	3	12	16	2,8
	Pernambuco	98,94	37	2	39	1,18	4	16	33	53	5,4
	Piauí	252,38	20	-	20	0,24	1	6	23	30	1,2
	R. Gr. do Norte	53,31	15	-	15	0,84	4	9	27	40	7,5
	Sergipe	22,05	5	-	5	0,68	-	1	10	11	5,0
	Total	1.224,83	221	25	246	0,60	19	79	286	384	3,1
Sudeste/ Centro-Oeste	Espírito Santo	46,18	70	10	80	5,20	-	3	33	36	7,8
	Goiás	341,29	115	16	131	1,15	-	4	86	90	2,6
	Mato Grosso	906,81	107	12	119	0,39	7	2	62	71	0,8
	Minas Gerais	588,38	324	120	444	2,26	-	69	304	373	6,3
	Rio de Janeiro	43,91	62	9	71	4,85	-	12	47	59	13,4
	São Paulo	248,81	115	19	134	1,62	-	15	66	81	3,3
	Total	2.175,38	793	186	979	1,35	7	105	598	710	3,3
Sul	Mato Gr. do Sul	358,16	118	11	129	1,08	5	2	70	77	2,1
	Paraná	199,71	67	15	82	1,23	6	17	97	120	6,0
	Rio Gr. do Sul	282,06	105	36	141	1,50	12	27	104	143	5,1
	Santa Catarina	95,44	105	35	140	4,40	2	9	89	100	10,5
	Total	935,37	395	97	492	1,58	25	55	360	440	4,7
	Total	*8538,59*	*1838*	*396*	*2234*	*0,8*	*112*	*262*	*1500*	*1874*	*2,2*

obs.: P - estação pluviométrica
PR - estação pluviográfica
F - estação limnimétrica
FR - estação fluviográfica
FD - estação fluviométrica

Deve-se levar em consideração que não foi analisada a qualidade dos dados da rede básica, e que, para atenderem o propósito ao qual se destinam, é indispensável que os dados por ela fornecidos sejam de boa qualidade, de forma a que a densidade efetiva da mesma não seja reduzida pela existência de postos abandonados ou operados inadequadamente.

5. ESTUDOS HIDROENERGÉTICOS COM POUCOS DADOS

De acordo com LARROSA e PETTENÁ (1985), o conceito de suficiência de dados hidrológicos está relacionado à possibilidade de se extrair informações confiáveis, destinadas a um determinado projeto, com um certo nível de detalhe. De acordo com estes mesmos autores, a carência configura-se, portanto, na medida em que os dados ligados às séries temporais, no caso vazão e precipitação, tenham disponibilidade de registros com período inferior às necessidades normais, para fins específicos.

TUCCI (1993) identifica dois parâmetros básicos na escassez de dados: a disponibilidade temporal e espacial da informação.

Muitos postos com poucos anos de registros não retratam, necessariamente, uma amostra representativa de muitos anos. Portanto, apesar de existir um grande número de locais com registros no País, a má distribuição espacial e falta de continuidade de operação e manutenção dos mesmos fazem com que a sua utilização conjunta nem sempre proporcione a mesma confiabilidade alcançada por séries longas de registros.

5.1 Riscos decorrentes da insuficiência de dados

Quando visam o dimensionamento de um aproveitamento hidrelétrico, os estudos hidrológicos efetuados com dados de baixa confiabilidade, seja pela sua distância ao local de interesse ou pela qualidade dos seus registros, tendem a duas situações distintas:

a) Avaliação errônea da magnitude das vazões devido à baixa qualidade e/ou ausência de informações, podendo-se sub ou super avaliá-la. No primeiro caso, se subestima a capacidade energética do local e se subdimensiona as estruturas, expondo-as a um maior risco de colapso. No segundo caso, superestima-se a produção energética e superdimensionam-se as estruturas.

b) Inclusão de coeficientes e intervalos de confiança devido à baixa confiabilidade nos dados existentes. Estes, apesar de diminuírem a probabilidade da ocorrência de erros que mais tarde possam causar danos catastróficos à obra e ao meio ao qual ela é inserida, conduzem, impositivamente, à adoção de hipóteses conservativas que produzem séries de vazões médias mensais que subestimam a capacidade energética do local, e séries de vazões máximas anuais que induzem ao superdimensionamento de estruturas diversas, isto é, assume-se, por questões de segurança, as duas hipóteses mais conservativas: sub-avaliação energética e superdimensionamento das estruturas.

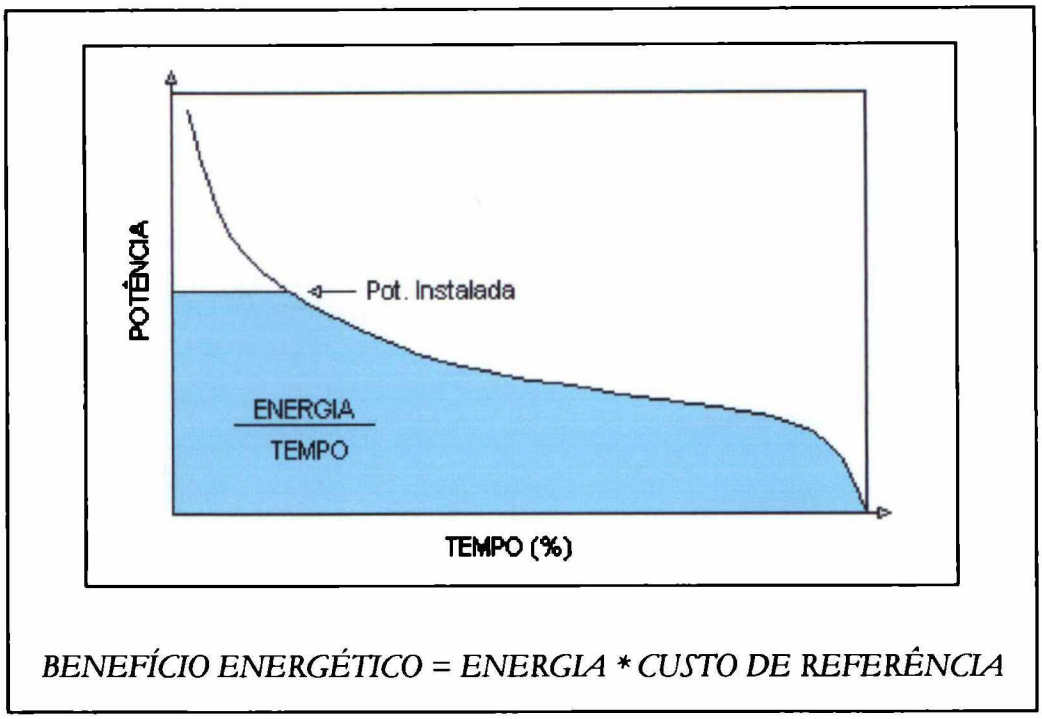
5.1.1 Efeitos na determinação dos benefícios

Os benefícios energéticos de um aproveitamento hidrelétrico são avaliados a partir da simulação da sua operação ao longo do tempo, tendo-se por base a série de vazões médias mensais obtida através de registros históricos e/ou métodos de extensão e regionalização, para o local em questão.

O benefício energético anual será o valor de mercado da energia, geralmente expresso em US$/MWh, multiplicado pela energia proporcionada por uma determinada alternativa de configuração do aproveitamento que, para a série de vazões médias mensais considerada, pode ser representada pela integral da curva de permanência de potências obtida a partir desta série, como mostrado na Figura 5.1, multiplicado por um fator de tempo.

Sendo a energia resultante da configuração da usina em avaliação, diretamente proporcional à série de vazões utilizada, o é, também, a determinação do benefício energético.

Figura 5.1 Determinação da energia gerada para uma determinada configuração de um aproveitamento hidrelétrico



Um estudo hidrológico que superestime a série de vazões, consequentemente gerará um benefício energético maior que o realmente disponível face à hidrologia do local do aproveitamento. O mesmo ocorre para a situação inversa, onde benefícios que podem ser significativos para a avaliação da viabilidade do investimento a ser efetuado, não são considerados.

Análise semelhante pode ser feita para um aproveitamento integrado a um sistema. Neste caso os benefícios energéticos são obtidos através de simulações da operação do sistema ao longo do período crítico. Avalia-se o ganho de energia firme proporcionado pela adição do aproveitamento em questão à energia firme do sistema de referência. Em geral, este acréscimo é maior ou igual à energia firme do aproveitamento analisado, já que a adição de um projeto pode proporcionar acréscimos de energia firme em outros aproveitamentos existentes na bacia onde o mesmo se encontra.

Uma base de dados hidrológicos que não represente de forma adequada as condições hídricas existentes no local do aproveitamento, pode levar a uma avaliação incorreta do ganho de energia firme proporcionado pelo aproveitamento ao sistema. Este erro, se minorar o valor real e não inviabilizar o projeto, poderá levar o sistema a vender energia garantida com preço de não garantida, ocasionando uma remuneração inadequada. Se ocorrer o contrário, fará com que se acredite ter o sistema energia garantida maior do que a realmente existente, podendo haver necessidade de geração adicional térmica para compensar a decisão.

5.1.2 Efeitos na determinação dos custos

Os custos diretamente decorrentes dos resultados obtidos nos estudos hidrológicos são os pertinentes à obra civil.

As estruturas de desvio e de extravasamento de cheias tendem a ser superdimensionadas quando a série de vazões resultante dos estudos hidrológicos apresenta valores superiores às características hídricas do local. A ocorrência do caso inverso pode vir a mascarar o valor do custo, tornando o empreendimento mais atraente, e aumentar a exposição das estruturas a uma situação de colapso, pelo seu dimensionamento deficiente.

5.1.3 Efeitos na decisão de viabilidade do empreendimento

A análise econômica, que se constitui em um dos fatores mais preponderantes na avaliação da viabilidade de uma usina hidrelétrica, tem por base o índice benefício/custo.

Desta forma, imprecisões ocorridas durante os estudos hidrológicos podem conduzir o investidor, seja ele privado ou público, a uma decisão menos vantajosa, por impossibilitarem a reprodução das verdadeiras condições ofertadas pelo empreendimento.

O investidor pode vir a abrir mão do empreendimento devido à sua sub valorização, ou investir acreditando em uma grandeza de benefícios que não ocorrerá.

Outro aspecto a ser considerado, do ponto de vista do planejamento do setor hidrelétrico, é a decisão entre a implantação de um aproveitamento hidrelétrico ou termoelétrico, em um determinado ponto da seqüência estabelecida pela ELETROBRÁS, visto que um programa termoelétrico de transição tem sido planejado para a época em que o potencial hidrelétrico for ficando menos competitivo, seja pelo custo das usinas ou por sua distância em relação aos mercados.

Desta forma, quanto maior a quantidade de informações existentes na região de interesse, e quanto mais confiáveis estas forem, menor será o risco de se produzir estudos hidrológicos que não retratem de maneira correta as características hídricas necessárias ao dimensionamento de um aproveitamento hidrelétrico, gerando, consequentemente, benefícios e custos irreais que mascarem a real viabilidade de um projeto.

5.2 Deficiências mais freqüentemente encontradas

No desenvolvimento de estudos para aproveitamentos hidroenergéticos em regiões em que a oferta de dados hidrológicos não é satisfatória, as deficiências mais freqüentemente encontradas são:

a) inexistência de postos fluviométricos próximos ao local do aproveitamento, quando não, no curso de água em questão;

b) inexistência de postos pluviométricos na região, de forma a permitir a caracterização da precipitação ocorrida no local de interesse;

c) inexistência de postos meteorológicos na região, que permitam caracterizar os parâmetros meteorológicos no local de interesse, tais como evaporação, vento, temperatura e umidade relativa;

d) séries de dados com períodos curtos de registros e/ou com grande quantidade de falhas de observação;

e) séries de dados sem consistência, ao menos em nível primário, como erros grosseiros;

f) quantidade e qualidade insuficientes de medições de descarga líquida;

g) postos fluviométricos sem levantamentos topobatimétricos atualizados da seção transversal;

h) postos instalados em locais não adequados;

i) postos com manutenção inadequada, sem a devida limpeza periódica do local;

j) inexistência de registro histórico adequado do posto, informando possíveis mudanças de local, e outras informações que são imprescindíveis para a correta análise dos dados.

5.3 Procedimentos usuais para regionalização de informações hidrológicas

A bibliografia disponível apresenta diversos procedimentos de cálculo que podem ser efetuados para o estabelecimento de informações hidrológicas em locais carentes de informações.

Contudo, em um estudo hidrológico, a ausência ou deficiência de informações deve ser atenuada pela adoção de um enfoque regional, que permita o melhor entendimento possível das causas geradoras da sazonalidade, magnitude e variação dos deflúvios, e que sirva como ferramenta de apoio para a interpretação dos resultados provenientes dos métodos de cálculo adotados. Para tanto, deve-se utilizar ao máximo as informações disponíveis e, paralelamente, promover a instalação de novos postos que

supram as deficiências de dados nas etapas posteriores do projeto (LARROSA e PETTENÁ, 1985).

TUCCI (1993) define as chamadas técnicas de regionalização hidrológica como o conjunto de ferramentas que exploram ao máximo as informações existentes, visando à estimativa das variáveis hidrológicas em locais sem dados ou que apresentem insuficiência dos mesmos.

Diversos pesquisadores efetuaram análises e pesquisas das técnicas de regionalização freqüentemente utilizadas e propuseram novas ferramentas, com o intuito de aprimorar a estimativa dos mais diversos parâmetros de caracterização hidrológica em locais com carência de dados, de maneira a subsidiar, de forma mais segura, os estudos que têm como *input* estes parâmetros.

KAVISKI (1992) descreve e analisa diversas técnicas de regionalização hidrológica e propõe a classificação das mesmas em 4 grupos: (1) técnicas empíricas que, por meio de equações matemáticas, produzem uma saída a partir de uma determinada entrada, e onde as relações entre os parâmetros da equação são únicas, em relação ao processo físico considerado; (2) técnicas de extensão de séries que utilizam-se da vantagem da existência de correlações entre os dados do local de interesse e de locais próximos, com longos períodos de observações; (3) técnicas de regressão, utilizadas para a estimativa de parâmetros hidrológicos em função de parâmetros fisiográficos; e (4) técnicas de mapeamento regional, que procuram delinear em mapas, as regiões possuidoras de propriedades hidrológicas comuns.

No mesmo trabalho, Kaviski propõe métodos de regionalização baseados em técnicas objetivas, de maneira que as aplicações possam ser realizadas através de programas computacionais que utilizam poucos dados de entrada, e efetua estudos de casos para regionalização de vazões máximas através de fórmulas empíricas, regionalização de

parâmetros de séries de vazões médias diárias e regionalização de parâmetros de séries de vazões máximas anuais.

HIRSCH (1982) efetuou a comparação de 4 técnicas de extensão de séries de vazões: (1) regressão; (2) regressão com ruídos aleatórios; e (3) MOVE 1 e (4) MOVE 2. Os modelos MOVE 1 e MOVE 2 (*Maintenance of Variance Extension*) podem ser considerados uma variação do modelo de regressão com ruídos aleatórios, sendo os parâmetros estimados de forma a preservarem a média e a variância da amostra. A diferença entre os mesmos reside na quantidade de informações utilizadas na estimativa dos parâmetros. Os resultados obtidos por Hirsch nesta comparação indicaram que os métodos de regressão utilizados apresentaram sérias deficiências como técnicas de extensão de séries, ao passo que os modelos MOVE, apresentaram melhores resultados, tendo o modelo MOVE 2 se mostrado sensivelmente mais eficiente que o modelo MOVE 1.

Um estudo de regionalização de curvas de regularização para as bacias do Estado do Rio Grande do Sul foi efetuado por TUCCI (1991). A regionalização foi efetuada a partir da utilização de uma curva adimensional e de uma equação de regressão para a vazão média de longo período, considerando-se demanda constante e uso de estimativas de evaporação. Tucci verificou que, apesar de permitir uma primeira estimativa da capacidade de regularização em locais sem dados, a regionalização de curvas de regularização efetuada apresenta tendenciosidade na estimativa em função do tamanho da série histórica.

AGUIAR e LOPES (1997) elaboraram gráficos que permitem a estimativa das vazões com 95% de permanência, média de longo termo e máxima para qualquer tempo de retorno, em bacias sem dados do Estado do Mato Grosso. A carência de dados e a alta dispersão dos poucos dados existentes, impediu os autores de chegarem ao primeiro objetivo do trabalho, que era o estabelecimento de equações de regressão.

ZUCARELLI et al. (1997) aplicaram modelos de regressão para estimativa de vazões médias, máximas e mínimas em duas bacias hidrográficas da Argentina, utilizando como variáveis explicativas: (1) área; (2) área e altitude média; (3) área e precipitação média anual; e (4) área, precipitação média anual e altitude média. Apenas para uma das bacias, e quando a regressão foi efetuada considerando-se apenas a área de drenagem, os resultados obtidos foram considerados satisfatórios.

A ELETROBRÁS apresentou uma metodologia para regionalização de vazões (ELETROBRÁS, 1985) cujo objetivo é estabelecer um procedimento para a aplicação de um método estatístico regional às vazões máximas instantâneas, médias de longo termo e mínimas em regiões com carência de dados hidrológicos.

Em geral, as técnicas de regionalização hidrológica visam permitir a estimativa de determinados valores característicos de vazões, como média de longo termo, mínima e máxima para determinadas durações de estiagem e tempos de recorrência, vazões com 95% de permanência, etc.

Para o caso específico de estudos hidrológicos visando o dimensionamento energético de aproveitamentos hidrelétricos em fase de viabilidade, os dados necessários não se limitam a um valor característico, mais sim à série de vazões médias mensais.

Encaixam-se, neste contexto, as técnicas que permitem a obtenção da série de dados necessária a partir da transferência de registros de locais próximos e similares, seja totalmente, quando inexiste qualquer tipo de registro no local em estudo, ou apenas com o intuito de corrigir falhas existentes e/ou estender uma série que se apresenta insuficientemente longa para o propósito desejado.

Entre as diversas técnicas existentes, as mais correntemente utilizadas em estudos de viabilidade de aproveitamentos hidrelétricos em locais com insuficiência de informações hidrológicas são:

5.3.1 Métodos de transferência direta

Chamam-se aqui Métodos de Transferência Direta as técnicas que utilizam as informações de vazão existentes em locais próximos ou hidrologicamente semelhantes ao local em estudo e que, através de relações entre valores característicos, propiciam o estabelecimento de uma série de vazões médias mensais quando esta inexiste, ou quando sua extensão e/ou quantidade de falhas existente torna este procedimento necessário.

Neste contexto, encontram-se 3 métodos de extensão de séries apresentados por KAVISKI (1992), que os denominou de métodos intuitivos, e que visam, a partir do estabelecimento de relações simplificadas, corrigir a média e a variância de amostras com poucas informações, em função de estimativas obtidas em locais com períodos maiores de observações.

Dos 3 métodos apresentados por Kaviski, o mais freqüentemente utilizado para o estabelecimento de séries com a finalidade de subsidiar estudos energéticos de aproveitamentos em fase de análise de viabilidade, é o por ele denominado INT. 1, que utiliza a relação entre as vazões médias das séries consideradas para efetuar a transferência e/ou extensão.

Acrescenta-se aqui, aos métodos intuitivos classificados por Kaviski, a transferência de séries através da relação entre as áreas de drenagem envolvidas. Este procedimento, bastante simplificado, é utilizado quando a total carência de informações no local em estudo não oferece qualquer referência sobre a magnitude das vazões ou qualquer outro parâmetro, e impede a utilização de outras técnicas.

5.3.2 Correlação

O preenchimento de falhas e extensão de séries por correlação é utilizado quando séries temporais de diferentes tamanhos apresentam entre si uma certa estrutura de correlação espacial, sendo que o máximo em informação local é extraída quando as variáveis são funcionalmente relacionadas.

Desta forma, a aplicação da correlação é condicionada a existência de dados no local considerado, em período comum com o posto básico. Estabelece-se assim uma função entre as vazões dos dois postos, e ajusta-se uma equação de transferência.

GOMIDE (1979) analisando a utilização da correlação para aumentar a eficiência na estimativa de parâmetros, concluiu que a utilização da mesma para melhorar estimativas da média é geralmente conveniente, e que o tamanho do registro comum entre os locais considerados não pode ser pequeno, para que se obtenham estimativas razoáveis dos parâmetros.

5.3.3 Modelos de transformação chuva-vazão

Os modelos determinísticos de transformação chuva-vazão procuram reproduzir o ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica, tendo como dados de entrada séries de totais precipitados, características meteorológicas, e informações sobre as condições iniciais da bacia; e como resultado, a série de vazões decorrente da situação imposta ao modelo.

Entre as diversas aplicações, os modelos de transformação chuva-vazão têm sido utilizados para: (1) análise do comportamento dos fenômenos hidrológicos na bacia; (2) análise de consistência e preenchimento de falhas; (3) dimensionamento e planejamento de obras hidráulicas; (4) previsão de cheias; e (5) análise de efeitos resultantes da modificação do uso do solo.

Estes modelos se prevalecem do fato de existirem postos pluviométricos em maior número e com séries mais longas que os postos fluviométricos. Eles têm sido freqüentemente utilizados em estudos hidrológicos para locais onde a série de vazões disponível não oferece condições para a determinação do potencial energético do local, mas apresenta-se suficientemente confiável para sua utilização em processos de calibração de parâmetros destes modelos e a sua verificação.

LARROSA e PETTENÁ (1985), analisando as técnicas e procedimentos utilizados em estudos de planejamento hidrelétrico na Amazônia Brasileira, onde é notória a escassez de dados, concluíram que os modelos determinísticos de transformação chuva-vazão possuem um largo potencial de utilização em regiões carentes de dados, e despontam como uma das principais ferramentas para a extensão das séries de vazões médias mensais.

CANEDO (RAMOS, OCCHIPINTI e VILLA NOVA, 1989) faz uma ampla discussão teórica a respeito destes modelos e das quatro fases que pressupõe a utilização destas técnicas: (1) escolha do modelo; (2) calibração dos parâmetros; (3) validação do modelo calibrado; e (4) aplicação.

Segundo TUCCI (BARTH, 1987), na escolha do modelo a ser utilizado, deve-se levar em conta o objetivo do projeto, as características da bacia e do rio, a disponibilidade de dados e a familiaridade do usuário com o modelo.

Alguns modelos desenvolvidos simulam o balanço hídrico de forma mais detalhada que outros e, portanto, mais próxima da real. Porém, a manipulação destes modelos é geralmente bem mais difícil e necessita de informações nem sempre disponíveis.

Por outro lado, foram também desenvolvidos modelos que visam possibilitar a sua aplicação em regiões carentes de dados, sendo os mesmos parcimoniosos na quantidade de informações necessárias para a sua utilização.

Das diversas fontes de incertezas, na simulação de vazões com o uso de modelos chuva-vazão, comentadas por Canedo, destacam-se:

a) conhecimento imperfeito dos processos físicos;

b) tratamento de variáveis com variação espacial de forma concentrada;

c) omissão de processos considerados menos relevantes;

d) amostragem das séries de dados de calibração.

O autor ressalta, porém, que as incertezas envolvidas no processo não devem ser consideradas como empecilho para a utilização destes modelos, mas sim, levar o usuário a uma visão mais crítica e seletiva dos resultados obtidos.

Entre os diversos modelos citados por CANEDO (RAMOS, OCCHIPINTI e VILLA NOVA, 1989) e por TUCCI (BARTH, 1987) encontram-se o SMAP (*Soil Moisture Accounting Procedure*), COPPE/TWM, SSARR (*Streamflow Simulation and Reservoir Regulation Model*), SWM (*Stanford Watershed Model*), Dawdy-O'Donnell Model, IHDM 4 (*Institute of Hydrology Distributed Model*), HSP (*Hydrocomp Symulation Program*), MERO, FESHM (*Finite Element Storm Hydrology Model*), IPH, OMEGA, MIT Cathment Model, e HEC-1 (*Flood Hydrograph Package*).

6. ESTUDO DE CASO – DESCRIÇÃO GERAL

Durante o processo de avaliação da viabilidade financeira de um determinado aproveitamento hidrelétrico, devem ser considerados nas análises efetuadas os diferentes riscos inerentes a esse tipo de empreendimento.

Esses riscos podem ser decorrentes de diversos fatores que incidem sobre o projeto e que se refletem nos seus custos e benefícios e, tanto podem ser devido às próprias condições de projeto, como os riscos hidrológicos e geológicos, quanto ao contexto econômico em que o mesmo se insere, como variações nas taxas de juros e demais condições mercadológicas.

Sendo as informações hidrológicas um dos *inputs* de maior peso no dimensionamento de um aproveitamento hidrelétrico, e considerando-se a qualidade nem sempre satisfatória destes dados, um novo risco merece ser avaliado: o risco de que os estudos hidrológicos efetuados não retratem de maneira suficientemente fiel a hidrologia local.

A insegurança quanto aos resultados obtidos nos estudos hidrológicos podem ocorrer não apenas em decorrência da qualidade duvidosa dos dados disponíveis, mas também pela adoção de uma ou outra dentre as diversas metodologias existentes para suprir essa deficiência.

Este trabalho tem por objetivo avaliar, através de um estudo de caso, o valor das informações hidrológicas em estudos de viabilidade de aproveitamentos hidrelétricos, e o impacto da deficiência das mesmas na decisão do empreendedor na área de geração de energia hidroelétrica.

6.1 Método de avaliação do impacto da informação hidrológica

O procedimento utilizado para se efetuar essa avaliação foi a adoção de um empreendimento hidrelétrico hipotético operando integradamente ao sistema elétrico nacional, e nas análises foram considerados dois aspectos: (1) a simulação de cenários de disponibilidade de dados hidrológicos, e (2) a decorrente adoção, de acordo com cada cenário, de diferentes metodologias de regionalização hidrológica para a obtenção das séries de vazões médias mensais. No primeiro, procurou-se verificar o impacto dos dados utilizados quanto ao seu distanciamento ao local em estudo, e no segundo, a robustez dos resultados obtidos por diferentes procedimentos de regionalização utilizados quando verificada a carência de informações hidrológicas.

As metodologias para obtenção das séries de vazões médias mensais adotadas neste estudo de caso foram os métodos de transferência direta de relação entre áreas de drenagem e entre vazões médias de longo termo, correlação e o modelo determinístico de transformação chuva-vazão SMAP.

Para a análise dos resultados obtidos foram determinados, para cada caso considerado, os parâmetros econômico-financeiros Tempo de Retorno Descontado (TRD), Taxa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Líquido (VPL), e a relação Benefício/Custo (B/C). Foram então verificadas as diferenças entre os valores obtidos para esses parâmetros, bem como avaliado o impacto e a representatividade dessas diferenças frente aos demais riscos enfrentados pelo empreendedor.

Também foram analisados parâmetros hidrológicos, como vazões características e curvas de permanência, bem como a potência instalada resultante para cada caso.

6.2 Escolha do local

Como local deste estudo de caso foi escolhida a Região Centro-Oeste, a qual dispõe de um grande potencial hidroenergético ainda inexplorado, perdendo apenas para a região Norte.

A Região Centro-Oeste é o atual objeto de diversos estudos de inventário e viabilidade, tendo este fato demonstrado ser ela o atual pólo de investimentos no setor energético, pois a sua exploração não envolve a totalidade de questões ambientais e sociais existentes na exploração das fontes de energia hídrica da Região Norte.

A exploração da Região Norte, em especial junto à Floresta Amazônica, tende a levantar discussões ambientais à nível mundial, enquanto que a Região Centro-Oeste, apesar de ser ambientalmente importante, não possui tal projeção internacional. Outro fato a ser considerado, é que a Região Centro-Oeste, devido principalmente ao desenvolvimento agropecuário, já encontra-se consideravelmente explorada e desmatada, havendo atualmente maiores preocupações em termos de preservação junto à região do pantanal.

Apesar de ser bastante promissora para a exploração hidroenergética, a Região Centro-Oeste possui uma significativa carência de informações hidrológicas, fato este verificado nas análises efetuadas no item 4.

As poucas informações existentes na região apresentam-se geralmente espacialmente mal distribuídas, incompletas, com baixa qualidade e significativa quantidade de falhas, quando não incompatíveis entre si. Os trabalhos de consistência dessas informações são praticamente inexistentes, sendo necessário, por quem as utiliza, todo um trabalho que demanda em tempo, custos, senso crítico, e até mesmo uma boa dose de criatividade do hidrólogo.

A proposição inicial deste trabalho era desenvolver um estudo de caso na região cerrana do Centro-Oeste brasilciro, em particular no Estado do Mato Grosso, devido ao seu alto potencial energético ainda por explorar, e à situação pouco satisfatória, no que diz respeito a quantidade e qualidade, dos dados hidrométricos disponíveis na região.

Para tanto, pretendia-se escolher um local com disponibilidade de uma boa base de dados, quantitativa e qualitativamente, e então, simulando-se a ausência dos mesmos, seria procedida a avaliação do risco desta ausência.

Tendo-se como base as informações disponíveis no Inventário de Estações Fluviométricas, procurou-se por postos fluviométricos com série extensa de dados (30 anos ou mais), registros no período crítico do sistema elétrico nacional (jun/49 a nov/56), e área de drenagem entre 8.000 km^2 e 30.000 km^2, que caracteriza o porte dos aproveitamentos em estudo naquela região. Nesta fase da pesquisa, a viabilidade da utilização ou não destes postos para o estudo de caso teve como base apenas os dados disponíveis no inventário da ANEEL, principalmente localização, período de registros de cotas e área de drenagem.

A situação dos dados hidrométricos da região de interesse levou à constatação da inexistência de um local apropriado, em termos de localização e área de drenagem, que possuísse as condições desejadas.

Em todo o Estado do Mato Grosso, apenas o posto Cuiabá (código: 66260001) atendia aos critérios. Solicitadas maiores informações sobre este posto à ANEEL, verificou-se que, apesar de possuir registro diário de cotas a partir de janeiro de 1933, o mesmo possui medições de descarga líquida apenas a partir de julho de 1965.

Foi efetuada uma análise das cotas observadas nesse posto de forma a se verificar a confiabilidade da utilização de uma curva de descarga definida a partir das medições de

descarga líquida realizadas posteriormente a julho de 1965, para o histórico de cotas anterior a essa data.

Devido à inexistência de outros registros fluviométricos na região que possibilitassem, a partir da confecção de cotagramas simultâneos, uma análise do comportamento fluviométrico das cotas observadas no posto Cuiabá, essa verificação foi efetuada a partir da aplicação dos testes estatísticos Mann-Kendall (BRASIL, 1987 e STROBEL, 1987) e Smirnov (BRASIL, 1987), de forma a se verificar a homogeneidade entre os dois períodos em questão (períodos anterior e posterior às medições de descarga disponíveis). O teste de Mann-Kendall tem por hipótese básica a não tendenciosidade das séries, e o teste de Smirnov possui por hipótese básica a homogeneidade das médias. Ambos os testes foram aplicados para o nível de significância de 5%, considerando-se n-2 graus de liberdade. Nos dois casos, as hipóteses básicas foram rejeitadas.

Os resultados dos testes estatísticos aplicados, os quais indicaram a não homegeneidade da série do posto Cuiabá, tanto podem ser devidos a ocorrência de modificações nas condições de escoamento da seção ao longo do tempo, quanto à qualidade pouco satisfatória da série de dados disponível.

Não havendo dados e informações suficientes para possibilitarem, com uma certa segurança, a utilização dos dados do posto Cuiabá para a determinação das vazões ocorridas durante o período crítico do sistema, as quais são necessárias para a continuidade dos estudos, decidiu-se pela não utilização desses registros.

Também foram considerados os postos fluviométricos do sul do Estado do Pará e do oeste e centro do Estado do Tocantins que, apesar de pertencerem à Região Norte pela divisão geo-elétrica, possuem as características típicas da Região de cerrado.

A mesma situação verificada no posto Cuiabá pôde ser observada no posto Missão Cururu (código: 17450000), situado no sul do Estado do Pará, próximo à divisa

com o Estado do Mato Grosso. Os primeiros registros de cotas diárias datam de fevereiro de 1931 e as primeiras medições de descarga líquida de março de 1979. Também para este posto foram aplicados os testes estatísticos Mann-Kendall e Smirnov, de forma a se verificar a homogeneidade, ao longo do histórico, da série de cotas observada. Nos dois testes, as hipóteses básicas foram rejeitadas.

Em seguida, os postos fluviométricos dos Estados do Mato Grosso do Sul, Goiás e Tocantins foram analisados. No primeiro destes, o único posto com registros de cotas no período crítico possui área de 474.500 km^2. O Estado de Goiás possui 3 postos que possuem dados para o período crítico, sendo que um deles possui área de apenas 568 km^2, e os outros dois, com área na faixa dos 90.000 km^2, encontram-se ao sul do Estado, próximos à divisa com Minas Gerais, não mais caracterizando a região de interesse. No Estado do Tocantins, os dois postos identificados possuem áreas de 130.052 km^2 e 173.828 km^2, respectivamente.

Devido à inexistência de um local com as condições desejadas em termos de magnitude de área de drenagem e disponibilidade de registros no período crítico, abriu-se mão da restrição referente à área de drenagem. Passou-se a buscar um posto com registros de cotas no período crítico, que possuísse área de drenagem de no máximo 200.000 km^2, e que apresentasse, inserido nesta bacia, um outro posto com área entre 8.000 km^2 e 30.000 km^2, de modo que os dados do primeiro pudessem ser transferidos para o segundo.

A adoção deste novo critério induziu à modificação da proposição inicial deste trabalho: não mais haveria uma série de dados original e de boa qualidade no local do estudo, mas sim diversas séries obtidas por diferentes metodologias, cada qual apresentando o seu risco. Devido à isto, a análise passa a ser efetuada através da comparação entre as mesmas, e não a uma série única.

Sob as novas condições, estavam os posto Peixe (código: 22050001) e Porto Nacional (código: 22350000), ambos no Rio Tocantins, no Estado do Tocantins, com áreas de drenagem de 130.052 km² e 173.828 km², respectivamente.

Após solicitação de demais dados destes dois postos à ANEEL, constatou-se que o posto Peixe, com registros de cotas diárias a partir de setembro de 1938, possui medições de descarga apenas a partir de dezembro de 1970, havendo, portanto, as mesmas restrições encontradas nos postos Cuiabá e Missão Cururu, já analisados. A aplicação dos testes estatísticos Mann-Kendall e Smirnov indicaram a não homogeneidade da série ao longo do histórico.

O posto Porto Nacional, apesar de possuir cotas a partir de setembro de 1930 e medições de descarga líquida a partir de dezembro de 1971, possui vazões médias diárias geradas a partir de janeiro de 1949.

Buscou-se junto à ANEEL e à Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) informações que esclarecessem o procedimento pelo qual foram geradas as vazões anteriores ao período de medição de descarga. Da CPRM partiu a única informação, mesmo que informal: antigamente os postos fluviométricos desta região possuíam interesse apenas para navegação fluvial, sendo portanto coletadas apenas informações de cota. No final da década de sessenta, com a criação do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), hoje ANEEL, passou a haver interesse nas informações sobre vazão, tendo, neste período, sido iniciadas campanhas de medição de descarga líquida em diversos locais. A série de vazões médias diárias gerada para o posto Porto Nacional no período anterior às medições de descarga foi atribuída à ELETROBRAS, visando o estudo de aproveitamentos energéticos nesta região. Esta informação é reforçada pelo fato de que, apesar de existirem cotas a partir de 1930, foram geradas vazões apenas a partir de 1949, que coincide com o ano de início do período crítico do sistema. Não há informações de

como foi efetuada essa geração. A análise mais detalhada dos dados deste posto, apresentada no item 7.2.1, leva-nos à algumas conclusões a respeito.

Apesar das deficiências encontradas nos dados do posto Porto Nacional, e constatando-se a inexistência de um posto que atendesse por completo os critérios anteriormente estabelecidos, decidiu-se pela sua adoção, partindo-se da premissa da existência de uma pré-análise, mesmo que não disponível, efetuada pela ELETROBRÁS. A seguir, efetuou-se a pesquisa de um segundo posto, inserido na bacia do posto Porto Nacional que, apresentando uma área de drenagem menor, possibilitasse a transferência dos dados.

O Rio Tocantins, na bacia do posto Porto Nacional, corre do sul para o norte, tendo a sua cabeceira e, aproximadamente metade de sua área de drenagem, inserida no Estado de Goiás. Nesta bacia existem diversos postos fluviométricos com diferentes períodos de registros e áreas de drenagem. Destes, foram selecionados 3, por encontrarem-se em afluentes da margem esquerda: posto Colonha (código: 22100000) e posto Jacinto (código: 22150000), ambos no Estado do Tocantins, com áreas de drenagem respectivamente iguais a 8.690 km² e 13.811 km², e posto Colônia dos Americanos (código: 20490000), no Estado de Goiás, com área de 18.282 km². A data de início de operação destes postos é, respectivamente, ago/74, dez/71 e set/73. A preferência por postos da margem esquerda deve-se ao fato de que os da margem direita possuem a sua nascente junto à divisa com o Estado da Bahia, com possibilidade de caracterização de uma hidrologia diferente da proposta inicialmente.

Para os 3 postos pré-selecionados foram obtidos, junto à ANEEL, os dados de medições de descarga líquida, e analisadas as curvas de descarga utilizadas para a geração de vazões, bem como a correlação das séries de vazões médias mensais com a do posto Porto Nacional. Para esta análise foram utilizados os dados originalmente fornecidos, não tendo sido efetuada, até então, qualquer consistência.

Desta análise, resultou a seleção do posto fluviométrico Jacinto, no Rio Santa Teresa, como sendo o local para o estudo de caso a ser efetuado. Esta escolha deve-se, principalmente, à maior proximidade deste com o posto Porto Nacional, e a localização e magnitude da área de drenagem, que representam de forma mais adequada a região e o tipo de aproveitamento hidrelétrico que se pretende simular.

A bacia hidrográfica selecionada possui, em média, 220 km de extensão por 60 km de largura, e encontra-se inserida, pela classificação da ANEEL, na Bacia 2, que corresponde à bacia hidrográfica do Rio Tocantins, mais especificadamente na sub-bacia 22, que compreende a área de drenagem do rio Tocantins entre a confluência do rio Paranã, exclusive, e a confluência do rio do Sono, inclusive.

Com uma área de drenagem de 13.811 km^2, o Rio Santa Teresa na bacia em questão, desenvolve-se no sentido Sul-Norte e possui um afluente principal, o Rio Cana Brava, que deságua em sua margem esquerda.

O local escolhido para o estudo de caso é apresentado na Figura 6.1.

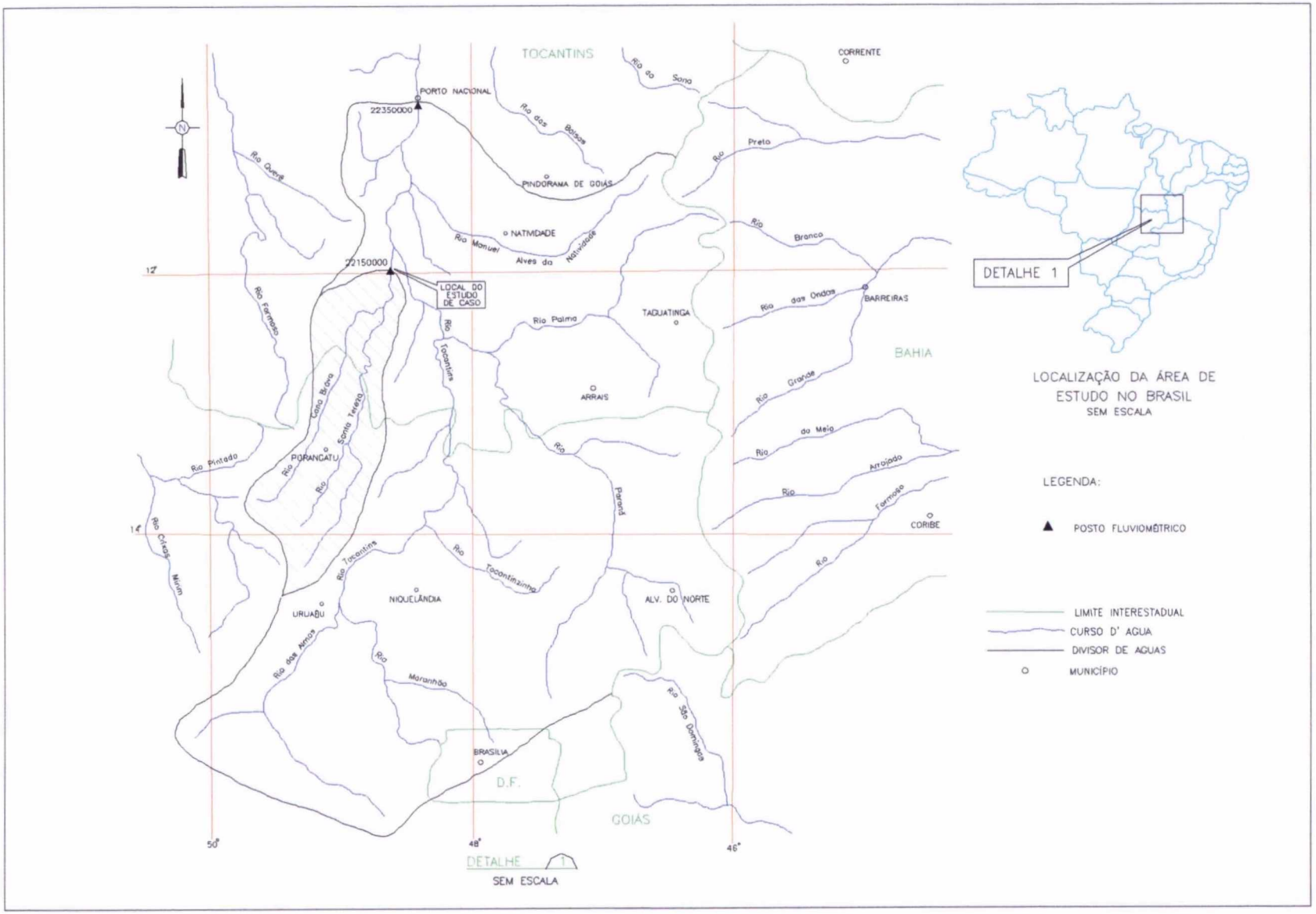


Figura 6.1 Local escolhido para o estudo de caso

6.3 Cenários considerados

Apesar da natural deficiência de informações hidrológicas existente no local do estudo de caso, procurou-se, de forma a se obter um resultado mais abrangente, simular algumas situações, em termos de disponibilidade de dados, com as quais freqüentemente o hidrólogo se depara por ocasião do desenvolvimento de estudos hidroenergéticos.

Observada a diferente gama de situações possíveis, foram escolhidas algumas consideradas representativas:

Cenário 1: Inexistência de dados fluviométricos na região do local em estudo, seja na bacia hidrográfica em questão, ou em local próximo com área de drenagem de grandeza similar (não há dados).

Cenário 2: Disponibilidade de dados fluviométricos para o local do estudo de caso, com período pouco extenso e sem registros para o período crítico (há dados no local).

Cenário 3: Inexistência de dados fluviométricos para o local do estudo de caso, e disponibilidade de dados fluviométricos em posto inserido na bacia hidrográfica em estudo, com período pouco extenso e sem registros para o período crítico (não há dados no local, mas há dados na bacia).

Cenário 4: Inexistência de dados fluviométricos para o local do estudo de caso ou na bacia hidrográfica em estudo, e disponibilidade de dados fluviométricos em posto localizado próximo à bacia, sendo este com área de drenagem similar à bacia em estudo, com período pouco extenso e sem registros para o período crítico (não há dados na bacia, mas há dados em bacia vizinha).

7. ESTUDO DE CASO - ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Os estudos hidrológicos para o desenvolvimento do estudo de caso consistiram na seleção, análise e consistência dos dados hidrométricos e obtenção de séries de vazões médias mensais para os diferentes cenários adotados, considerando-se as diferentes metodologias empregadas.

7.1 Dados utilizados

Definido o local do estudo de caso, partiu-se para a seleção dos postos necessários à simulação dos cenários propostos.

7.1.1 Dados fluviométricos

Os postos fluviométricos utilizados para o desenvolvimento deste estudo de caso são apresentados na Tabela 7.1.

Tabela 7.1 Postos fluviométricos utilizados

Código	Nome	Rio	Coordenadas		Área
			Lat.	Long.	(km^2)
22100000	Colonha	Santa Teresa	12° 23' 32"	48° 42' 46"	8.690
22150000	Jacinto	Santa Teresa	11° 59' 03"	48° 39' 33"	13.811
22250000	Faz. Lobeira	Manuel Alves da Natividade	11° 31' 56"	48° 17' 21"	14.462
22350000	Porto Nacional	Tocantins	10° 42' 31"	48° 25' 09"	173.828

O posto Jacinto encontra-se no local do estudo de caso e representa a disponibilidade de dados no local do aproveitamento energético que se encontra sob estudo de viabilidade (Cenário 2).

Essa possibilidade pode, por exemplo, ser materializada pela implantação de um posto em um local onde haja interesse energético por ocasião da conclusão do estudo de inventário e divisão de quedas de um determinado curso d'água. Muito dificilmente haverá tempo hábil para a obtenção de uma série suficientemente longa a ponto de suprir toda a gama de informações necessárias aos estudos de viabilidade. Entretanto, o prévio conhecimento da magnitude das vazões no local de interesse poderá vir a proporcionar uma base mais segura para o dimensionamento energético, bem como para a definição de outros parâmetros de projeto.

O posto Colonha representa a disponibilidade de dados na bacia, mas não no local de interesse (Cenário 3).

O posto Fazenda Lobeira representa a existência de dados apenas em bacia vizinha e com área de drenagem de valor similar à bacia de interesse (Cenário 4).

A série de dados do posto Porto Nacional foi considerada série básica, por ser este o único posto fluviométrico na região que possui registros no período crítico do sistema, de forma a possibilitar, para os diversos cenários, a caracterização hidrológica do local do estudo de caso neste período.

7.1.2 Dados pluviométricos

Procurou-se, próximo à região escolhida para o estudo de caso, um posto pluviométrico com série extensa (30 anos ou mais), e que possuísse registros no período crítico do sistema.

Em todo o Estado do Tocantins, apenas 6 postos atendem a esse critério. Destes, 5 têm como órgão operador o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), o qual cobra um valor significativo pelo fornecimento dos registros dos mesmos; e o outro posto, cuja

entidade operadora é indicada no Inventário da ANEEL como "outras", foi extinto em dezembro de 1970, não possuindo portanto período comum de dados com os postos fluviométricos Jacinto, Colonha e Fazenda Lobeira, de forma a possibilitar a utilização do modelo de transformação chuva-vazão SMAP.

O Estado de Goiás possui 11 postos com as condições necessárias, sendo que 9 deles têm como entidade operadora o INMET. Os demais postos, cuja responsabilidade é da ANEEL, encontram-se próximos à Goiânia, já bastante distanciados do local em estudo.

Foram também pesquisados postos no Estado do Mato Grosso. Os 11 postos que atendiam aos critérios são de responsabilidade do INMET.

Para representar a disponibilidade de dados pluviométricos para o período crítico na região em estudo foi selecionado o posto Paranã, por ser este o único posto pluviométrico na região com as características desejáveis, cujos dados puderam ser disponibilizados para o desenvolvimento deste trabalho. Este posto situa-se no Estado do Tocantins, a cerca de 70 km do local do estudo de caso.

Outros postos foram selecionados, em função da disponibilidade dos seus dados, para o preenchimento das falhas de observação e complementação da série do posto Paranã.

Na Tabela 7.2 são apresentados os postos pluviométricos utilizados no desenvolvimento do estudo de caso, e dos quais foram utilizados os dados de totais diários precipitados, convertidos posteriormente para totais mensais precipitados.

Tabela 7.2 Postos pluviométricos utilizados

Código	Nome	Município	Coordenadas		Altitude
			Lat.	Long.	(m)
01145001	Formosa do Rio Preto	Formosa do Rio Preto	11° 03' 00"	45° 12' 00"	491,0
01145002	Formosa do Rio Preto	Formosa do Rio Preto	11° 03' 00"	45° 12' 00"	491,0
01145003	Cariparé	Riachão das Neves	11° 32' 00"	45° 04' 00"	505,0
01145012	Formosa do Rio Preto	Formosa do Rio Preto	11° 03' 00"	45° 12' 00"	488,0
01244009	Barreiras	Barreiras	12° 09' 00"	44° 59' 00"	435,0
01244011	Barreiras	Barreiras	12° 09' 00"	44° 59' 00"	435,0
01247003	Paranã	Paranã	12° 33' 00"	47° 51' 00"	275,0
01348003	Trombas	Trombas	13° 30' 12"	48° 44' 00"	450,0
01249000	Alvorada	Alvorada	12° 28' 48"	49° 07' 12"	não disponível
01349001	Novo Planalto	Novo Planalto	13° 14' 30"	49° 30' 00"	500,0

7.1.3 Dados evaporimétricos

Não foi possível a obtenção de dados históricos de totais médios evaporados mensais em tanque tipo Classe "A", necessários para a utilização do modelo SMAP. Desta forma, foram utilizados os dados referentes ao posto Peixe (código: 01248002), que se encontram disponíveis nas Normais Climatológicas (BRASIL, 1992). Estes dados são apresentados na Tabela 7.3.

Tabela 7.3 Totais evaporados em tanque tipo Classe "A" no posto Peixe

Total evaporado mensal (mm)											
jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
77,1	67,4	75,6	92,8	125,6	175,7	210,8	238,6	218,4	136,5	87,0	76,7

A Figura 7.1 apresenta a localização das bacias hidrográficas de interesse e dos postos hidrométricos utilizados.

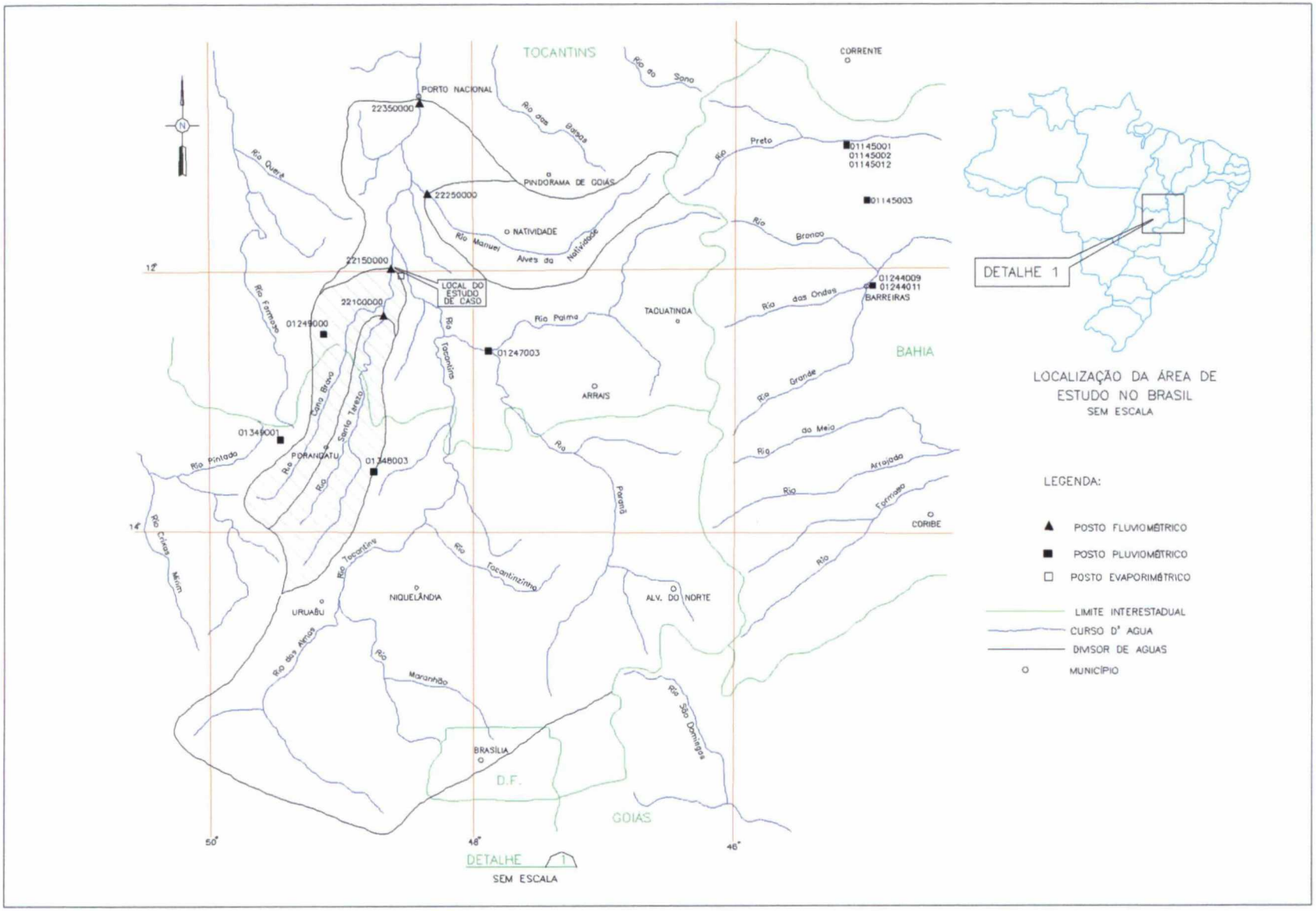


Figura 7.1 Localização das bacias hidrográficas de interesse e dos postos hidrométricos utilizados

7.2 Análise de consistência dos dados

No período de desenvolvimento deste estudo, a ANEEL não estava disponibilizando as curvas de descarga dos postos, fosse de forma tabular ou gráfica. Assim sendo, e tendo-se os dados de cotas médias diárias e vazões médias diárias fornecidos, foram restabelecidas as relações cota-vazão utilizadas pela ANEEL, e analisadas juntamente com as medições de descarga líquida disponíveis para o local.

Tendo-se como base esta análise, foram definidas novas funções cota-vazão, quando se julgou necessário, e efetuadas extrapolações dos tramos superiores destas funções de forma que as mesmas possibilitassem a total abrangência das cotas observadas.

Para a extrapolação da curvas foi utilizado o Método de Stevens, com a representação da relação cota-vazão pela equação de Chézy.

Conforme JACCON e CUDO (1989), o método de Stevens pode ser representado da seguinte forma:

$$\frac{Q}{A\sqrt{R}} = C\sqrt{J} \qquad (7.1)$$

onde Q é a vazão, A é a área do escoamento, R é o raio hidráulico, J é a declividade, e C uma constante.

As quantidades $Q/A\sqrt{R}$ e $C\sqrt{J}$ são respectivamente denominadas de fator geométrico e fator de declividade, e o método considera que, nos limites da aplicação da formula de Chézy, o fator de declividade é constante, sendo, portanto, a função $Q=f(A\sqrt{R})$ uma reta que passa pela origem.

Jaccon e Cudo indicam que a fórmula de Chézy pode ser substituída pela fórmula de Manning-Strickler. Esta variação foi aplicada por GOMES (1997) que, no mesmo trabalho, testou a representação da vazão em função do fator de forma também como uma reta, porém não passando pela origem, isto é, o fator de declividade não foi considerado constante. Com esta modificação, Gomes obteve melhores resultados para o caso analisado.

No presente estudo de caso, o Método de Stevens foi aplicado a partir da fórmula de Chézy, conforme apresentado por Jaccon e Cudo, porém foi adotada a modificação testada por Gomes, considerando o fator de declividade não mais uma constante.

A aplicação do Método de Stevens deve ser restrita a cursos de água onde o escoamento é próximo do uniforme e o perfil da seção transversal é estável. Neste estudo de caso, estas hipóteses foram consideradas aceitáveis.

A partir das curvas de descarga revisadas, foram geradas vazões médias diárias para todo o período de cotas disponível e, subseqüentemente, as séries de vazões médias mensais.

Apresenta-se nos itens seguintes, um resumo das análises e conclusões obtidas para cada um dos postos fluviométricos.

7.2.1 Posto Porto Nacional

Os dados fornecidos pela ANEEL compreenderam:

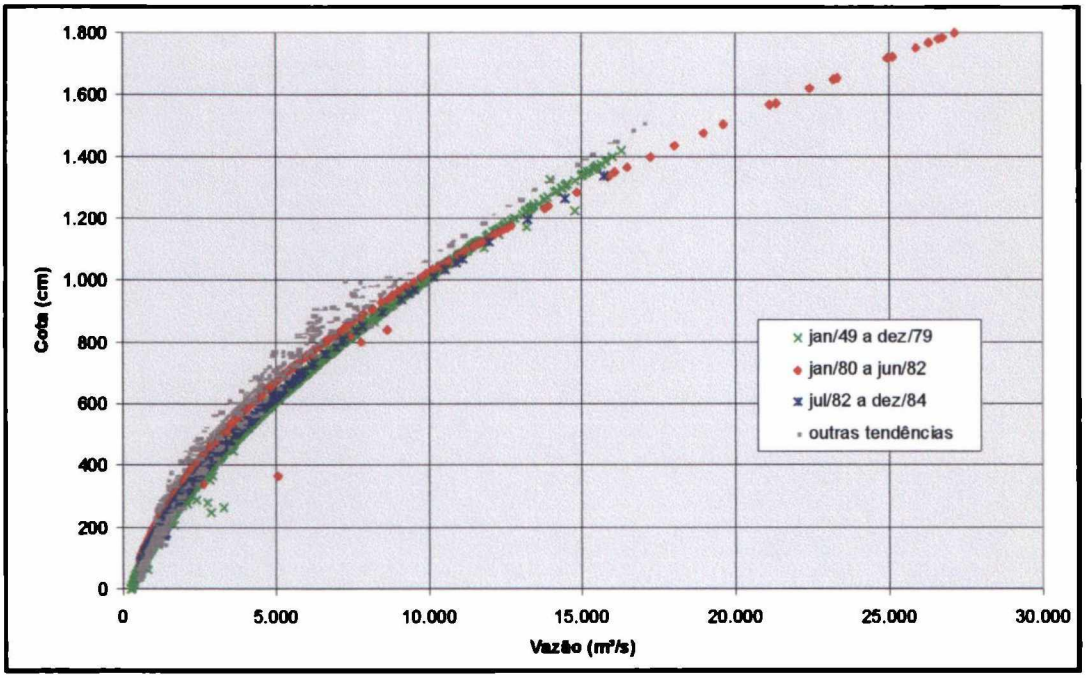
a) cotas médias diárias: setembro de 1930 a fevereiro de 1998, havendo falhas esparsas de observação nos anos de 1935, 1937 a 1940, 1978, 1989 a 1990, 1992 a 1994, e inexistência de observações para o período compreendido entre abril de 1940 a dezembro de 1948;

b) vazões médias diárias geradas: para as cotas disponíveis no período compreendido entre janeiro de 1949 a dezembro de 1984;

c) medições de descarga líquida: em número de 146, para o período compreendido entre dezembro de 1971 a agosto de 1997.

Plotadas as cotas médias diárias *versus* vazões médias diárias, foram identificadas 3 tendências principais (com maior número de pontos), conforme pode ser observado na Figura 7.2.

Figura 7.2 Posto Porto Nacional - Relações *cota x vazão* utilizadas pela ANELL - Principais tendências



A primeira destas tendências inicia-se em janeiro de 1949, período para o qual não existem registros de medições de vazões, e prossegue até o final de 1979; a segunda tendência vai de janeiro de 1980 a junho de 1982; e a terceira de julho de 1982 a dezembro de 1984.

Outras tendências, que podem ser identificadas no gráfico, correspondem aos seguintes períodos:

a) janeiro a maio de 1961, e março a abril de 1966;

b) janeiro e março de 1982, e fevereiro de 1983;

c) outubro dos anos 1974 e 1975, e junho a outubro de 1976;

d) abril de 1982;

e) junho a setembro de 1983 e julho a outubro de 1984.

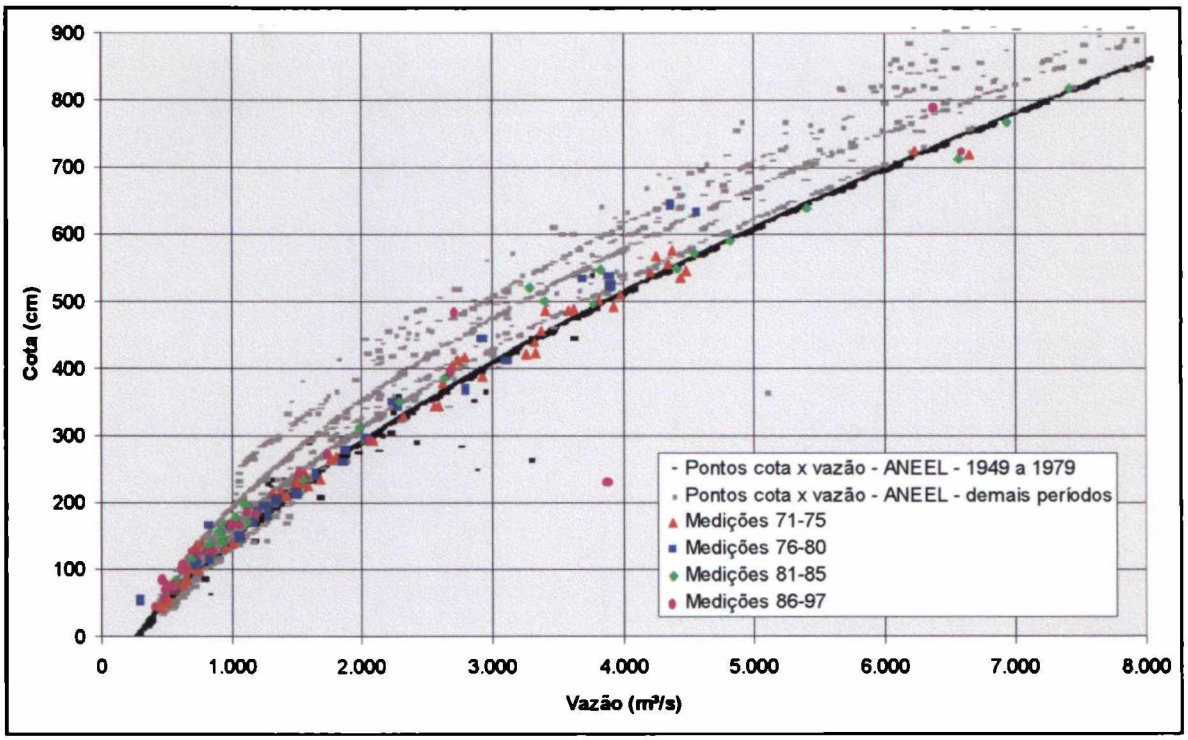
A utilização de outras funções em períodos menores também foram identificadas, bem como períodos em que os pontos apresentam-se dispersos (janeiro a abril de 1960).

Pôde-se perceber que uma mesma relação cota-vazão foi utilizada em diferentes períodos, entrecortados pela utilização de outras relações. Não foi possível obter junto à ANEEL o histórico descritivo do posto e nem qualquer outro tipo de informação que permitisse o entendimento dos procedimentos e critérios utilizados para a definição das curvas de descarga e geração das vazões.

As medições de descarga líquida disponíveis para o posto Porto Nacional apresentam uma tendência que coincide razoavelmente com a relação cota-vazão utilizada pela ANEEL no período de janeiro de 1949 a dezembro de 1979.

A Figura 7.3 apresenta as medições de descarga líquida juntamente com os pontos cota média diária x vazão média diária fornecidos pela ANEEL, com destaque para a tendência de jan/49 a dez/79.

Figura 7.3 Posto Porto Nacional - Relações cota x vazão utilizadas pela ANELL e medições de descarga líquida



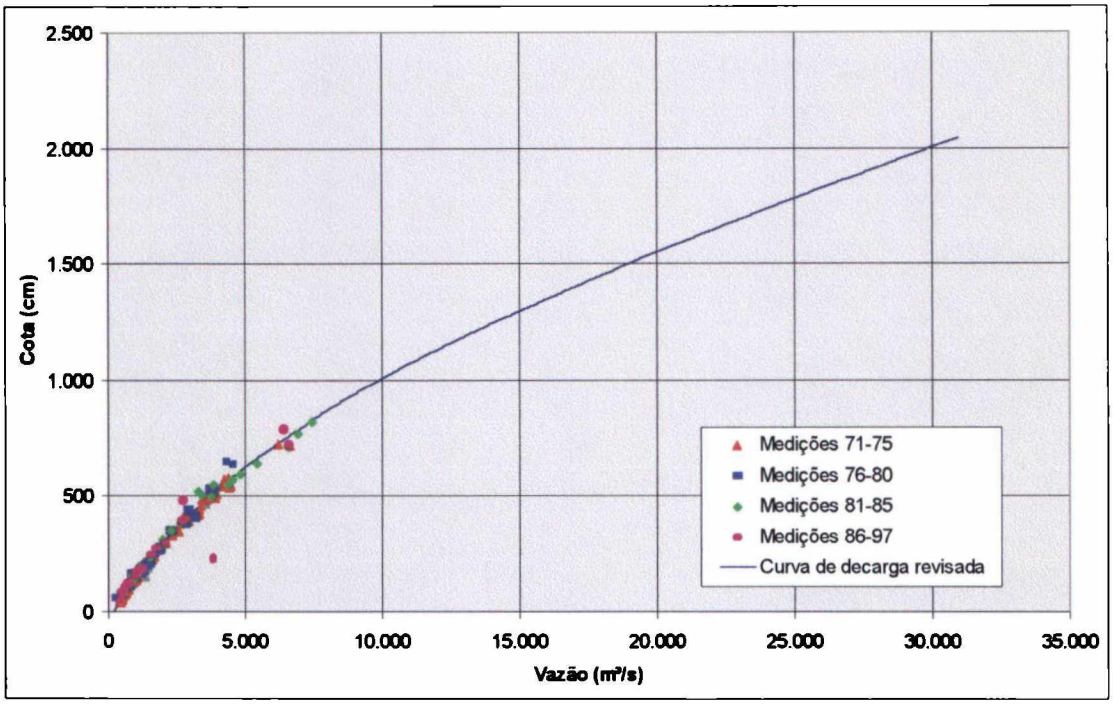
As seções transversais disponibilizadas pela CPRM, correspondentes a 3 levantamentos topobatimétricos (agosto de 1994, julho de 1996 e agosto de 1997), foram analisadas conjuntamente com os dados de medições de descarga líquida, gerando-se, para tanto, gráficos largura x profundidade e área x profundidade. Desta análise, constatou-se que as seções para os levantamentos efetuados nos diferentes períodos são compatíveis entre si e com as medições de descarga, não tendo sido identificadas alterações significativas da seção transversal ao longo do tempo.

Desta forma, tendo-se como base as medições de descarga líquida, decidiu-se pela definição de uma única curva de descarga, para todo o período, visto que as informações disponíveis não justificam a adoção de mais de uma relação.

Sendo a cota máxima registrada igual a 1.800 cm, e a maior vazão medida correspondente à cota 819 cm, a nova curva de descarga ajustada foi extrapolada pelo

Método de Stevens, utilizando-se, para tanto, a seção transversal disponível para o levantamento topobatimétrico mais recente (ago/77). Esta nova relação cota-vazão pode ser observada na Figura 7.4.

Figura 7.4 Posto Porto Nacional - Medições de descarga líquida e curva de descarga revisada



Foram aplicados às séries de vazões médias mensais e médias anuais resultantes da curva de descarga revista, testes estatísticos entre os períodos jan/49 a dez/71 e jan/72 e jan/98 (período sem e com medições de descarga líquida, respectivamente), de modo a se verificar a homogeneidade entre as mesmas. Os testes aplicados foram Mann-Kendall (BRASIL, 1987, e STROBEL, 1987), cuja hipótese básica é a não tendenciosidade das séries, e Smirnov (BRASIL, 1987) e Student (STROBEL, 1987), que possuem por hipótese básica a homogeneidade das médias. Os testes foram aplicados para o nível de significância de 5%, considerando-se n-2 graus de liberdade.

A aplicação dos testes às séries de vazões médias mensais conduziu, nos três casos, à rejeição das hipóteses básicas, ao passo que, quando aplicados às séries de vazões médias anuais, as quais apresentam uma maior estacionaridade, as hipóteses básicas foram aceitas.

Apesar das indicações de não homogeneidade resultantes da aplicação dos testes, e da ausência de informações disponíveis de forma a se verificar a validade da curva de descarga definida para todo o período de cotas disponível, decidiu-se pela utilização da mesma para as cotas observadas a partir de janeiro de 1949, de maneira a se possibilitar a caracterização do regime hidrológico durante o período crítico do sistema, conforme o procedimento já utilizado anteriormente pela ELETROBRÁS, como exposto no item 6.2.

7.2.2 Posto Jacinto

Os dados fornecidos pela ANEEL compreenderam:

a) cotas médias diárias: dezembro de 1971 a novembro de 1997, havendo falhas esparsas de observação nos anos de 1981, 1985 a 1995, e 1997;

b) vazões médias diárias geradas: para as cotas disponíveis no período compreendido entre dezembro de 1971 a dezembro de 1991;

c) medições de descarga líquida: em número de 154, para o período compreendido entre dezembro de 1971 a novembro de 1997.

Plotadas as cotas médias diárias *versus* vazões médias diárias, foi constatada a utilização de uma relação cota-vazão única para todo o período.

As medições de descarga líquida disponíveis para o posto Jacinto também apresentam uma tendência única que coincide razoavelmente com a relação cota-vazão utilizada pela ANEEL. Entretanto, esta relação apresenta-se, para as maiores cotas, um pouco alta, indicando uma possível subestimativa da vazões de cheia.

As seções transversais disponibilizadas pela CPRM, correspondentes a 3 levantamentos topobatimétricos (agosto de 1995, setembro de 1996 e setembro de 1997), foram analisadas conjuntamente com os dados de medições de descarga líquida, gerando-se, para tanto, gráficos largura x profundidade e área x profundidade. Desta análise, constatou-se que as seções para os levantamentos efetuados nos diferentes períodos são compatíveis entre si e com as medições de descarga, não tendo sido identificadas alterações significativas da mesma ao longo do tempo.

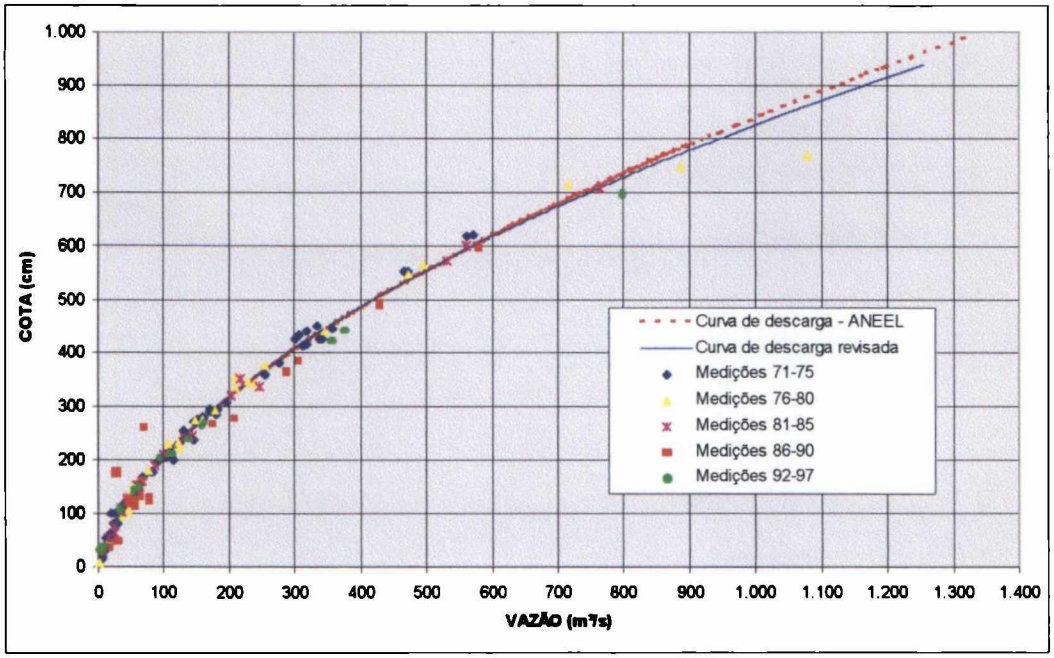
Desta forma, tendo-se como base as medições de descarga líquida, decidiu-se por uma nova adequação do tramo superior da curva, a partir da cota 600 cm.

Sendo a cota máxima registrada igual a 900 cm, e a maior vazão medida correspondente à cota 767 cm, a nova curva de descarga necessitou de extrapolação. Contudo, não foi possível a utilização do Método de Stevens, devido às seções transversais disponibilizadas pela CPRM possuírem informações apenas até a cota 620 cm.

Considerando-se o pequeno tramo a ser extrapolado, a razoável qualidade das informações disponíveis, bem como a pouca influência do tramo superior para a geração energética, decidiu-se efetuar a extrapolação seguindo-se para tanto a tendência da curva definida pelas medições de descarga líquida.

As medições de descarga líquida, a relação cota x vazão utilizada pela ANEEL, bem como a curva de descarga revisada, podem ser observadas na Figura 7.5.

Figura 7.5 Posto Jacinto - Medições de descarga líquida, curva de descarga da ANEEL e curva de descarga revisada



A série de vazões médias mensais para o posto Jacinto, resultante da utilização da curva de descarga revisada, é apresentada no Anexo 1.

7.2.3 Posto Colonha

Os dados fornecidos pela ANEEL compreenderam:

a) cotas médias diárias: setembro de 1974 a novembro de 1997, havendo falhas esparsas de observação nos anos de 1978 a 1982, 1985 a 1993, e 1996 e 1997;

b) vazões médias diárias geradas: para as cotas disponíveis no período compreendido entre setembro de 1974 a dezembro de 1984;

c) medições de descarga líquida: em número de 98, para o período compreendido entre agosto de 1974 a dezembro de 1997.

Plotadas as cotas médias diárias *versus* vazões médias diárias, foi constatada a utilização de uma tendência principal na geração de vazões diárias.

Outras tendências, que podem ser identificadas no gráfico, correspondem aos seguintes períodos:

a) abril de 1982;

b) junho a setembro de 1983 e julho a outubro de 1984;

c) março de 1984;

d) abril de 1994;

e) novembro de 1994.

Também foram identificados pontos dispersos, sendo estes referentes a alguns dias dos anos de 1981 a 1983.

As medições de descarga líquida disponíveis para o posto Colonha também possuem uma tendência única que apresenta-se, a partir da cota 300 cm, ligeiramente inferior à relação cota-vazão utilizada pela ANEEL.

A seção transversal disponibilizada pela CPRM, correspondente a um levantamento topobatimétrico realizado em setembro de 1997, foi analisada conjuntamente com os dados de medições de descarga líquida, gerando-se, para tanto, gráficos largura x profundidade e área x profundidade. Desta análise, constatou-se que a seção para o levantamento efetuado é compatível com as medições de descarga, não tendo sido identificadas alterações significativas da mesma ao longo do tempo.

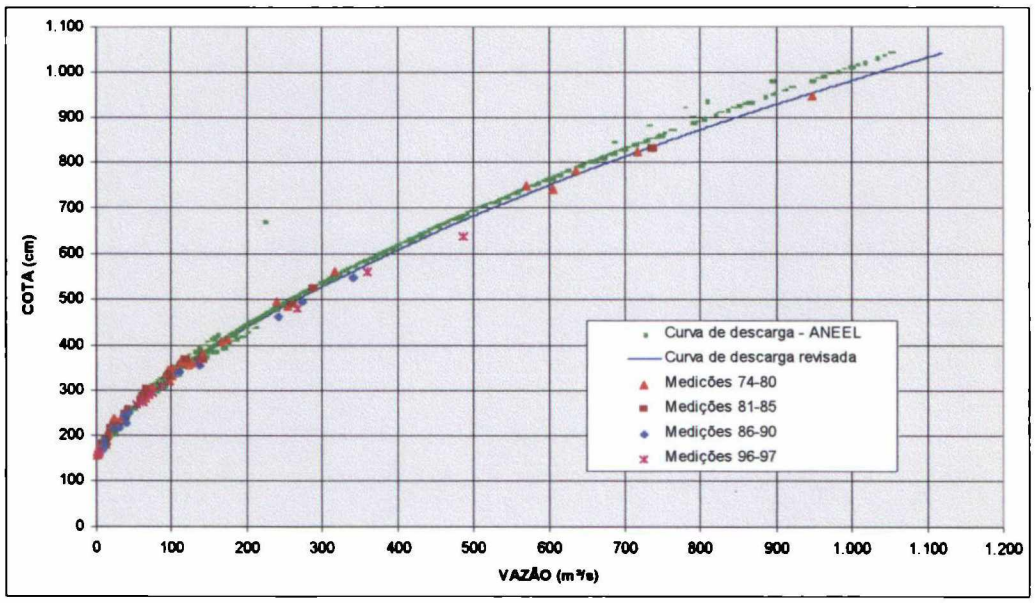
Desta forma, tendo-se como base as medições de descarga líquida, decidiu-se por uma nova adequação do tramo superior da curva, a partir da cota 300 cm.

Sendo a cota máxima registrada igual a 1.040 cm, e a maior vazão medida correspondente à cota 947 cm, a nova curva de descarga necessitou de extrapolação. Contudo, não foi possível a utilização do Método de Stevens, devido à seção transversal disponibilizada pela CPRM possuir informações apenas até a cota 800 cm.

Considerando-se o pequeno tramo a ser extrapolado, a razoável qualidade das informações disponíveis, bem como a pouca influência do tramo superior para a geração energética, decidiu-se efetuar a extrapolação seguindo-se para tanto a tendência da curva estabelecida pelas medições de descarga líquida.

As medições de descarga líquida, a relação cota x vazão utilizada pela ANEEL, bem como a curva de descarga revisada, podem ser observadas na Figura 7.6.

Figura 7.6 Posto Colonha - Medições de descarga líquida, curva de descarga da ANEEL e curva de descarga revisada



A série de vazões médias mensais para o posto Colonha, resultante da utilização da curva de descarga revisada, é apresentada no Anexo 1.

7.2.4 Posto Fazenda Lobeira

Os dados fornecidos pela ANEEL compreenderam:

a) cotas médias diárias: agosto de 1969 a janeiro de 1998, havendo falhas esparsas de observação nos anos de 1970, 1988, 1991 e 1992;

b) vazões médias diárias geradas: para as cotas disponíveis no período compreendido entre agosto de 1969 a maio de 1992;

c) medições de descarga líquida: em número de 249, para o período compreendido entre agosto de 1969 a agosto de 1997.

Plotadas as cotas médias diárias *versus* vazões médias diárias, foi constatada a utilização de uma relação cota-vazão única para todo o período.

As medições de descarga líquida disponíveis para o posto Fazenda Lobeira também apresentam uma tendência única que coincide razoavelmente com a relação cota-vazão utilizada pela ANEEL, sendo que apenas para as medições mais altas, a partir de 1000 m^3/s, nota-se que a curva segue uma tendência ligeiramente inferior a indicada pelas medições.

Desta forma, decidiu-se pela definição de um nova extrapolação do tramo superior da curva, para cotas superiores a 500 cm.

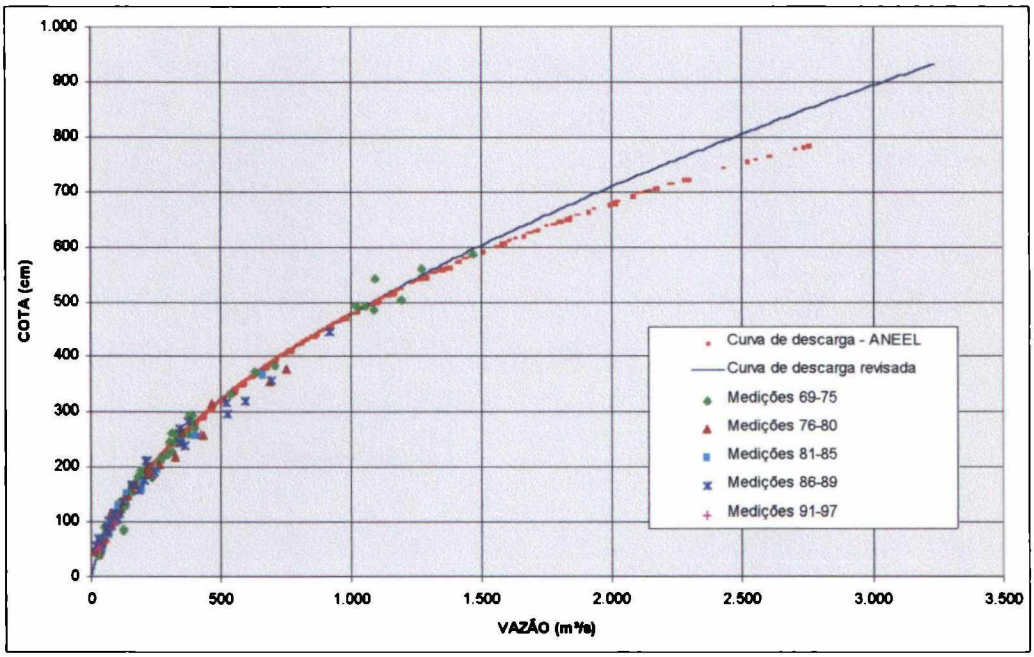
As seções transversais disponibilizadas pela CPRM, correspondentes a 4 levantamentos topobatimétricos (outubro de 1993, agosto de 1994, outubro de 1995, agosto de 1996 e agosto de 1997), foram analisadas conjuntamente com os dados de medições de descarga líquida, gerando-se, para tanto, gráficos largura x profundidade e área x profundidade. Desta análise, constatou-se que as seções para os levantamentos efetuados

nos diferentes períodos são compatíveis entre si e com as medições de descarga, não tendo sido identificadas alterações significativas da mesma ao longo do tempo.

Sendo a cota máxima registrada igual a 784 cm, e a maior vazão medida correspondente à cota 585 cm, a curva foi extrapolada pelo Método de Stevens.

As medições de descarga líquida, a relação cota x vazão utilizada pela ANEEL, bem como a curva de descarga revisada, podem ser observadas na Figura 7.7.

Figura 7.7 Posto Fazenda Lobeira - Medições de descarga líquida, curva de descarga da ANEEL e curva de descarga revisada



A série de vazões médias mensais para o posto Fazenda Lobeira, resultante da utilização da curva de descarga revisada, é apresentada no Anexo 1.

7.3 Obtenção das séries mensais básicas

As séries históricas dos postos básicos (fluviométrico Porto Nacional e pluviométrico Paranã) tiveram as falhas existentes preenchidas anteriormente à aplicação dos cenários, considerando a disponibilidade total e real dos dados da região.

Este procedimento objetivou a obtenção de registros mensais contínuos, que incluíssem também o período crítico do sistema e servissem de base para a determinação das série de vazões médias mensais para os diferentes cenários.

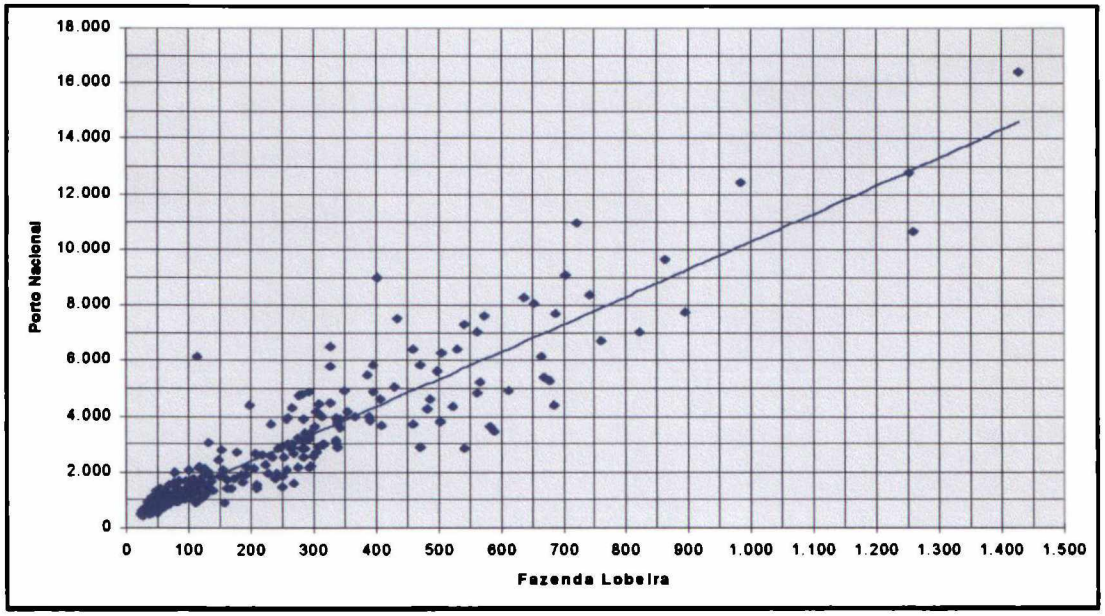
7.3.1 Série básica fluviométrica - Posto Porto Nacional

A série de vazões médias mensais resultante da análise de consistência de dados do posto Porto Nacional compreendeu 559 valores entre janeiro de 1949 a janeiro de 1998, havendo um total de 29 valores mensais a serem preenchidos.

As falhas foram preenchidas por correlação com o posto Fazenda Lobeira. Uma função polinomial foi ajustada aos dados de vazões médias mensais comuns aos dois postos, resultando em um coeficiente de correlação de 87%.

O ajuste polinomial efetuado é apresentado na Figura 7.8 e a série de vazões médias mensais resultante para o posto Porto Nacional pode ser observada no Anexo 1.

Figura 7.8 Correlação entre vazões médias mensais dos postos Porto Nacional e Fazenda Lobeira



7.3.2 Série básica pluviométrica - Posto Paranã

A série de totais pluviométricos mensais do posto Paranã compreendeu 350 valores entre janeiro de 1949 a novembro de 1985, havendo um total de 93 valores mensais a serem preenchidos, sendo os mesmos distribuídos nos anos de 1964, 1965, e 1976 a 1983.

Para o preenchimento das falhas existentes no período entre 1976 a 1983, foram utilizadas as séries de totais mensais precipitados dos postos Trombas, Alvorada e Novo Planalto, sendo que os dois primeiros encontram-se localizados na bacia em estudo, e o terceiro, bastante próximo à mesma, junto ao seu limite oeste. Estes postos possuem registros apenas a partir de janeiro de 1972 (Alvorada) e outubro de 1973 (Trombas e Novo Planalto), não sendo, portanto, possível a correção das falhas referentes aos anos de 1964 e 1965 com os mesmos.

Para o preenchimento das falhas foi adotado o Método das Vizinhanças (MATOS NETO, FRAGA, VIEIRA et al., 1990), que baseia-se na ponderação dos postos vizinhos,

através de características da região, representada no presente estudo pelo coeficiente de proporcionalidade entre a média do posto Paranã e as médias dos demais postos, para o mesmo período de registros, conforme a seguinte equação:

$$P_{Par} = \frac{1}{3}\left(\frac{M_{Par}}{M_{Tr}} P_{Tr} + \frac{M_{Par}}{M_{NPl}} P_{NPl} + \frac{M_{Par}}{M_{Alv}} P_{Alv}\right) \qquad (7.2)$$

onde P é o total precipitado do mês considerado; M é o total precipitado médio para o período em questão; e os índices Par, Tr, NPl e Alv indicam os postos Paranã, Trombas, Novo Planalto e Alvorada, respectivamente.

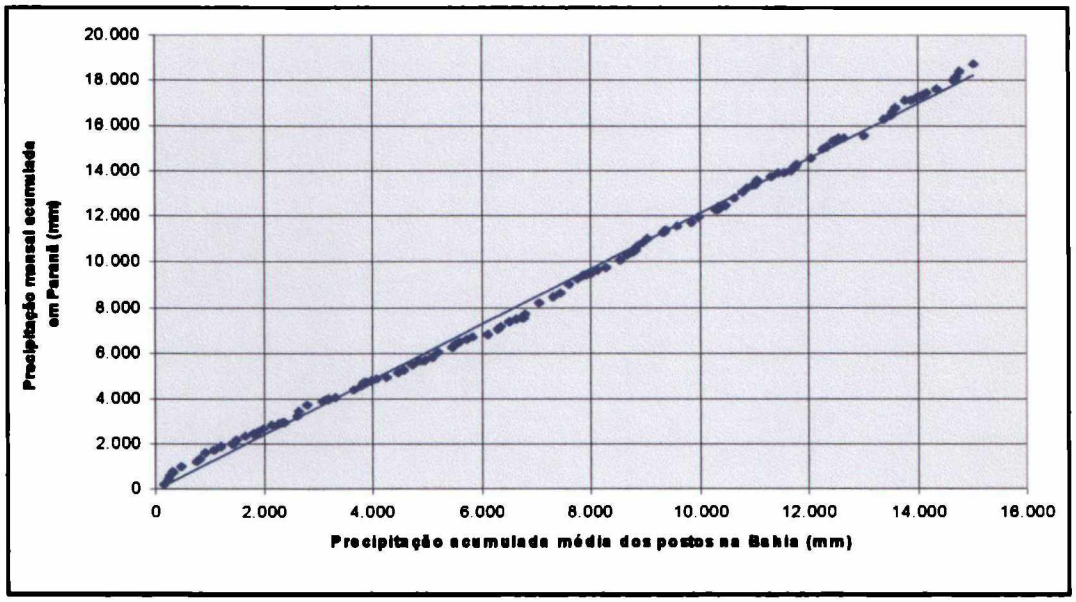
Não foi possível a utilização dos três postos de apoio para a correção de todas as falhas do posto Paranã. Em cada caso, foi verificado quais os postos que possuíam registros para o mês em questão.

Corrigidas as falhas existentes entre os anos de 1976 a 1983, foi aplicado o mesmo procedimento, utilizando-se então os dados dos postos Formosa do Rio Preto (01145001, 01145002 e 01145012), Cariparé (01145003) e Barreiras (01244009 e 01244011) para a correção das falhas existentes nos anos de 1964 e 1965. Estes postos encontram-se localizados no Estado da Bahia, à cerca de 400 km do posto Paranã. A utilização dos mesmos deve-se à indisponibilidade de dados de postos, para este período, em localização mais próxima à área de interesse.

De acordo com o apresentado por NIMER (1989), os postos pluviométricos envolvidos neste procedimento localizam-se em regiões climatologicamente homogêneas, estando inseridos, segundo a classificação de Nimer, em Regime Tropical do Brasil Central, semi-úmido, com 4 a 5 meses secos.

De maneira a se verificar a validade do procedimento adotado, foi construída uma curva duplo-acumulativa com os dados do período comum de registro entre os postos, considerando-se em um dos eixos o total precipitado acumulado do posto Paranã, e no outro eixo, o total precipitado acumulado da média destes 6 postos. Esta curva, que pode ser observada na Figura 7.9, mostra a similaridade das precipitações ocorridas nas duas regiões.

Figura 7.9 Curva duplo-acumulativa - Posto Paranã e postos localizados no Estado da Bahia



A série de totais mensais precipitados resultante para o posto Paranã é apresentada no Anexo 1.

7.4 Obtenção das séries de vazões médias mensais para os diferentes cenários

Para os 4 cenários foi considerada a disponibilidade, não conjunta, das séries básicas (fluviométrica no posto Porto Nacional, e pluviométrica no posto Paranã), que possibilitam a caracterização hidrológica no período crítico do sistema.

Desta forma, considerando-se os 3 métodos para obtenção de séries de vazões médias mensais adotados neste estudo de caso, foi possível a obtenção de 9 séries para o local do aproveitamento hidrelétrico hipotético considerado.

As séries obtidas encontram-se denominadas na Tabela 7.4.

Tabela 7.4 Séries de vazões médias mensais obtidas - denominação

Cenário	Série básica disponível	Método de obtenção da série de vazões médias mensais		
		ÁREA / VMLT	Correlação	SMAP
1 (não há dados)	Fluviométrica	Série Área	Dados fluviométricos indisponíveis	Dados pluviométricos indisponíveis
	Pluviométrica	-	-	Dados fluviométricos indisponíveis
2 (há dados no local)	Fluviométrica	Injustif. pela exist. de dados no local	Série Correl-Jac	-
	Pluviométrica	-	-	Série SMAP-Jac
3 (não há dados no local, mas há dados na bacia)	Fluviométrica	Série VMLT-Col	Série Correl-Col	-
	Pluviométrica	-	-	Série SMAP-Col
4 (não há dados no local, mas há dados em bacia vizinha)	Fluviométrica	Série VMLT-FazLob	Série Correl-FazLob	-
	Pluviométrica	-	-	Série SMAP-FazLob

Os procedimentos adotados para a obtenção das 9 séries são apresentados nos itens a seguir.

7.4.1 Métodos de transferência direta

A aplicação dos métodos de transferência direta abordados neste estudo de caso, foi efetuada para os Cenários 1, 3 e 4.

No Cenário 1, onde não se dispõe de qualquer conhecimento hidrométrico no local do estudo ou em local próximo a ele, a única possibilidade para a transferência dos dados é a aplicação da relação entre as áreas de drenagem.

Nos Cenários 3 e 4, registros existentes na bacia em estudo e em bacia vizinha de grandeza similar, possibilitam a estimativa da magnitude da vazão média de longo termo para o local de interesse, tornando possível a realização da transferência através da relação entre as mesmas.

Para o Cenário 2 esta metodologia não foi aplicada. A existência de registros que possibilitam um conhecimento maior da variação das vazões, principalmente em locais onde há uma sazonalidade bastante pronunciada, não justifica a transferência linear das mesmas.

7.4.1.1 Relação entre áreas de drenagem

A série Área foi obtida para o Cenário 1 pela aplicação da relação entre áreas de drenagem, conforme a seguinte função linear:

$$Q_{AH} = K_{AREA}\, Q_{PN} \qquad (7.3)$$

onde Q_{AH} e Q_{PN} são as vazões médias mensais no aproveitamento hidrelétrico considerado e no posto Porto Nacional, respectivamente; e K_{AREA} é a constante de proporcionalidade entre as áreas de drenagens dos dois locais, ou seja, do aproveitamento hidrelétrico (AH) e de Porto Nacional (PN), calculada como a seguir:

$$K_{AREA} = \frac{A_{AH}}{A_{PN}} = 0{,}079 \qquad (7.4)$$

A série obtida é apresentada no Anexo 2.

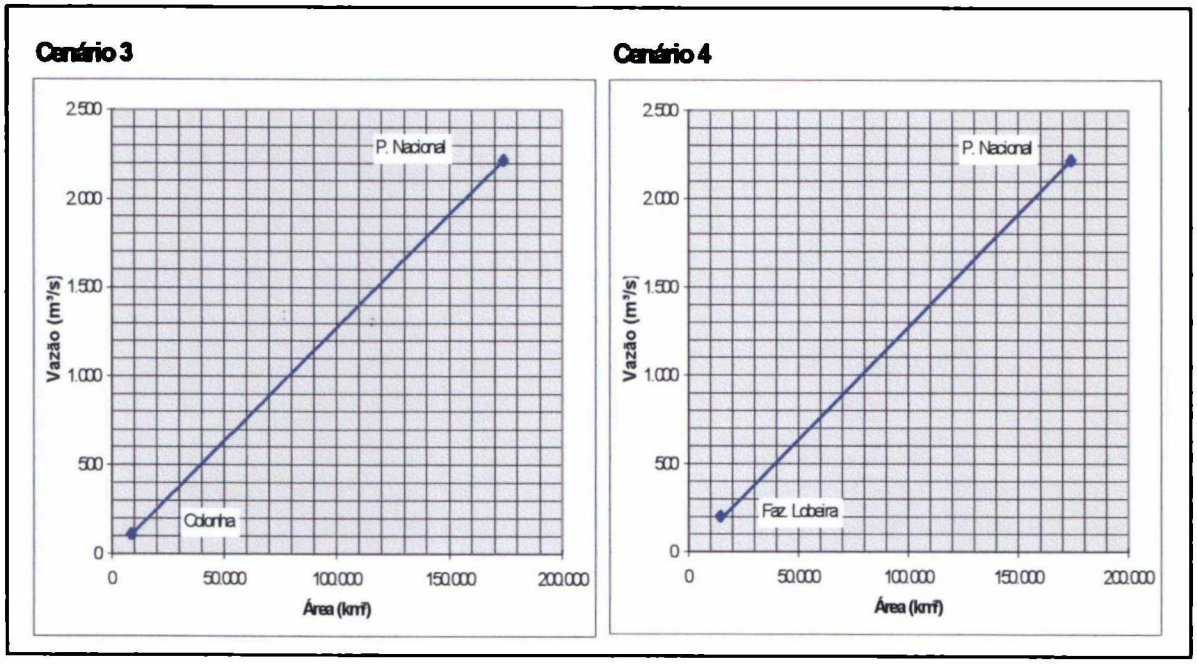
7.4.1.2 Relação entre vazões médias de logo termo

A obtenção das séries VMLT-Col (Cenário 3) e VMLT-FazLob (Cenário 4), foi efetuada estimando-se, primeiramente, a vazão média de longo termo no local do estudo de caso.

Em ambos os casos, foi ajustada uma função linear *vazão média de longo termo x área de drenagem* considerando-se os dados do posto fluviométrico básico (Porto Nacional) e o posto com disponibilidade de dados para o cenário em questão.

Os ajustes efetuados são apresentados na Figura 7.10.

Figura 7.10 Função entre área de drenagem e vazão média de longo termo para os Cenários 3 e 4



As equações que representam os ajustes obtidos são:

Cenário 3: $$VMLT_{AH} = 1{,}276222E-02\, A_{AH} \quad (7.5)$$

Cenário 4: $$VMLT_{AH} = 1{,}276932E-02\, A_{AH} \quad (7.6)$$

onde $VMLT_{AH}$ é a vazão média de longo termo estimada para o local do aproveitamento; e A_{AH} é a área de drenagem do aproveitamento hidrelétrico.

A partir das funções ajustadas, e considerando a área de drenagem no local do aproveitamento (13.811 km2), foi estimada a vazão média de longo termo para os 2 cenários:

Cenário 3: $VMLT_{AH} = 176{,}3\ m^3/s$

Cenário 4: $VMLT_{AH} = 176{,}4\ m^3/s$

As séries VMLT-Col e VMLT-FazLob foram obtidas para os Cenários 3 e 4, respectivamente, pela aplicação da relação entre vazões médias mensais de longo termo, conforme a seguinte função linear:

$$Q_{AH} = K_{VMLT}\ Q_{PN} \qquad (7.7)$$

onde Q_{AH} e Q_{PN} são as vazões médias mensais no aproveitamento hidrelétrico considerado e no posto Porto Nacional, respectivamente; e K_{VMLT} é a constante de proporcionalidade entre as vazões médias de longo termo dos dois locais, ou seja

$$K_{VMLT} = \frac{VMLT_{AH}}{VMLT_{PN}} \qquad (7.8)$$

o que resultou nas seguintes constantes:

Cenário 3: $K_{VMLT} = 0{,}079$

Cenário 4: $K_{VMLT} = 0{,}079$

As séries obtidas são apresentadas no Anexo 2.

7.4.2 Correlação

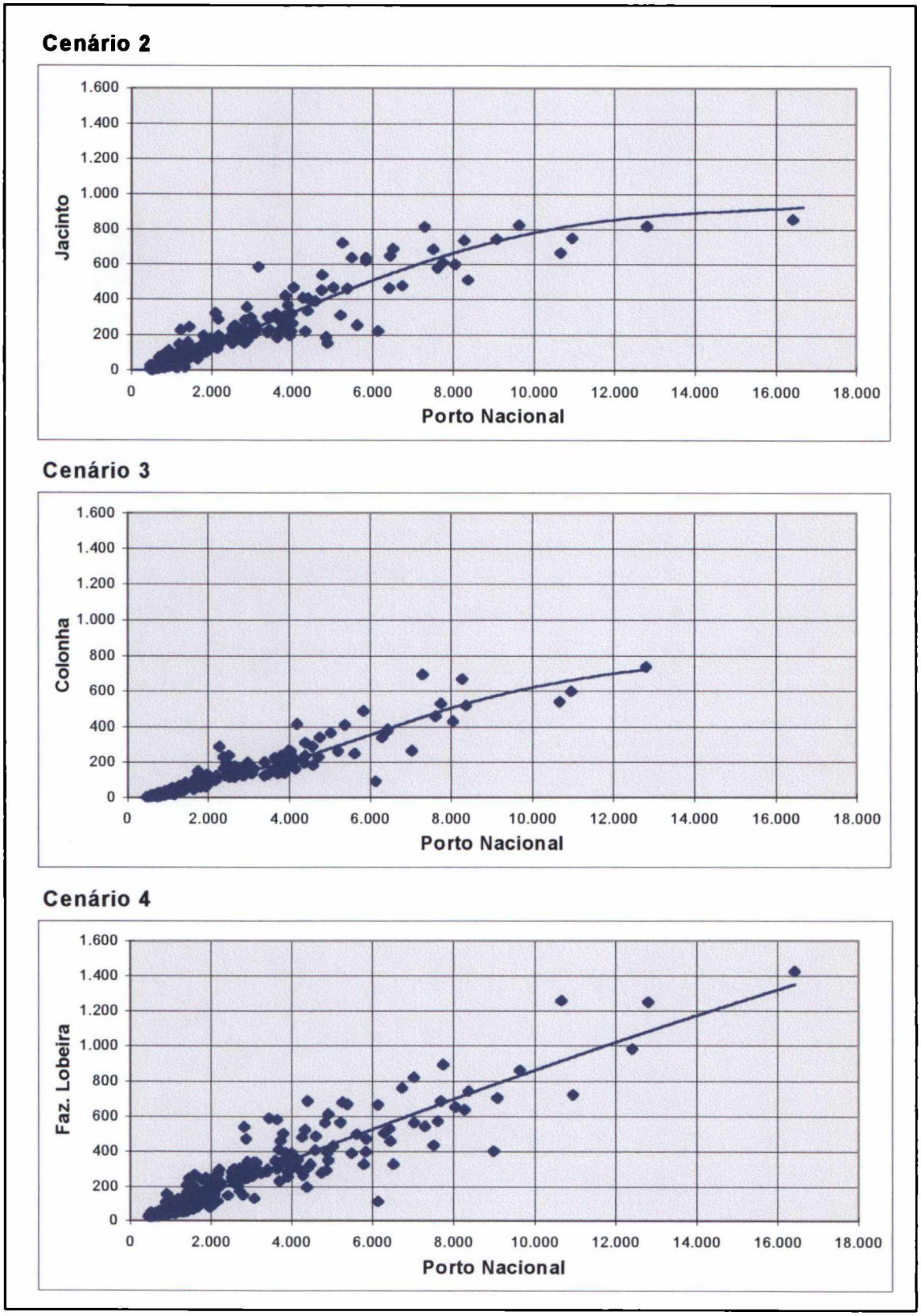
Considerando-se a grande diferença existente entre as áreas de drenagem do posto básico e o local do aproveitamento, a existência de registros fluviométricos neste último, ou em local similar com área de drenagem de valor mais próximo, possibilita um melhor conhecimento da lei de variação das vazões.

A transferência por correlação entre vazões médias mensais foi aplicada ao Cenário 2 de forma direta, por tratar-se do próprio local de interesse, e aos Cenários 3 e 4 em duas etapas: primeiramente foi efetuado o preenchimento de falhas e extensão da série disponível, conforme o cenário considerado, e posteriormente a mesma foi transferida, por relação entre áreas de drenagem, para o local do aproveitamento.

As funções de correlação foram obtidas plotando-se as vazões médias mensais da série fluviométrica básica (Porto Nacional) e da série disponível para o cenário considerado.

Estes ajustes podem ser observados na Figura 7.11.

Figura 7.11 **Correlação entre vazões médias mensais (m^3/s) para os Cenários 2, 3 e 4**



Na seqüência, são apresentadas as equações resultantes dos ajustes efetuados.

Cenário 2: Vazões médias mensais no posto Jacinto em função das vazões médias mensais no posto Porto Nacional ($Q_{Jac} = f(Q_{PN})$).

Para $Q_{PN} < 570$ m³/s:

$$Q_{Jac} = 9{,}655572E-08\,Q_{PN}^{\,3} - 4{,}146884E-05\,Q_{PN}^{\,2} + 7{,}569599E-03\,Q_{PN}$$

Para 570 m³/s <= $Q_{PN} < 1500$ m³/s:

$$Q_{Jac} = 2{,}906288E-14\,Q_{PN}^{\,4} - 1{,}112042E-09\,Q_{PN}^{\,3} + 1{,}04535E-03\,Q_{PN}^{\,2} + 5{,}579395E-02\,Q_{PN} - 2{,}573287$$

Para Q_{PN} => 1.500 m³/s:

$$Q_{Jac} = -5{,}950611E-06\,Q_{PN}^{\,2} + 1{,}114714E-01\,Q_{PN} - 5{,}270299E+01$$

Cenário 3: Vazões médias mensais no posto Colonha em função das vazões médias mensais no posto Porto Nacional ($Q_{Col} = f(Q_{PN})$).

Para Q_{PN} <= 3800 m³/s:

$$Q_{Col} = 3{,}690874E-19\,Q_{PN}^{\,6} - 4{,}923534E-15\,Q_{PN}^{\,5} + 2{,}812310E-11\,Q_{PN}^{\,4} - 8{,}877427E-08\,Q_{PN}^{\,3} + 1{,}555123E-04\,Q_{PN}^{\,2} - 7{,}071209E-02\,Q_{PN} + 1{,}040167E+01$$

Para $Q_{PN} > 3800$ m³/s:

$$Q_{Col} = -2{,}259781E-21Q_{PN}^{\ 6} + 1{,}130366E-16Q_{PN}^{\ 5} - 2{,}228601E-12Q_{PN}^{\ 4} + 2{,}163662E-08Q_{PN}^{\ 3} - 1{,}080215E-04Q_{PN}^{\ 2} + 3{,}359266E-01Q_{PN} - 3{,}321939E+02$$

Cenário 4: Vazões médias mensais no posto Fazenda Lobeira em função das vazões médias mensais no posto Porto Nacional ($Q_{FazLob} = f(Q_{PN})$).

Para toda a gama de vazões:

$$Q_{FazLob} = -7{,}019000E-07Q_{PN}^{\ 2} + 9{,}500071E-02Q_{PN} - 1{,}773152E+01$$

As séries obtidas são apresentadas no Anexo 2.

7.4.3 Modelo de transformação chuva-vazão SMAP

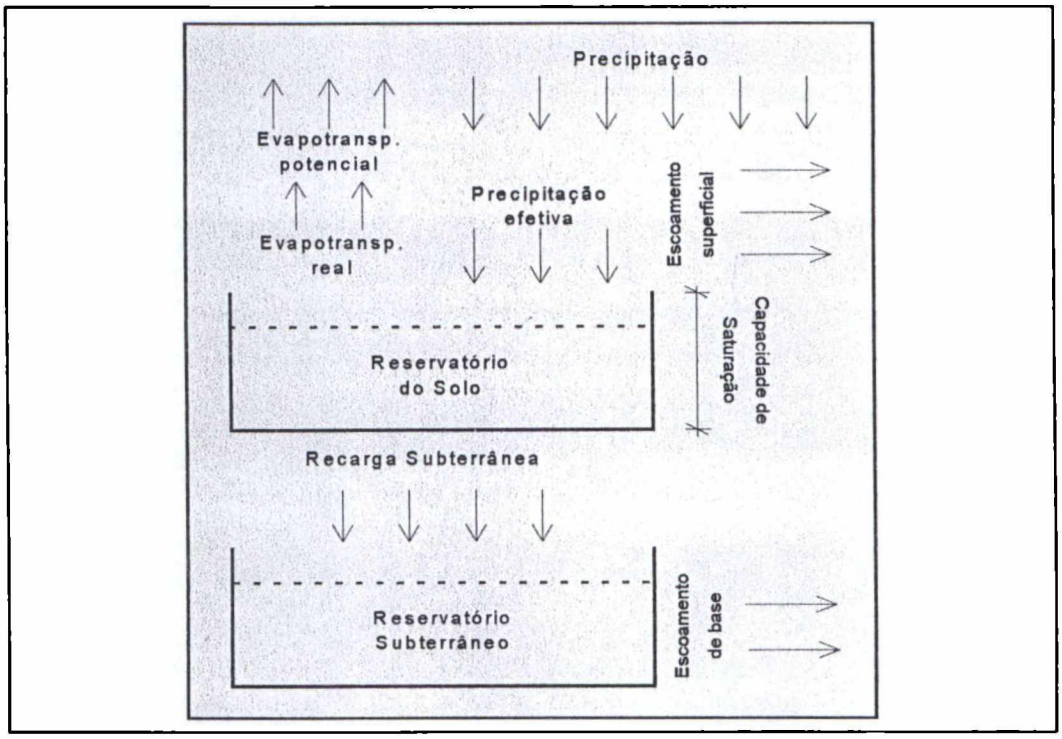
Para a aplicação da modelagem determinística de transformação chuva-vazão neste estudo de caso, foi escolhido o modelo SMAP (*Soil Moisture Accounting Procedure*), em sua versão mensal, apresentado por LOPES, BRAGA e CONEJO (1981).

O modelo SMAP foi adotado por representar o ciclo hidrológico de uma maneira simplificada, e por sua estrutura simples ter sido desenvolvida em função da escassez de dados do país.

Neste modelo, que utiliza a separação do escoamento baseada nos parâmetros do *U.S. Soil Conservation* para determinação de cheias de projeto, o solo superficial é substituído por um reservatório intermediário que libera água para um reservatório inferior que, por sua vez, substitui o aqüífero. Este último, juntamente com o volume de precipitação acumulada no terreno, vai liberar a água que escoará dentro da calha como vazão-fluvial. O Anexo 3 apresenta, em maiores detalhes, a estrutura matemática adotada nesse modelo.

Na Figura 7.12 é representada, de forma esquemática, a estrutura do modelo.

Figura 7.12 Estrutura do modelo de transformação chuva-vazão SMAP - Versão mensal



O método de transformação chuva-vazão SMAP foi aplicado aos Cenários 2, 3 e 4, considerando-se a série fluviométrica disponível em cada um deles e a série básica pluviométrica (posto Paranã).

Assim, como na aplicação da correlação, o modelo SMAP foi aplicado ao Cenário 2 de forma direta, por se tratar do próprio local de interesse, e aos Cenários 3 e 4 em duas etapas: primeiramente foi efetuado o preenchimento de falhas e extensão da série disponível com o modelo SMAP, conforme o cenário considerado, e posteriormente a mesma foi transferida, por relação entre áreas de drenagem, para o local do aproveitamento.

7.4.3.1 Dados de entrada do modelo

Os dados de entrada do modelo SMAP são:

a) totais precipitados mensais;

b) vazões médias mensais; e

d) totais mensais médios de evaporação de tanque classe A.

7.4.3.2 Variáveis de inicialização e parâmetros do modelo

As variáveis de inicialização do modelo SMAP são:

a) umidade do solo (%); e

b) vazão básica (m/s).

Essas variáveis devem retratar as condições da bacia no início do período considerado. Sendo adotado um período para a calibração do modelo a partir do ano hidrológico da região, e iniciando-se a calibração pelo mês mais seco, tem-se que, para este estado, a vazão na calha do rio estará sendo mantida quase que totalmente pela vazão básica, sendo esta de valor próximo à vazão mínima.

Os parâmetros a serem calibrados são:

a) capacidade de saturação do reservatório do solo (mm);

b) parâmetro de escoamento superficial (adimensional);

c) parâmetro de recarga subterrânea (adimensional); e

d) constante de recessão do escoamento básico ($mês^{-1}$).

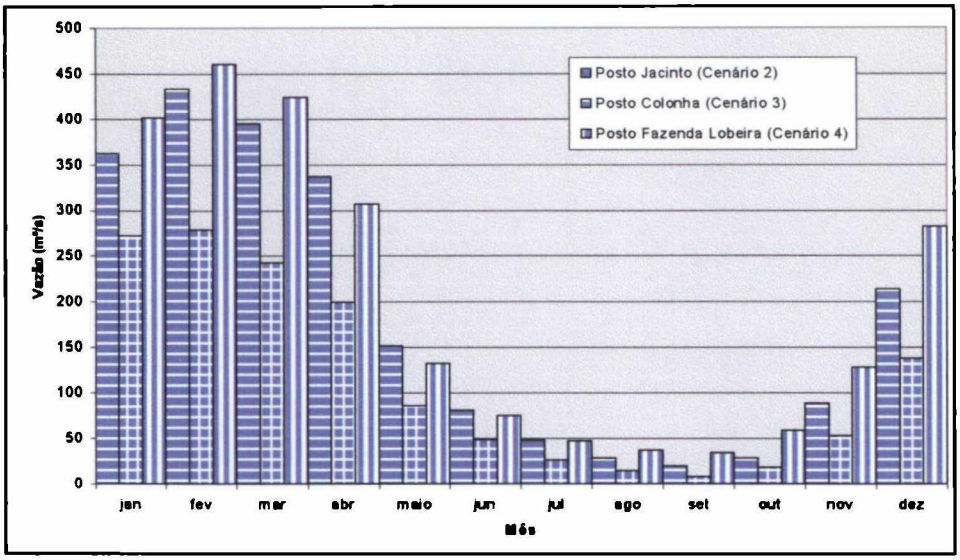
A capacidade de saturação do reservatório do solo corresponde ao volume do reservatório superficial do solo (zona aerada) a partir do qual o mesmo passará a produzir escoamento superficial, o qual fluirá pela calha do rio; os parâmetros de escoamento superficial e recarga subterrânea correspondem às constantes que definirão como o reservatório superficial alimentará, respectivamente, o reservatório subterrâneo (zona saturada) e o escoamento superficial; e a constante de recessão do escoamento básico define a parcela de água proveniente do reservatório subterrâneo que alimentará a vazão na calha do rio.

Além das variáveis de inicialização e dos parâmetros a serem calibrados, o modelo possui dois coeficientes: um para ajuste da chuva média e outro para ajuste da evaporação média. Estes coeficientes devem ser calculados em função da distribuição espacial dos postos utilizados.

7.4.3.3 Escolha dos eventos para calibração e verificação

A escolha dos eventos para calibração e verificação do modelo SMAP, para cada um dos cenários considerados, foi efetuada através de fluviogramas e hietogramas simultâneos, onde procurou-se por períodos contínuos de dados que englobassem anos hidrológicos completos. Para a região em questão, o ano hidrológico tem início no mês de setembro, como pode ser observado na Figura 7.13.

Figura 7.13 Sazonalidade na região do estudo de caso - Vazões médias mensais de longo termo



Para a calibração do modelo SMAP é necessário que os períodos tenham de 2 a 9 anos. Os períodos adotados para calibração e verificação dos eventos são apresentados na Tabela 7.5.

Tabela 7.5 Períodos utilizados para calibração e verificação do modelo SMAP

Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
set/77 a ago/81	set/75 a ago/77	set/77 a ago/80
set/82 a ago/85	set/93 a ago/96	set/81 a ago/83

7.4.3.4 Calibracão e verificação - Parâmetros obtidos

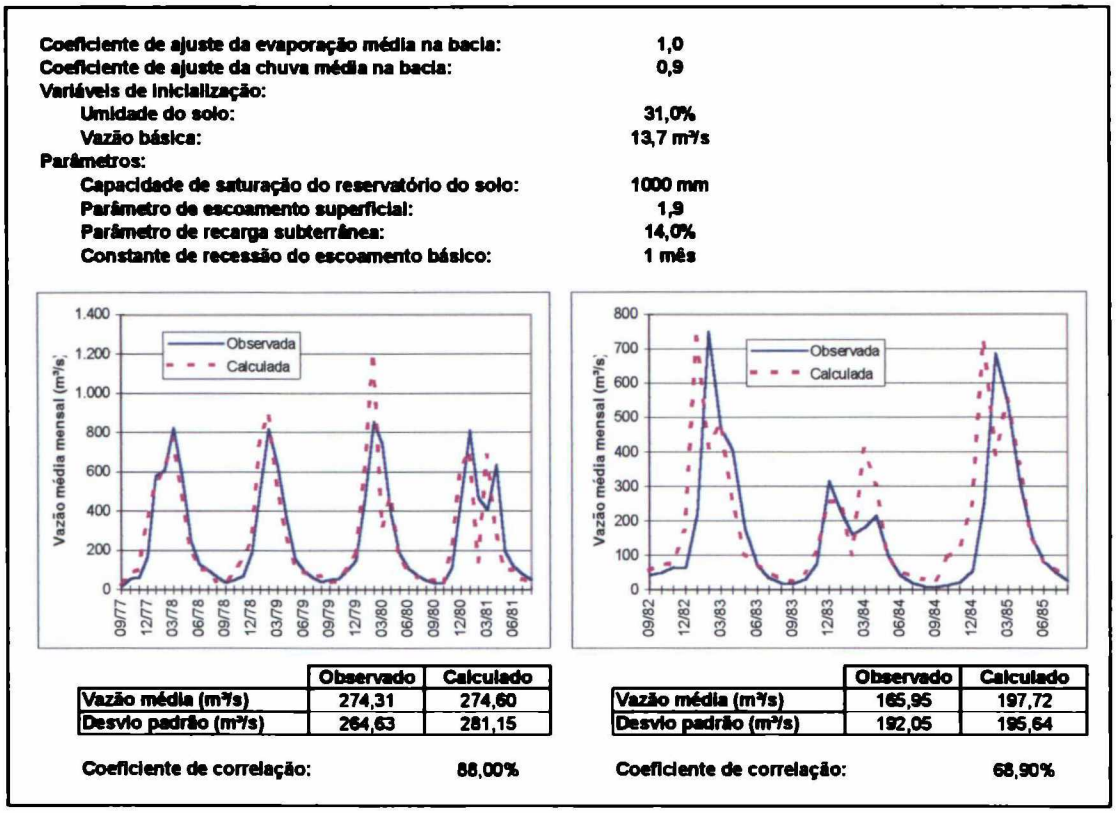
O processo de calibração e verificação do modelo SMAP foi efetuado para todos os períodos apresentados na Tabela 7.5, isto é, efetuada a calibração com um dos períodos, verificou-se a mesma com o outro. Este procedimento foi executado até que se chegou a um conjunto de parâmetros que representasse, de forma satisfatória, ambos os períodos.

A avaliação do ajuste foi efetuada comparando-se, graficamente, o hidrograma histórico com o calculado. Também foi considerada a vazão média resultante, bem como o desvio padrão, armazenamento no período e coeficiente de correlação.

De maneira a melhor direcionar os resultados obtidos aos objetivos pretendidos (geração energética), foram também analisadas as curvas de permanência das vazões médias mensais geradas a partir da aplicação dos diferentes conjuntos de parâmetros. Estas curvas foram comparadas às obtidas a partir das séries históricas dos postos considerados.

As Figuras 7.14 a 7.16 apresentam, para cada um dos cenários, os parâmetros adotados, os ajustes obtidos, e os valores característicos das séries observada e calculada a partir dos períodos de calibração e verificação.

Figura 7.14 Calibração e verificação do modelo SMAP - Cenário 2



	Observado	Calculado
Vazão média (m³/s)	274,31	274,60
Desvio padrão (m³/s)	264,63	281,15

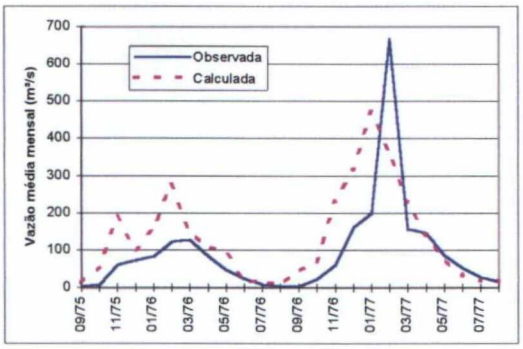
Coeficiente de correlação: 88,00%

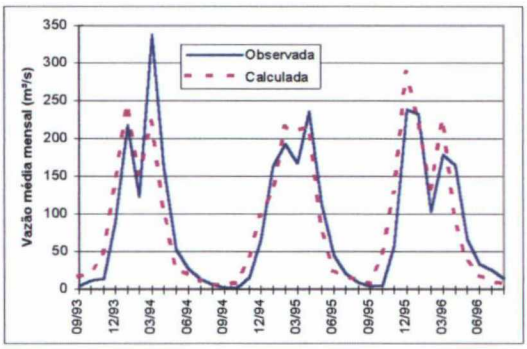
	Observado	Calculado
Vazão média (m³/s)	165,95	197,72
Desvio padrão (m³/s)	192,05	195,64

Coeficiente de correlação: 68,90%

Figura 7.15 Calibração e verificação do modelo SMAP - Cenário 3

Coeficiente de ajuste da evaporação média na bacia: 1,0
Coeficiente de ajuste da chuva média na bacia: 0,9
Variáveis de inicialização:
Umidade do solo: 33,0%
Vazão básica: 10,1 m³/s
Parâmetros:
Capacidade de saturação do reservatório do solo: 1000 mm
Parâmetro de escoamento superficial: 2,2
Parâmetro de recarga subterrânea: 14,1%
Constante de recessão do escoamento básico: 1 mês





	Observado	Calculado
Vazão média (m³/s)	94,12	133,94
Desvio padrão (m³/s)	135,21	125,70

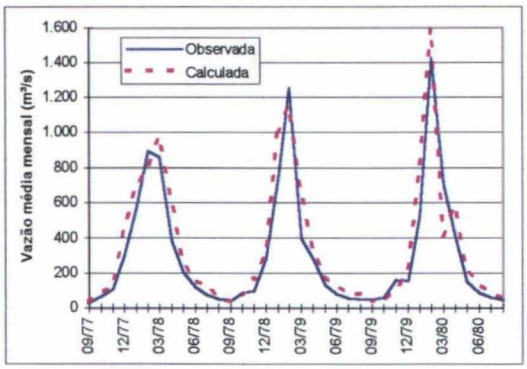
Coeficiente de correlação: 69,20%

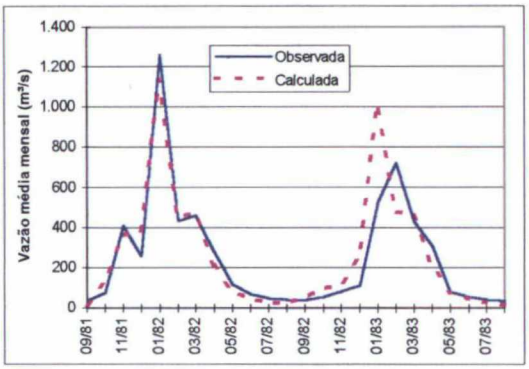
	Observado	Calculado
Vazão média (m³/s)	89,60	91,61
Desvio padrão (m³/s)	90,22	87,89

Coeficiente de correlação: 91,40%

Figura 7.16 Calibração e verificação do modelo SMAP - Cenário 4

Coeficiente de ajuste da evaporação média na bacia: 1,0
Coeficiente de ajuste da chuva média na bacia: 1,0
Variáveis de inicialização:
Umidade do solo: 32,0%
Vazão básica: 16,9
Parâmetros:
Capacidade de saturação do reservatório do solo: 900 mm
Parâmetro de escoamento superficial: 2,2
Parâmetro de recarga subterrânea: 16,0%
Constante de recessão do escoamento básico: 1 mês





	Observado	Calculado
Vazão média (m³/s)	305,50	357,70
Desvio padrão (m³/s)	353,90	381,10

Coeficiente de correlação: 96,00%

	Observado	Calculado
Vazão média (m³/s)	248,37	257,61
Desvio padrão (m³/s)	291,78	301,44

Coeficiente de correlação: 90,80%

7.4.3.5 Geração das séries de vazões médias mensais

Sendo a aplicação do modelo SMAP efetuada a partir do ano hidrológico, tornou-se necessária a complementação da série básica pluviométrica (que tem início em janeiro de 1949) com registros nos meses de setembro a dezembro de 1948. Este procedimento foi necessário para possibilitar a geração de vazões para todo o período crítico do sistema.

Desta forma, e considerando-se a indisponibilidade de dados de postos com registros históricos neste período, a complementação destes valores foi efetuada com o total mensal médio de longo termo para o mês em questão.

As séries de vazões médias mensais obtidas a partir da aplicação do modelo SMAP para os Cenários 2, 3 e 4 são apresentadas no Anexo 2.

7.5 Análise dos resultados dos estudos hidrológicos

A Tabela 7.6 apresenta, a título de comparação, valores característicos das séries obtidas, bem como da série histórica existente no local do estudo de caso (posto Jacinto), sendo eles: vazões médias de longo termo para cada um dos meses (jan, fev,..., dez; m^3/s); vazão média de longo termo (VMLT; m^3/s); desvio padrão amostral da série (D. Pad.; m^3/s); e vazão com 95% de permanência (Q95%; m^3/s).

É também apresentada a vazão média de longo termo e o desvio padrão amostral para o período crítico do sistema.

As análises deste item consideraram as séries integrais, desprezando-se a significativa diferença de extensão entre as séries obtidas e a série histórica disponível para o local do estudo de caso.

Tabela 7.6 Valores característicos na série histórica no local do estudo de caso e das séries obtidas para os diferentes cenários

Parâmetro		Série									
		Hist. no local do est. de caso	Área	VMLT-Col	VMLT-FazLob	Correl-Jac	Correl-Col	Correl-FazLob	SMAP-Jac	SMAP-Col	SMAP-FazLob
período da série		dez/71 a nov/97	jan/49 a jan/98	jan/49 a jan/98	jan/49 a jan/98	jan/49 a jan/98	jan/49 a jan/98	jan/49 a jan/98	set/48 a nov/97	set/48 a nov/97	set/48 a jan/98
nº de dados		246	589	589	589	589	589	589	591	591	593
todo	jan	362,8	323,9	324,0	324,1	321,2	435,6	409,0	341,3	366,4	387,8
período	fev	433,6	387,0	387,0	387,3	378,4	487,8	473,6	401,7	414,5	454,3
	mar	395,5	356,6	356,6	356,8	375,2	439,8	408,0	375,5	405,9	407,7
	abr	337,0	264,6	264,6	264,7	280,0	334,4	294,6	266,7	264,8	273,6
	maio	151,0	134,5	134,5	134,6	122,8	142,0	133,7	111,4	113,1	118,8
	jun	80,5	85,4	85,4	85,4	61,8	73,9	76,2	68,5	72,9	75,8
	jul	48,0	63,6	63,6	63,7	34,8	41,5	47,9	44,5	45,8	48,7
	ago	28,3	51,4	51,4	51,4	19,3	22,3	37,7	26,6	27,8	33,2
	set	20,1	46,2	46,2	46,2	13,9	16,9	35,2	22,1	21,0	29,0
	out	28,8	60,3	60,3	60,4	24,3	29,5	53,9	42,5	38,8	51,0
	nov	88,3	109,1	109,1	109,1	85,2	83,1	116,2	130,9	118,5	148,5
	dez	213,9	229,4	229,4	229,6	221,9	254,1	275,4	265,0	248,7	263,0
	VMLT	176,2	176,2	176,3	176,4	161,9	173,4	177,7	174,6	177,6	190,8
	D Pad.	193,8	169,1	169,1	169,2	182,9	212,9	189,6	199,3	211,2	219,4
	Q 95%	8,0	38,0	38,0	38,0	4,0	5,0	25,0	11,0	11,0	23,0
período	VMLT	-	110,9	110,9	111,0	88,2	91,9	107,7	117,1	109,6	127,5
crítico	D. Pad	-	82,4	82,4	82,4	93,3	97,8	91,3	126,6	116,0	145,3

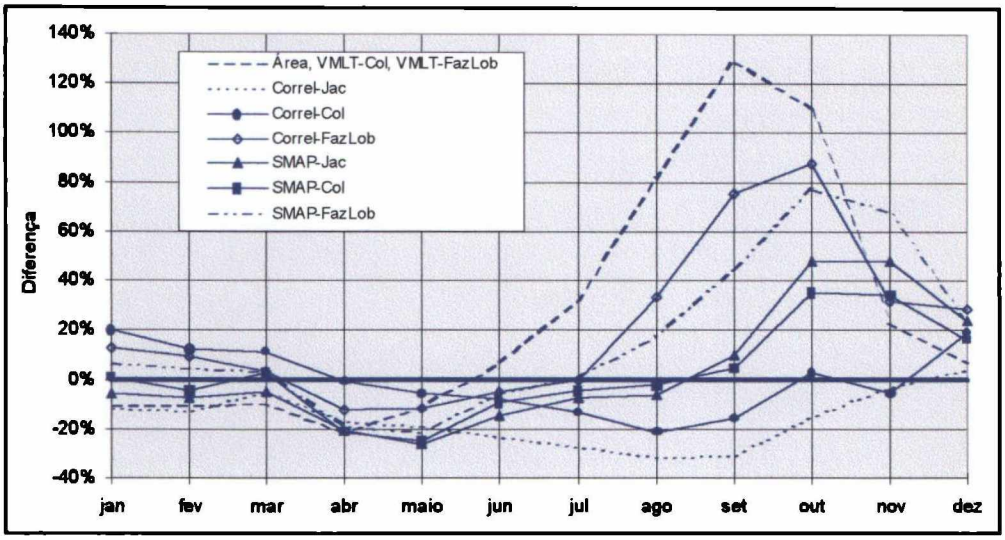
Nota-se na Tabela 7.6 que, em geral, a média de longo termo foi satisfatoriamente preservada, sendo as maiores diferenças, em relação à série histórica, observadas nas séries Correl-Jac (-8,14%) e SMAP-FazLob (8,30%).

Em termos de desvio padrão amostral, a série SMAP-FazLob apresentou a maior diferença (13,22%), seguida pelas séries obtidas a partir dos métodos de transferência direta, que apresentaram diferenças da ordem de -12,70%.

A vazão de 95% de permanência, que serve de parâmetro para a determinação da capacidade instalada de aproveitamentos hidrelétricos que operam isoladamente, apresentou-se, em todas as séries, bastante distante do valor apresentado pela série histórica no local do estudo de caso, tendo as maiores diferenças sido apresentadas pelas séries obtidas a partir dos métodos de transferência direta (Área, VMLT-Col e VMLT-FazLob, 375,00%), seguidos pelas séries Correl-FazLob (212,50%) e SMAP-FazLob (187,50%).

A Figura 7.17 apresenta a comparação efetuada em termos da diferença relativa entre as vazões média mensais da série história no local do estudo de caso (posto Jacinto) e as das séries obtidas para os diferentes cenários.

Figura 7.17 Diferença percentual das vazões médias mensais de longo termo, mês a mês, em relação à série histórica disponível no local do estudo de caso



Nota-se na Figura 7.17 que as maiores diferenças ocorreram no período seco, chegando a cerca de 130% para as séries obtidas pelos métodos de transferência direta. Também as séries obtidas por correlação e SMAP para o Cenário 4 (Correl-FazLob e SMAP-FazLob) apresentaram diferenças bastante significativas. As séries que, em termos médios, melhor reproduziram a série histórica foram Correl-Col, SMAP-Col e SMAP-Jac (-0,51%, 2,24% e 3,01%, respectivamente).

As Figuras 7.18 e 7.19 apresentam a parte inferior das curvas de permanência de vazões médias mensais, agrupando-as por cenários e por metodologia de obtenção de séries. Em todos os gráficos, é também apresentada a curva de permanência para a série histórica no local do estudo de caso (posto Jacinto).

Apesar da série "Área" representar a aplicação da metodologia de transferência direta para a obtenção da série de vazões médias mensais do Cenário 1, e as séries Correl-Jac e SMAP-Jac representarem a aplicação das metodologias de correlação e transformação chuva-vazão para a obtenção das séries do Cenário 2, para fins de análise, estes dois cenários foram considerados agrupados.

Figura 7.18 Curvas de permanência de vazões médias mensais obtidas para os diferentes cenários considerados

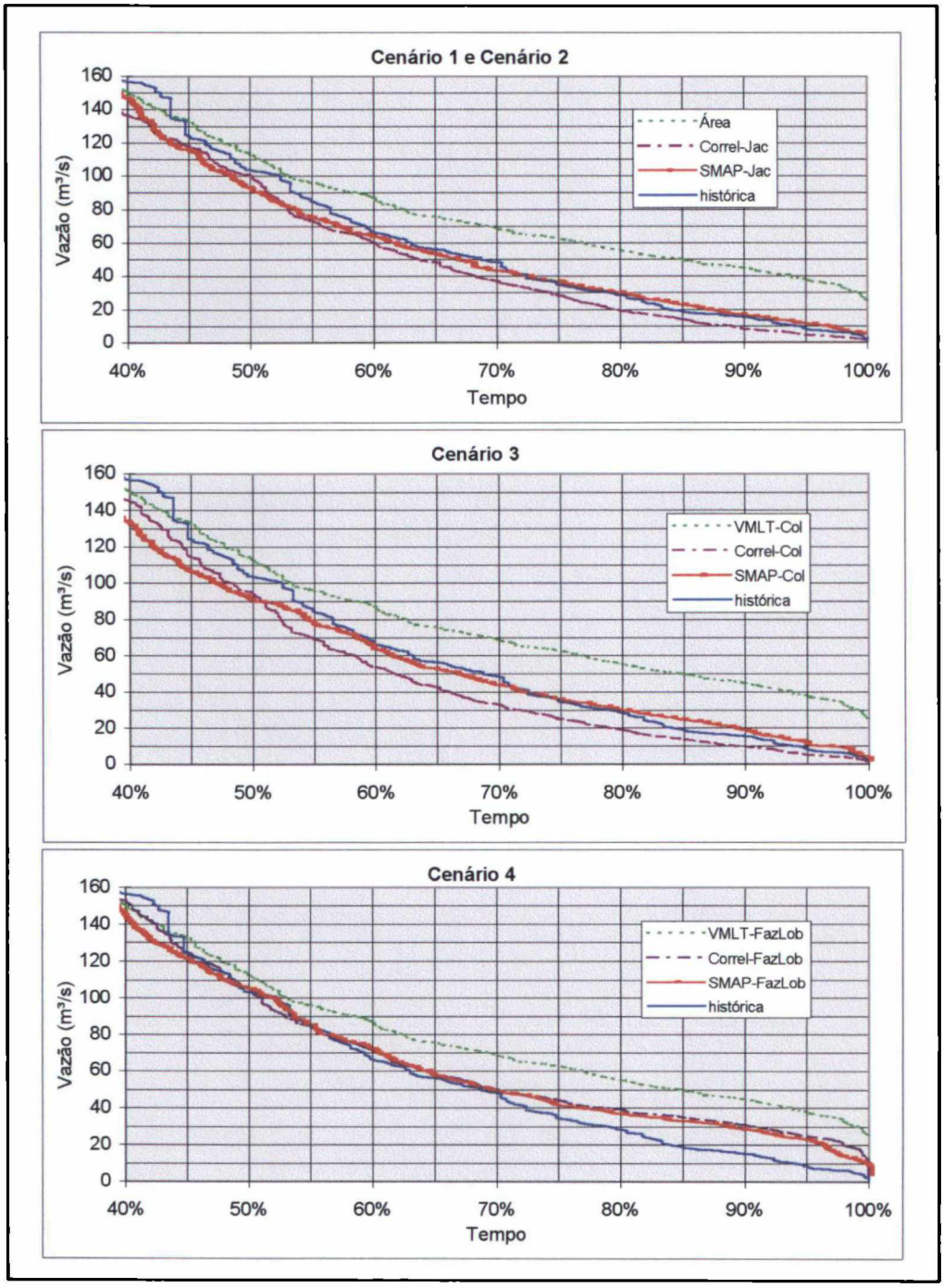
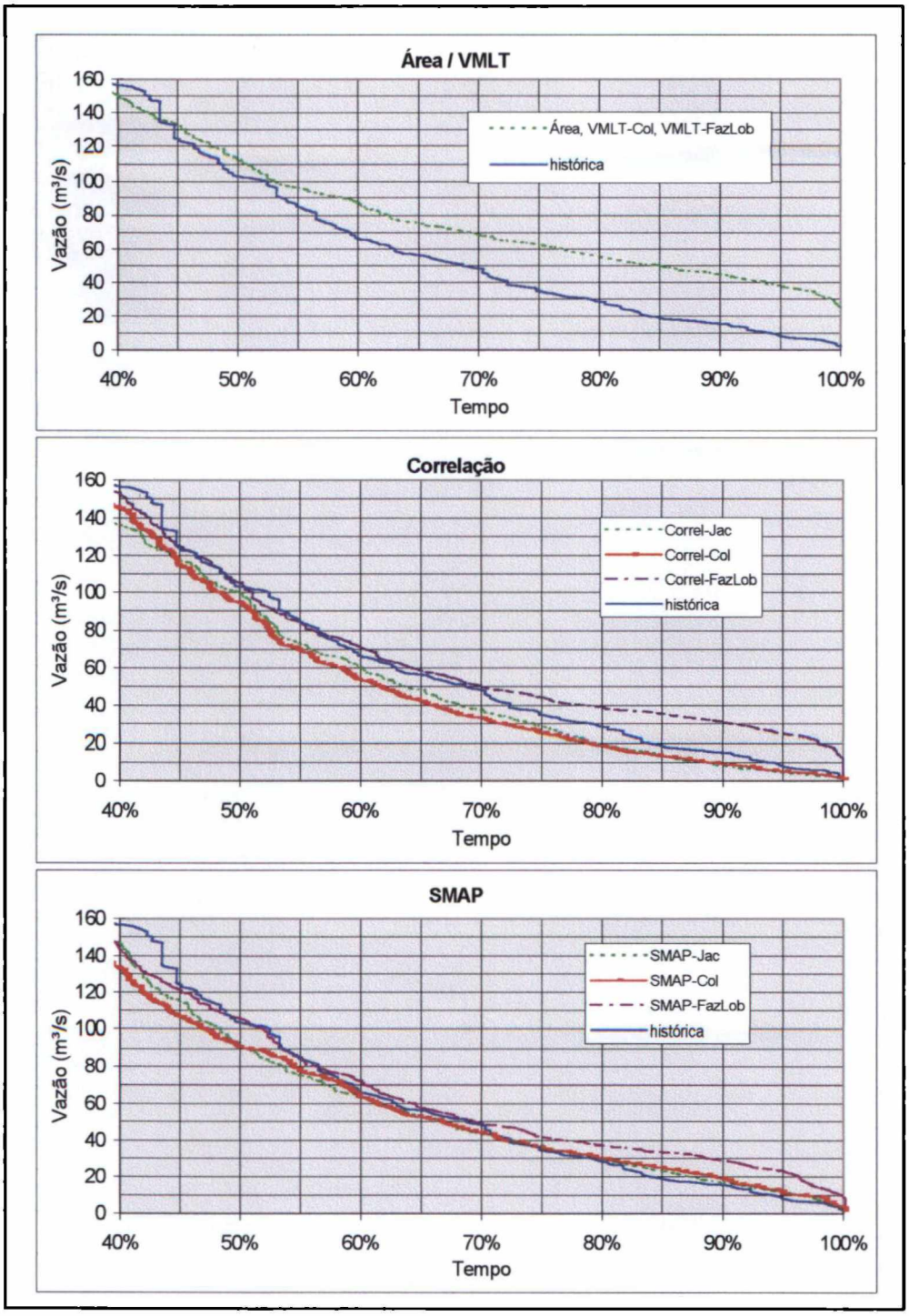


Figura 7.19 **Curvas de permanência de vazões médias mensais obtidas pelas diferentes metodologias para obtenção de séries consideradas**



A Figura 7.18 demonstra que os Cenários 1, 2 e 3 apresentaram resultados equivalentes para a aplicação da mesma metodologia. Já para o Cenário 4, foram obtidos resultados mais distanciados dos produzidos pela série histórica.

Na Figura 7.19 nota-se que, para as maiores permanências, os melhores resultados foram obtidos pela aplicação do modelo SMAP nos Cenários 2 e 3, sendo seguido pelo método de correlação. A aplicação destas técnicas apresenta-se substancialmente mais confiável por considerarem dados da bacia em estudo, fato este reforçado pelo resultados obtidos através dos métodos de transferência direta, que apresentaram diferenças bastante significativas para as permanências superiores a 53%.

Os resultados pouco satisfatórios obtidos através dos métodos de transferência direta neste estudo de caso, merecem uma análise mais detalhada.

Estes resultados devem-se, principalmente, à significativa diferença entre as áreas de drenagem dos locais considerados e, consequentemente, ao comportamento hidrológico diferenciado entre os mesmos e à marcada sazonalidade existente na região em estudo.

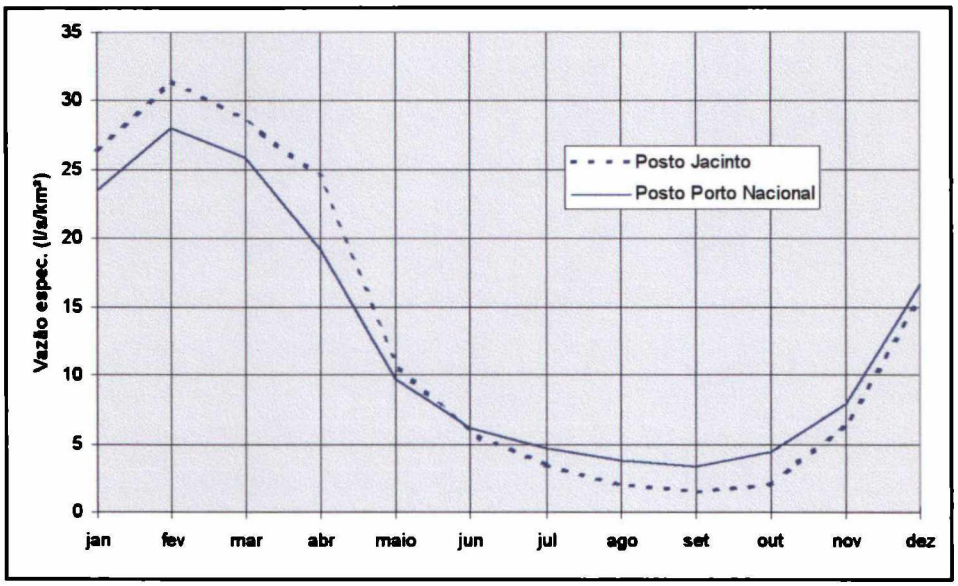
Uma bacia hidrográfica de grandes dimensões como a bacia do posto Porto Nacional, que representou a série fluviométrica básica, funciona como um "grande reservatório" que proporciona um "abatimento" no reflexo da sazonalidade em suas vazões específicas ao longo do ano.

Como parâmetro de análise tome-se, por exemplo, a série histórica do posto Jacinto. A vazão específica do mesmo é 12,75 l/s/km^2, enquanto que a do posto Porto Nacional é de 12,76 l/s/km^2.

Quando para os dois postos é calculada a vazão específica para cada um dos 12 meses, nota-se que, apesar de em termos médios possuírem vazões específicas equivalentes,

a distribuição das mesmas ao longo no ano hidrológico difere consideravelmente, como pode ser observado na Figura 7.20.

Figura 7.20 Variação da vazão específica dos postos Jacinto e Porto Nacional ao longo do ano



Em termos percentuais relativos, a diferença entre as vazões específicas do posto Jacinto para o Porto Nacional é de 12,03% para o mês mais úmido (fevereiro), variando até -56,5% no mês mais seco (setembro).

Quando é efetuada a transferência de séries de vazões por relação direta entre áreas de drenagem, assume-se a vazão específica média, bem como as representativas da sazonalidade ao longo do ano, da série de dados básica disponível.

Desta forma, a vazão média de longo termo da série "Área" resultou praticamente igual à da série histórica, visto serem equivalentes as vazões específicas médias dos dois postos. Contudo, a transferência da distribuição sazonal das vazões específicas do posto Porto Nacional para o local do estudo de caso, proporcionou o aumento das vazões de maior permanência e a redução das vazões de menor permanência.

Quando a transferência das séries é efetuada a partir da relação entre vazões médias de longo termo, impõe-se a vazão específica média, porém, ao longo do ano, as vazões específicas são igualmente distribuídas proporcionalmente às da série básica.

Desta forma, as séries VMLT-Col e VMLT-FazLob, ao produzirem para o local do estudo de caso uma estimativa da vazão média de longo termo bastante próxima do valor histórico, e sendo a vazão específica média equivalente à do posto Porto Nacional, estas séries foram praticamente coincidentes com a série "Área".

Uma variação na metodologia utilizada, transferindo-se a série do posto Porto Nacional para os postos Colonha e Fazenda Lobeira (Cenários 3 e 4, respectivamente) utilizando-se as relações entre vazões médias de logo termo mês a mês ($VMLT_{Jan}$, $VMLT_{Fev}$,...), e transferindo-se as séries resultantes por relação entre áreas de drenagem para o local do estudo de caso, provavelmente teria proporcionado melhores resultados. Desta forma, seria imposta às séries resultantes uma sazonalidade mais real, visto a maior proximidade entre os valores de área de drenagem dos postos Colonha e Fazenda Lobeira com o local do estudo de caso.

8. ESTUDO DE CASO - ESTUDOS ENERGÉTICOS

Neste capítulo são apresentados os diversos parâmetros de projeto adotados para o aproveitamento hidrelétrico em análise, considerado operando integradamente ao sistema elétrico nacional, bem como a determinação da capacidade instalada a partir das diferentes séries de vazões médias mensais obtidas.

8.1 Definição dos parâmetros de projeto do aproveitamento

Para a realização do estudo de caso foram adotados diversos parâmetros de projeto para o aproveitamento hipotético considerado.

Os parâmetros abaixo apresentados, que foram igualmente utilizados na simulação energética de todos os cenários, foram adotados considerando-se um aproveitamento a fio d'água, isto é, sem reservatório de regularização.

a)	curva cota-volume do reservatório:	Vol.	= constante = 25 hm^3
b)	curva cota-área do reservatório:	Área	= constante = 5 km^2
c)	curva de descarga no canal de fuga:	N.A.jus	= constante = 350 m
d)	queda bruta:	H	= 20 m
e)	perdas de carga no circuito de adução:	hp	= 3% H
f)	número de unidades geradoras:	2	
g)	tipo de turbina:	Francis	
h)	rendimento da turbina:	η_T	= 93%
i)	rendimento do gerador:	η_G	= 97%
j)	fator de capacidade:	fc	= 55%

A vazão mínima defluente do reservatório foi estabelecida separadamente para cada uma das séries.

Este valor, também conhecido por vazão sanitária ou vazão ecológica, corresponde à mínima vazão que deverá ser mantida a jusante do aproveitamento. Foi adotado o valor correspondente a 80% da vazão média mensal mínima da série.

A Tabela 8.1 apresenta a vazão mínima defluente (Q_{defl}) obtida para cada uma das séries:

Tabela 8.1 Vazão mínima defluente para cada uma das séries

Série	Q mín. (m^3/s)	Q defl. (m^3/s)
Área	26,0	20,8
VMLT-Col	26,0	20,8
VMLT-FazLob	26,0	20,8
Correl-Jac	1,4	1,1
Correl-Col	1,8	1,4
Correl-FazLob	12,6	10,1
SMAP-Jac	2,5	2,0
SMAP-Col	3,2	2,6
SMAP-FazLob	8,5	6,8

8.2 Determinação da potência instalada e da energia garantida

Quando da determinação da potência instalada de um aproveitamento hidrelétrico, ao se elevar o valor desta, aumentam-se os benefícios de energia garantida, ponta garantida e energia secundária, através do turbinamento de vazões que, para potências menores, seriam vertidas. Entretanto, o aumento da capacidade instalada incorre também em um aumento de custos, relacionados com a casa de força, adução, turbinas, geradores, equipamentos auxiliares, transformação e transmissão.

Assim sendo, em um estudo de viabilidade de um aproveitamento hidrelétrico, a capacidade instalada é determinada a partir de uma análise de sensibilidade onde verifica-se, para diversos valores desta, qual o valor que maximiza o parâmetro econômico adotado para subsidiar a decisão, sendo esse, geralmente, representado pelo benefício líquido (B-C) ou pela taxa interna de retorno (TIR).

Com isso, para se adotar esse procedimento no presente estudo de caso, dever-se-ia, para cada uma das séries de vazões médias mensais utilizadas, se obter os benefícios e custos para diferentes valores de potência instalada, e, consequentemente, os parâmetros econômicos decorrentes desta, de forma a se determinar a melhor capacidade do aproveitamento para cada uma das situações analisadas.

Entretanto, tendo-se em vista o objetivo, foi adotada uma simplificação para a determinação da capacidade instalada do aproveitamento.

Essa simplificação consistiu no cálculo da geração (kW), mês a mês, no período crítico (jun/49 a nov/56), conforme a equação 8.1.

$$Pot. = 9{,}81\,\eta_G\ \eta_T\ H\left(1-hp\right)Q \qquad (8.1)$$

cujas variáveis foram descriminadas anteriormente, e Q é a vazão média do período crítico.

A média das gerações obtidas durante o período crítico, dividida pelo fator de capacidade, resultou na potência instalada para as diferentes séries de vazões médias mensais.

Para a determinação da energia garantida de um determinado aproveitamento hidrelétrico quando operando integradamente ao sistema, primeiramente é determinada a energia garantida do sistema a partir de uma determinada configuração do parque gerador

para cada ano do horizonte de análise. Este valor é então rateado entre as diversas usinas hidrelétricas e termelétricas, podendo isto ser efetuado através de diferentes metodologias e critérios, os quais, geralmente, empregam modelos de simulação.

Por simplicidade, o valor da energia garantida do aproveitamento foi adotado como sendo cerca de 84% da energia média obtida no período crítico, ou seja, cerca de 46% da potência instalada ($0{,}84 * fc = 0{,}84 * 0{,}55 = 0{,}46$).

A não adoção da energia garantida como sendo igual a energia obtida no período crítico deve-se a constatação da forte sazonalidade existente no local do estudo, o que faz que durante grande parte do ano, sendo o aproveitamento a fio d'água, a mesma não seja alcançada.

A Tabela 8.2 apresenta as potências instaladas e energias garantidas para cada uma das séries, bem como as respectivas vazões de referência.

Tabela 8.2 Potência instalada do aproveitamento integrado para cada uma das séries

Série	Pot. Inst. (kW)	En. Garantida ($kW_{médios}$)	Q refer. (m^3/s)
Área	35.000	16.000	112,1
VMLT-Col	35.000	16.000	112,1
VMLT-FazLob	35.000	16.000	112,1
Correl-Jac	28.000	12.000	89,7
Correl-Col	29.000	13.000	92,9
Correl-FazLob	34.000	16.000	108,9
SMAP-Jac	36.000	17.000	115,3
SMAP-Col	34.000	16.000	108,9
SMAP-FazLob	45.000	22.000	144,2

8.3 Análise dos resultados dos estudos energéticos

Na Tabela 8.3 são apresentadas as diferenças observadas nos valores de potência instalada determinados a partir de cada uma das 9 séries de vazões médias mensais obtidas neste estudo de caso. Estas diferenças foram calculadas em relação a menor potência instalada obtida, ou seja, a do Cenário 2 por correlação (Correl-Jac). Na mesma tabela, a título de análise, são também apresentadas as diferenças resultantes caso o aproveitamento fosse dimensionado energicamente para operar não integrado ao sistema. Estas diferenças são igualmente apresentadas em relação à potência obtida pela série Correl-Jac, como também em relação à potência instalada resultante da série histórica existente no local em estudo (posto Jacinto).

Para o caso do aproveitamento operando de forma isolada, a capacidade da usina foi determinada a partir da vazão com 95% de permanência, apresentada na Tabela 7.6. Nesta análise não foram consideradas as diferenças existentes entre a extensão da série histórica e das séries obtidas pelas diferentes metodologias e cenários.

Tabela 8.3 Diferença relativa entre os valores de potência instalada obtidos a partir das 9 séries de vazões médias mensais

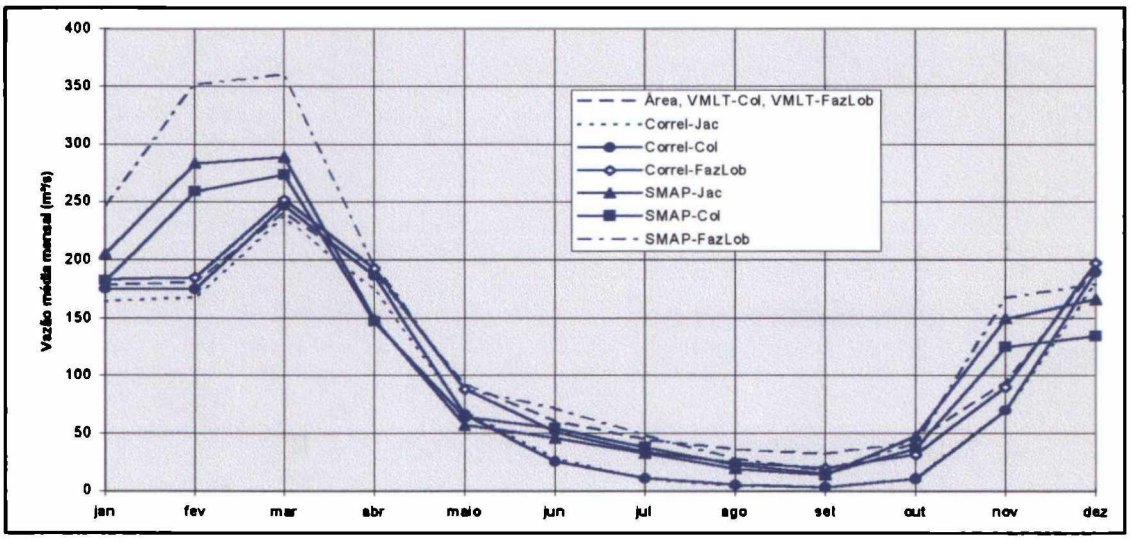
Série	Aproveitamento integrado		Aproveitamento isolado		
	Potência (kW)	Dif. rel. a Correl-Jac	Potência (kW)	Dif. rel. a Correl-Jac	Dif. rel. a Histórica
Histórica	-	-	2.497	100%	-
Área	35.000	25%	11.862	850%	375%
VMLT-Col	35.000	25%	11.862	850%	375%
VMLT-FazLob	35.000	25%	11.862	850%	375%
Correl-Jac	28.000	-	1.249	-	-50%
Correl-Col	29.000	4%	1.561	25%	-38%
Correl-FazLob	34.000	21%	7.804	524%	213%
SMAP-Jac	36.000	29%	3.434	175%	38%
SMAP-Col	34.000	21%	3.434	175%	38%
SMAP-FazLob	45.000	61%	7 179	475%	188%

A potência instalada do aproveitamento hidrelétrico hipotético considerado operando integradamente variou, em relação ao menor valor obtido, em até 61% (série

SMAP-FazLob), diferença esta já prevista a partir de análise dos resultados apresentados na Tabela 7.6, visto a potência instalada, no modo de operação integrado, ser função direta da vazão média do período crítico.

A Figura 8.1 apresenta a distribuição das vazões médias mensais ao longo do período crítico para as 9 séries, onde nota-se uma estimativa significativamente maior das vazões do período úmido pelo SMAP. Este fato eleva, consequentemente, a vazão média do período, e conduz a maiores valores de capacidade instalada, ao passo que, no período seco, os valores obtidos são de menor magnitude para os casos dos Cenário 2 e 3 (SMAP-Jac e SMAP-Col, respectivamente). Fato inverso pode ser observado com as séries obtidas por correlação para os Cenários 2 e 3 (Correl-Jac e Correl-Col).

Figura 8.1 Vazões médias mensais no período crítico das 9 séries



Resultados diferentes foram observados ao se determinar a potência instalada para o aproveitamento isolado, utilizando-se para tanto, a vazão com 95% de permanência.

Nesta situação, a diferença em relação à menor potência instalada obtida chega a 850% para as séries obtidas através métodos de transferência direta. Como já analisado no item 7.5, estas metodologias impuseram ao local em estudo a distribuição sazonal das

vazões específicas verificada na série básica (posto Porto Nacional) que, proporcionalmente, produz menores vazões no período úmido e maiores vazões no período seco, elevando a magnitude da vazão com 95% de permanência.

Quando comparadas à série histórica, a diferença máxima entre as potências instaladas do aproveitamento isolado chegam a 350%.

9. ESTUDO DE CASO - ESTUDOS ECONÔMICO-FINANCEIROS

Apresentam-se, neste capítulo, a determinação dos custos e benefícios energéticos do aproveitamento hidrelétrico hipotético, considerando-se as diferentes capacidades instaladas resultantes dos cenários e metodologias adotados.

A partir destes valores, foi determinado o fluxo de caixa para cada um dos casos, bem como os parâmetros e índices econômico-financeiros freqüentemente utilizados para a avaliação da viabilidade econômica de um empreendimento, sendo estes:

a) tempo de recuperação descontado (TRD), definido como sendo o tempo em que o capital investido é recuperado;

b) valor presente líquido (VPL), que corresponde à diferença entre os valores atuais de entradas de caixa e o investimento líquido (valor atual das saídas de caixa);

c) taxa interna de retorno (TIR), definida como a taxa de desconto que leva o valor das entradas de caixa a se igualarem ao investimento líquido, ou seja, é a taxa de desconto que leva o VPL de uma oportunidade de investimento a igualar-se a zero;

c) índice benefício/custo (B/C) que corresponde à relação entre o benefício monetário obtido ao longo do período em estudo e o custo total do empreendimento.

9.1 Determinação dos custos e benefícios energéticos

A quantificação dos benefícios energéticos resultantes para cada um dos cenários referentes ao aproveitamento hidrelétrico hipotético deste estudo de caso foi efetuada em termos de contribuição à energia firme do sistema interligado Sul-Sudeste, sendo os mesmos valorizados pelos custos marginais de referência. Para tanto foi utilizado o Modelo

de Despacho Hidrotérmico - MODDHT (OLADE/BID, 1993) que, através de simulações com as séries históricas de vazões, obtém o custo marginal de operação e da geração hidrelétrica equivalente dos subsistemas Sul e Sudeste/Centro-Oeste.

O MODDHT utiliza, em suas simulações, a técnica de programação Dinâmica Estocástica (PDE), a qual dispõe como resultado, para cada mês do horizonte de análise considerado, uma tabela de custos futuros contendo, para cada estado de energia armazenada do sistema, o valor esperado e atualizado dos custos de operação a partir desse estágio até o final do horizonte de análise, de acordo com a política ótima de operação. Esta, por sua vez, é representada pelo valor marginal da água, correspondente à derivada parcial do custo esperado de operação assim obtido em relação à energia armazenada (OLADE/BID, 1993).

Na simulação energética das 9 séries resultantes dos estudos hidrológicos deste estudo de caso, foram consideradas as seguintes características:

a) simulação dinâmica com configuração estática;

b) armazenamento inicial dos reservatórios correspondente a 100% de sua capacidade;

b) custo implícito de déficit de 540 US$/MWh;

c) horizonte de simulação de 20 anos;

d) taxa de desconto de 12% a.a. para o cálculo da política ótima de operação.

As demais características adotadas nas simulações, como mercado de energia elétrica e sua sazonalidade para os subsistemas, geração externa nos subsistemas, usinas do parque gerador adotado, limites de transmissão de energia e energia garantida das usinas

interligadas ao sistema considerado, são as mesmas utilizadas por BETTEGA (BETTEGA, 1999), e transcritas no Anexo 4.

O MODDHT considera séries históricas de vazões médias mensais para o período compreendido entre 1931 e 1994 e, para o horizonte de simulação adotado (neste estudo, 20 anos), obtém as diversas séries de vazões a serem simuladas. A obtenção destas séries é efetuada através do "Método Pente", o qual considera, a partir de cada ano do histórico, uma nova série de tamanho igual ao período de estudo, utilizando os anos subsequentes ao ano inicial. Sendo os anos 31 e 94, respectivamente, o primeiro e o último ano da série histórica considerada pelo modelo, e PerEst o período de estudo considerado, a série que tiver início no ano (94-PerEst+2) passará a considerar, no final de sua série, os valores iniciais da série histórica (ano 31, ano 32, ...), de maneira a possibilitar que a mesma tenha a extensão desejada, ou seja, número de anos igual ao período de estudo.

Entretanto, tendo as séries de vazões médias mensais obtidas nos estudos hidrológicos deste estudo de caso início apenas no ano de 1949, foi possível a obtenção das seguintes séries:

1 - 1949, 1950, 1951, ..., 1967, 1968

2 - 1950, 1951, 1952, ..., 1968, 1969

3 - 1951, 1952, 1953, ..., 1969, 1970

(...)

26 - 1974, 1975, 1976, ..., 1992, 1993

27 - 1975, 1976, 1977, ..., 1993, 1994

As demais séries, que considerariam no seu final os primeiros anos de uma série histórica com início em 1931, não foram utilizadas por englobarem registros históricos não disponíveis nas séries de vazões médias mensais resultantes do estudo de caso (1931 a 1948). Estas séries, seriam como mostrado abaixo.

28 - 1976, 1977, 1978, ..., 1994, 1931

29 - 1977, 1978, 1979, ..., 1931, 1932

(...)

Desta forma, foram obtidas 27 séries para cada uma das 9 hipóteses consideradas, as quais foram simuladas com a aplicação do MRE e sem a aplicação do MRE, perfazendo um total de 486 simulações.

9.2 Determinação dos fluxos de caixa e parâmetros econômico financeiros

Para cada uma das 486 séries foi obtido um fluxo de caixa, utilizando-se para isso o modelo desenvolvido por FEIL (1996), e determinados os parâmetros econômico-financeiros que subsidiaram a análise.

Para a aplicação do modelo econômico-financeiro adotado, e conseqüente determinação dos índices e parâmetros econômicos já enunciados no início deste item, foram considerados os seguintes dados:

a) investimento total: 750 US$/kW instalado;

b) ano de início da construção: 1999;

c) tempo de construção: 2 anos;

d) tarifa de venda de energia elétrica: 40 US$/MWh;

e) participação em capital próprio: 20% do investimento total, com um desembolso de 30% no 1° ano e 70% no 2° ano;

f) participação em financiamento: 80% do investimento total, com um saque de 30% no 1° ano e 70% no 2° ano;

g) sistema de financiamento: Tabela Price;

h) taxa de juros do financiamento: 9% a.a.;

i) início do pagamento: 2001;

j) prazo de pagamento: 5 anos;

k) período de estudo: 22 anos;

l) taxa de desconto: 9% a.a.;

m) taxa para cálculo dos juros durante a construção: 9% a.a.;

n) prazo para depreciação: 20 anos;

o) taxa de depreciação: 5%;

p) compensação financeira: 6%;

q) tarifa de referência (TAR): 19,53 US$/MWh;

r) PIS/CONFINS: 3,65%;

s) contribuição social: 12%;

t) imposto de renda: 15% (até 240.000,00) ou 25% (maior que 240.000,00);

u) taxa de fiscalização da ANEEL: 0,5%;

v) outros encargos: 2% sobre a receita bruta;

w) energia contratada = energia assegurada.

Os custos com operação e manutenção (O&M; US$/ano) foram obtidos a partir da seguinte equação (COPEL, 1998):

$$O\&M = 214.235{,}42\ P^{0{,}3936} \qquad (8.2)$$

onde P é a capacidade instalada em MW.

Na determinação dos fluxos de caixa resultantes para cada uma das nove hipóteses de dimensionamento energético, sob as condições e parâmetros adotados, foi considerada, além da comercialização da energia garantida (neste estudo, considerada totalmente contratada), a comercialização verificada no mercado *spot*. Foram também consideradas a aplicação ou não do Mecanismo de Realocação de Energia (MRE), conforme regra apresentada no item 2.1.4.2.

As Tabela 9.1 e 9.2 apresentam, a título de exemplo, o fluxo de caixa com e sem a aplicação do MRE, respectivamente, para a série nº 6 obtida para o Cenário 4 de disponibilidade de dados, pela metodologia de transformação chuva-vazão (série SMAP-FazLob). Nestas Tabelas, os valores negativos são representados entre parênteses.

A Figura 9.1 ilustra os fluxos de caixa resultantes das Tabelas 9.1 e 9.2, comparando os valores obtidos. Na Figura 9.2 são apresentados para os mesmos casos (com e sem a aplicação do MRE), apenas os valores referentes à comercialização efetuada no mercado *spot*.

Tabela 9.1 Fluxo de caixa obtido para a série nº 6 do Cenário 4, por SMAP (SMAP-FazLob), com MRE.

	ANOS							
	1999	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**
RECEITAS								
Receitas com geração própria			7.708.800,00	7.708.800,00	7.708.800,00	7.708.800,00	7.708.800,00	7.708.800,00
Mercado SPOT			153.600,00	(1.338.100,00)	(846.720,00)	71.730,00	30.470,00	(16.760,00)
TOTAL DAS RECEITAS			7.862.400,00	6.370.700,00	6.862.080,00	7.780.530,00	7.739.270,00	7.692.040,00
DESPESAS								
Desembolsos c/ construção - Capital Próprio	(2.025.000,00)	(4.725.000,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)
Juros durante a construção - Capital próprio	(91.125,00)	(403.076,25)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)
O&M			(958.507,94)	(958.507,94)	(958.507,94)	(958.507,94)	(958.507,94)	(958.507,94)
Despesas com ANEEL			(39.312,00)	(31.853,50)	(34.310,40)	(38.902,65)	(38.696,35)	(38.460,20)
Compensação Financeira			(225.829,30)	(225.829,30)	(225.829,30)	(225.829,30)	(225.829,30)	(225.829,30)
Confins/PIS			(286.977,60)	(232.530,55)	(250.465,92)	(283.989,35)	(282.483,36)	(280.759,46)
Outros Encargos			(157.248,00)	(127.414,00)	(137.241,60)	(155.610,60)	(154.785,40)	(153.840,80)
Contribuição Social			(537.877,81)	(369.882,56)	(425.221,77)	(528.657,61)	(524.010,91)	(518.691,87)
Imposto de Renda			(962.109,32)	(654.118,02)	(755.573,25)	(945.205,62)	(936.686,67)	(926.935,09)
TOTAL DAS DESPESAS	(2.116.125,00)	(5.128.076,25)	(3.167.861,97)	(2.600.135,87)	(2.787.150,18)	(3.136.703,07)	(3.120.999,93)	(3.103.024,66)
FINANCIAMENTOS								
Juros	0,00	0,00	(2.617.420,40)	(2.211.385,73)	(1.768.807,94)	(1.286.398,15)	(760.571,47)	0,00
Amortização	0,00	0,00	(4.511.496,34)	(4.917.531,01)	(5.360.108,80)	(5.842.518,59)	(6.368.345,26)	0,00
RESULTADO - RECEITA LÍQUIDA	(2.116.125,00)	(5.128.076,25)	(2.434.378,71)	(3.358.352,61)	(3.053.986,92)	(2.485.089,81)	(2.510.646,67)	4.589.015,34
RESULTADO - VALORES PRESENTES	(1.941.399,08)	(4.316.199,18)	(1.879.787,03)	(2.379.141,66)	(1.984.881,95)	(1.481.777,86)	(1.373.409,70)	2.303.072,06
RESULTADO - VAL. PRES. ACUM.	(1.941.399,08)	(6.257.598,27)	(8.137.385,29)	(10.516.526,95)	(12.501.408,90)	(13.983.186,76)	(15.356.596,46)	(13.053.524,41)
TAXA INTERNA DE RETORNO - TIR	-	-	-	-	-	-	-	-
BENEFÍCIOS LÍQUIDOS ACUM. EM VP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2.303.072,06
CUSTOS LÍQUIDOS ACUM. EM VP	(1.941.399,08)	(6.257.598,27)	(8.137.385,29)	(10.516.526,95)	(12.501.408,90)	(13.983.186,76)	(15.356.596,46)	(15.356.596,46)
ÍNDICE BENEFÍCIO/CUSTO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15

	ANOS							
	2007	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**
RECEITAS								
Receitas com geração própria	7.708.800,00	7.708.800,00	7.708.800,00	7.708.800,00	7.708.800,00	7.708.800,00	7.708.800,00	7.708.800,00
Mercado SPOT	100.220,00	75.530,00	48.540,00	258.140,00	427.840,00	13.980,00	19.470,00	45.030,00
TOTAL DAS RECEITAS	7.809.020,00	7.784.330,00	7.757.340,00	7.966.940,00	8.136.640,00	7.722.780,00	7.728.270,00	7.753.830,00
DESPESAS								
Desembolsos c/ construção - Capital Próprio	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)
Juros durante a construção - Capital próprio	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)
O&M	(958.507,94)	(958.507,94)	(958.507,94)	(958.507,94)	(958.507,94)	(958.507,94)	(958.507,94)	(958.507,94)
Despesas com ANEEL	(39.045,10)	(38.921,65)	(38.786,70)	(39.834,70)	(40.683,20)	(38.613,90)	(38.641,35)	(38.769,15)
Compensação Financeira	(225.829,30)	(225.829,30)	(225.829,30)	(225.829,30)	(225.829,30)	(225.829,30)	(225.829,30)	(225.829,30)
Confins/PIS	(285.029,23)	(284.128,05)	(283.142,91)	(290.793,31)	(296.987,36)	(281.881,47)	(282.081,86)	(283.014,80)
Outros Encargos	(156.180,40)	(155.686,60)	(155.146,80)	(159.338,80)	(162.732,80)	(154.455,60)	(154.565,40)	(155.076,60)
Contribuição Social	(531.866,16)	(529.085,57)	(526.045,95)	(549.651,11)	(568.762,72)	(522.153,81)	(522.772,09)	(525.650,66)
Imposto de Renda	(951.087,95)	(945.990,21)	(940.417,58)	(983.693,70)	(1.018.731,65)	(933.281,98)	(934.415,50)	(939.692,87)
TOTAL DAS DESPESAS	(3.147.546,08)	(3.138.149,31)	(3.127.877,19)	(3.207.648,85)	(3.272.234,97)	(3.114.724,00)	(3.116.813,44)	(3.126.541,32)
FINANCIAMENTOS								
Juros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Amortização	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
RESULTADO - RECEITA LÍQUIDA	4.661.473,92	4.646.180,69	4.629.462,81	4.759.291,15	4.864.405,03	4.608.056,00	4.611.456,56	4.627.288,68
RESULTADO - VALORES PRESENTES	2.146.272,09	1.962.596,93	1.794.068,92	1.692.093,27	1.586.665,05	1.378.944,47	1.266.020,25	1.165.474,10
RESULTADO - VAL. PRES. ACUM.	(10.907.252,32)	(8.944.655,39)	(7.150.586,47)	(5.458.493,20)	(3.871.828,15)	(2.492.883,68)	(1.226.863,42)	(61.389,32)
TAXA INTERNA DE RETORNO - TIR	-	-	-	-	-	-	-	-
BENEFÍCIOS LÍQUIDOS ACUM. EM VP	4.449.344,14	6.411.941,08	8.206.010,00	9.898.103,27	11.484.768,31	12.863.712,78	14.129.733,04	15.295.207,14
CUSTOS LÍQUIDOS ACUM. EM VP	(15.356.596,46)	(15.356.596,46)	(15.356.596,46)	(15.356.596,46)	(15.356.596,46)	(15.356.596,46)	(15.356.596,46)	(15.356.596,46)
ÍNDICE BENEFÍCIO/CUSTO	0,29	0,42	0,53	0,64	0,75	0,84	0,92	1,00

	ANOS					
	2015	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**
RECEITAS						
Receitas com geração própria	7.708.800,00	7.708.800,00	7.708.800,00	7.708.800,00	7.708.800,00	7.708.800,00
Mercado SPOT	98.720,00	77.970,00	122.730,00	(716.700,00)	(255.780,00)	9.810,00
TOTAL DAS RECEITAS	7.807.520,00	7.786.770,00	7.831.530,00	6.992.100,00	7.453.020,00	7.718.610,00
DESPESAS						
Desembolsos c/ construção - Capital Próprio	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	0,00	0,00
Juros durante a construção - Capital próprio	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	0,00	0,00
O&M	(958.507,94)	(958.507,94)	(958.507,94)	(958.507,94)	958.507,94	958.507,94
Despesas com ANEEL	(39.037,60)	(38.933,85)	(39.157,65)	(34.960,50)	37.265,10	38.593,05
Compensação Financeira	(225.829,30)	(225.829,30)	(225.829,30)	(225.829,30)	225.829,30	225.829,30
Confins/PIS	(284.974,48)	(284.217,11)	(285.850,85)	(255.211,65)	272.035,23	281.729,27
Outros Encargos	(156.150,40)	(155.735,40)	(156.630,60)	(139.842,00)		
Contribuição Social	(531.697,23)	(529.360,36)	(534.401,23)	(439.864,63)	491.773,44	521.684,18
Imposto de Renda	(950.778,25)	(946.494,00)	(955.735,59)	(782.418,48)	877.584,63	932.421,00
TOTAL DAS DESPESAS	(3.146.975,19)	(3.139.077,95)	(3.156.113,16)	(2.836.634,50)	(3.012.056,04)	(3.113.136,94)
FINANCIAMENTOS						
Juros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Amortização	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
RESULTADO - RECEITA LÍQUIDA	4.660.544,81	4.647.692,05	4.675.416,84	4.155.465,50	4.440.963,96	4.605.473,06
RESULTADO - VALORES PRESENTES	1.076.926,89	985.281,62	909.320,28	741.463,41	726.977,20	691.657,82
RESULTADO - VAL. PRES. ACUM.	1.015.537,57	2.000.819,19	2.910.139,47	3.651.602,88	4.378.580,08	5.070.237,90
TAXA INTERNA DE RETORNO - TIR	-	-	-	-	-	12,26%
BENEFÍCIOS LÍQUIDOS ACUM. EM VP	16.372.134,03	17.357.415,65	18.266.735,93	19.008.199,34	19.735.176,54	20.426.834,36
CUSTOS LÍQUIDOS ACUM. EM VP	(15.356.596,46)	(15.356.596,46)	(15.356.596,46)	(15.356.596,46)	(15.356.596,46)	(15.356.596,46)
ÍNDICE BENEFÍCIO/CUSTO	1,07	1,13	1,19	1,24	1,29	1,33

Tabela 9.2 Fluxo de caixa obtido para a série nº 6 do Cenário 4, por SMAP (SMAP-FazLob), sem MRE.

	ANOS							
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
RECEITAS								
Receitas com geração própria			7.708.800,00	7.708.800,00	7.708.800,00	7.708.800,00	7.708.800,00	7.708.800,00
Mercado SPOT			(882.690,00)	(6.321.220,00)	(3.703.550,00)	(69.230,00)	(148.550,00)	(918.630,00)
TOTAL DAS RECEITAS			6.826.110,00	1.387.580,00	4.005.250,00	7.639.570,00	7.560.250,00	6.790.170,00
DESPESAS								
Desembolsos c/ construção - Capital Próprio	(2.025.000,00)	(4.725.000,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)
Juros durante a construção - Capital próprio	(91.125,00)	(403.076,25)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)
O&M			(958.507,94)	(958.507,94)	(958.507,94)	(958.507,94)	(958.507,94)	(958.507,94)
Despesas com ANEEL			(34.130,55)	(6.937,90)	(20.026,25)	(38.197,85)	(37.801,25)	(33.950,85)
Compensação Financeira			(225.829,30)	(225.829,30)	(225.829,30)	(225.829,30)	(225.829,30)	(225.829,30)
Confins/PIS			(249.153,02)	(50.646,67)	(146.191,63)	(278.844,31)	(275.949,13)	(247.841,21)
Outros Encargos			(136.522,20)	(27.751,60)	(80.105,00)	(152.791,40)	(151.205,00)	(135.803,40)
Contribuição Social			(421.170,83)	(0,00)	(103.485,58)	(512.782,70)	(503.849,68)	(417.123,27)
Imposto de Renda			(748.146,53)	(0,00)	(165.723,56)	(916.101,61)	(899.724,41)	(740.725,99)
TOTAL DAS DESPESAS	(2.116.125,00)	(5.128.076,25)	(2.773.460,36)	(1.269.673,41)	(1.699.869,25)	(3.083.055,10)	(3.052.866,70)	(2.759.781,96)
FINANCIAMENTOS								
Juros	0,00	0,00	(2.617.420,40)	(2.211.385,73)	(1.768.807,94)	(1.286.398,15)	(760.571,47)	0,00
Amortização	0,00	0,00	(4.511.496,34)	(4.917.531,01)	(5.360.108,80)	(5.842.518,59)	(6.368.345,26)	0,00
RESULTADO - RECEITA LÍQUIDA	(2.116.125,00)	(5.128.076,25)	(3.076.267,10)	(7.011.010,15)	(4.823.535,99)	(2.572.401,84)	(2.621.533,44)	4.030.388,04
RESULTADO - VALORES PRESENTES	(1.941.399,08)	(4.316.199,18)	(2.375.442,64)	(4.966.776,34)	(3.134.967,44)	(1.533.839,17)	(1.434.068,57)	2.022.715,85
RESULTADO - VAL. PRES. ACUM.	(1.941.399,08)	(6.257.598,27)	(8.633.040,90)	(13.599.817,25)	(16.734.784,68)	(18.268.623,85)	(19.702.692,42)	(17.679.976,57)
TAXA INTERNA DE RETORNO - TIR	-	-	-	-	-	-	-	-
BENEFÍCIOS LÍQUIDOS ACUM. EM VP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2.022.715,85
CUSTOS LÍQUIDOS ACUM. EM VP	(1.941.399,08)	(6.257.598,27)	(8.633.040,90)	(13.599.817,25)	(16.734.784,68)	(18.268.623,85)	(19.702.692,42)	(19.702.692,42)
ÍNDICE BENEFÍCIO/CUSTO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10

	ANOS							
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
RECEITAS								
Receitas com geração própria	7.708.800,00	7.708.800,00	7.708.800,00	7.708.800,00	7.708.800,00	7.708.800,00	7.708.800,00	7.708.800,00
Mercado SPOT	(705.040,00)	(506.720,00)	(816.240,00)	(2.211.540,00)	(1.589.650,00)	(63.700,00)	(215.410,00)	(618.590,00)
TOTAL DAS RECEITAS	7.003.760,00	7.202.080,00	6.892.560,00	5.497.260,00	6.119.150,00	7.645.100,00	7.493.390,00	7.090.210,00
DESPESAS								
Desembolsos c/ construção - Capital Próprio	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)
Juros durante a construção - Capital próprio	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)
O&M	(958.507,94)	(958.507,94)	(958.507,94)	(958.507,94)	(958.507,94)	(958.507,94)	(958.507,94)	(958.507,94)
Despesas com ANEEL	(35.018,80)	(36.010,40)	(34.462,80)	(27.486,30)	(30.595,75)	(38.225,50)	(37.466,95)	(35.451,05)
Compensação Financeira	(225.829,30)	(225.829,30)	(225.829,30)	(225.829,30)	(225.829,30)	(225.829,30)	(225.829,30)	(225.829,30)
Confins/PIS	(255.637,24)	(262.875,92)	(251.578,44)	(200.649,99)	(223.348,98)	(279.046,15)	(273.508,74)	(258.792,67)
Outros Encargos	(140.075,20)	(144.041,60)	(137.851,20)	(109.945,20)	(122.383,00)	(152.902,00)	(149.867,80)	(141.804,20)
Contribuição Social	(441.177,77)	(463.512,57)	(428.654,43)	(271.515,74)	(341.553,00)	(513.405,49)	(496.319,91)	(450.913,77)
Imposto de Renda	(784.825,92)	(825.773,05)	(761.866,46)	(473.778,87)	(602.180,49)	(917.243,39)	(885.919,83)	(802.675,25)
TOTAL DAS DESPESAS	(2.841.072,18)	(2.916.550,78)	(2.798.750,57)	(2.267.713,34)	(2.504.398,46)	(3.085.159,77)	(3.027.420,46)	(2.873.974,18)
FINANCIAMENTOS								
Juros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Amortização	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
RESULTADO - RECEITA LÍQUIDA	4.162.687,82	4.285.529,22	4.093.809,43	3.229.546,66	3.614.751,54	4.559.940,23	4.465.969,54	4.216.235,82
RESULTADO - VALORES PRESENTES	1.916.617,11	1.810.253,85	1.586.485,64	1.148.215,98	1.179.054,77	1.364.546,00	1.226.078,53	1.061.942,32
RESULTADO - VAL. PRES. ACUM.	(15.763.359,45)	(13.953.105,60)	(12.366.619,96)	(11.218.403,98)	(10.039.349,21)	(8.674.803,21)	(7.448.724,68)	(6.386.782,37)
TAXA INTERNA DE RETORNO - TIR	-	-	-	-	-	-	-	-
BENEFÍCIOS LÍQUIDOS ACUM. EM VP	3.939.332,96	5.749.586,82	7.336.072,46	8.484.288,44	9.663.343,21	11.027.889,20	12.253.967,74	13.315.910,05
CUSTOS LÍQUIDOS ACUM. EM VP	(19.702.692,42)	(19.702.692,42)	(19.702.692,42)	(19.702.692,42)	(19.702.692,42)	(19.702.692,42)	(19.702.692,42)	(19.702.692,42)
ÍNDICE BENEFÍCIO/CUSTO	0,20	0,29	0,37	0,43	0,49	0,56	0,62	0,68

ANOS						
	2015	2016	2017	2018	2019	2020
RECEITAS						
Receitas com geração própria	7.708.800,00	7.708.800,00	7.708.800,00	7.708.800,00	7.708.800,00	7.708.800,00
Mercado SPOT	(490.630,00)	(2.571.680,00)	(760.810,00)	(3.244.220,00)	(1.298.180,00)	(269.450,00)
TOTAL DAS RECEITAS	7.218.170,00	5.137.120,00	6.947.990,00	4.464.580,00	6.410.620,00	7.439.350,00
DESPESAS						
Desembolsos c/ construção - Capital Próprio	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	0,00	0,00
Juros durante a construção - Capital próprio	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	0,00	0,00
O&M	(958.507,94)	(958.507,94)	(958.507,94)	(958.507,94)	958.507,94	958.507,94
Despesas com ANEEL	(36.090,85)	(25.685,60)	(34.739,95)	(22.322,90)	32.053,10	37.196,75
Compensação Financeira	(225.829,30)	(225.829,30)	(225.829,30)	(225.829,30)	225.829,30	225.829,30
Confins/PIS	(263.463,21)	(187.504,88)	(253.601,64)	(162.957,17)	233.987,63	271.536,28
Outros Encargos	(144.363,40)	(102.742,40)	(138.959,80)	(89.291,60)		
Contribuição Social	(465.324,63)	(230.956,78)	(434.896,96)	(155.215,32)	374.378,35	490.233,92
Imposto de Renda	(829.095,15)	(399.420,76)	(773.311,09)	(260.561,43)	662.360,30	874.762,19
TOTAL DAS DESPESAS	(2.922.674,48)	(2.130.647,66)	(2.819.846,67)	(1.874.685,66)	(2.615.329,02)	(3.006.853,37)
FINANCIAMENTOS						
Juros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Amortização	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
RESULTADO - RECEITA LÍQUIDA	4.295.495,52	3.006.472,34	4.128.143,33	2.589.894,34	3.795.290,98	4.432.496,63
RESULTADO - VALORES PRESENTES	992.573,80	637.353,32	802.881,23	462.117,15	621.281,79	665.679,92
RESULTADO - VAL. PRES. ACUM.	(5.394.208,57)	(4.756.855,26)	(3.953.974,02)	(3.491.856,87)	(2.870.575,09)	(2.204.895,16)
TAXA INTERNA DE RETORNO - TIR	-	-	-	-	-	7,68%
BENEFÍCIOS LÍQUIDOS ACUM. EM VP	14.308.483,85	14.945.837,16	15.748.718,40	16.210.835,55	16.832.117,33	17.497.797,26
CUSTOS LÍQUIDOS ACUM. EM VP	(19.702.692,42)	(19.702.692,42)	(19.702.692,42)	(19.702.692,42)	(19.702.692,42)	(19.702.692,42)
ÍNDICE BENEFÍCIO/CUSTO	0,73	0,76	0,80	0,82	0,85	0,89

Figura 9.1 **Diagrama do fluxo de caixa obtido para a série nº 6 do Cenário 4, por SMAP (SMAP-FazLob), com e sem MRE.**

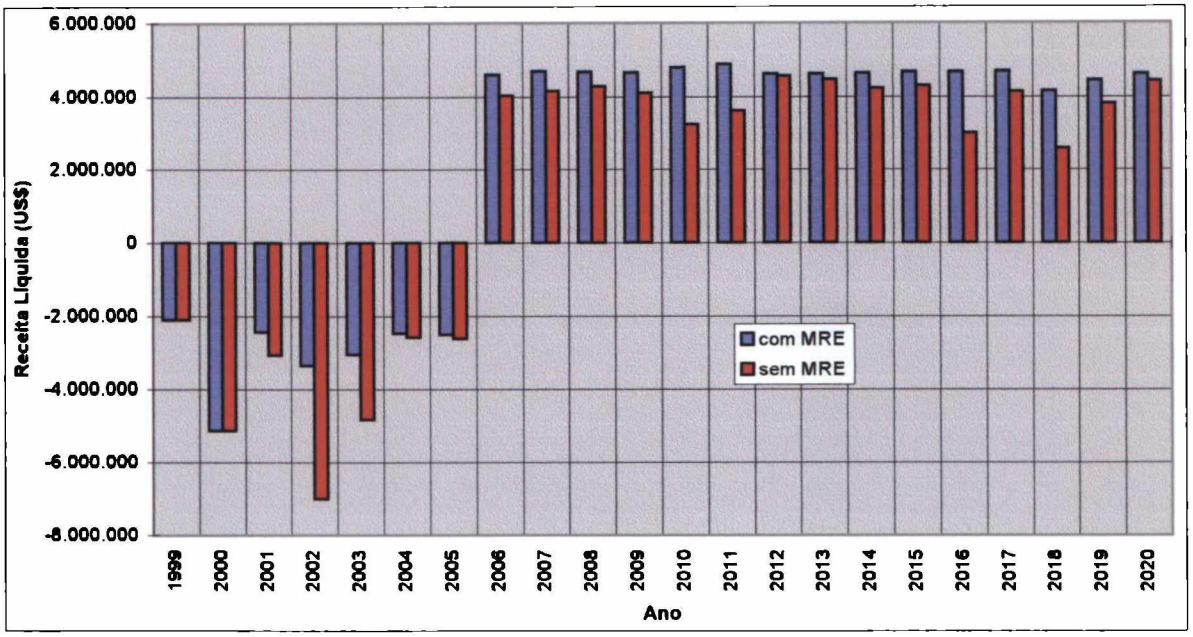
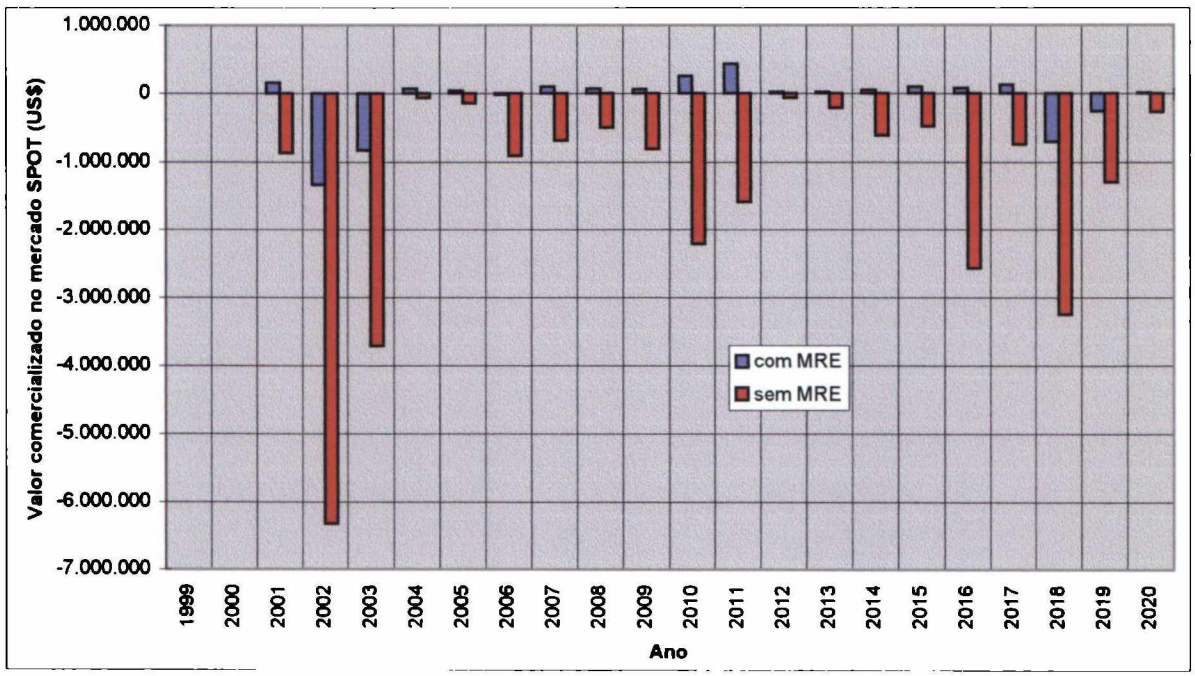


Figura 9.2 **Diagrama dos valores comercializados no mercado SPOT de energia, para a série nº 6 do Cenário 4, por SMAP (SMAP-FazLob), com e sem MRE.**



Os resultados obtidos através das séries simuladas para as 9 hipóteses, com e sem MRE, foram agrupados e analisados estatisticamente (todos os parâmetros) e através de

análise de freqüência (TIR e VPL), considerando-se os diferentes cenários e metodologias de obtenção da série de vazões médias mensais.

A Tabela 9.3 apresenta os parâmetros estatísticos obtidos para o Tempo de Retorno Descontado (TRD) resultantes das simulações das séries de vazões médias mensais para os 9 casos considerados.

Tabela 9.3 Parâmetros estatísticos do TRD

série	com MRE			sem MRE		
	TRD < período de estudo			TRD < período de estudo		
	(%)	média (anos)	desvio p. (anos)	(%)	média (anos)	desvio p. (anos)
Área	81,48%	17,5	0,5	77,78%	19,7	1,2
VMLT-Col	81,48%	17,5	0,5	77,78%	19,7	1,2
VMLT-FazLob	81,48%	17,5	0,5	77,78%	19,7	1,2
Correl-Jac	59,26%	21,0	0,0	0,00%	-	-
Correl-Col	81,48%	19,1	0,3	18,52%	20,2	0,4
Correl-FazLob	81,48%	16,9	0,4	77,78%	19,6	1,2
SMAP-Jac	81,48%	16,3	0,5	70,37%	19,5	1,5
SMAP-Col	81,48%	16,9	0,4	77,78%	19,5	1,3
SMAP-FazLob	81,48%	15,0	0,2	77,78%	18,0	1,4

A Tabela 9.4 apresenta os parâmetros estatísticos obtidos para a TIR, VPL e B/C.

Tabela 9.4 Parâmetros estatísticos da TIR, VPL e B/C

Parâm. econ-fin.	MRE	Estat.	Série considerada								
			Área	VMLT-Col	VMLT-FazLob	Correl-Jac	Correl-Col	Correl-FazLob	SMAP-Jac	SMAP-Col	SMAP-FazLob
TIR	com MRE	média	9,75%	9,75%	9,75%	8,03%	8,96%	10,27%	10,47%	10,27%	11,61%
		desvio p	0,024	0,024	0,024	0,022	0,023	0,025	0,025	0,025	0,027
	sem MRE	média	8,13%	8,13%	8,13%	5,40%	5,84%	7,76%	7,46%	7,55%	8,14%
		desvio p	0,035	0,035	0,034	0,044	0,049	0,044	0,049	0,048	0,052
VPL (1000 US$)	com MRE	média	708	708	709	-1.090	-206	1.284	1.608	1.286	3.762
		desvio p	3 239	3 239	3 238	2 417	2.636	3.262	3.454	3.268	4.488
	sem MRE	média	-1 524	-1.524	-1 515	-4.367	-4 277	-2.294	-3.052	-2.778	-2.928
		desvio p.	5 163	5 163	5.153	6.127	7.241	6.967	8.451	7.922	11.509
B/C	com MRE	média	1,09	1,09	1,09	0,93	1,01	1,14	1,16	1,14	1,29
		desvio p	0,19	0,19	0,19	0,15	0,18	0,21	0,22	0,21	0,25
	sem MRE	média	0,96	0,96	0,96	0,77	0,81	0,95	0,94	0,94	1,01
		desvio p	0,23	0,23	0,23	0,22	0,25	0,27	0,29	0,29	0,32

9.3 Análise dos resultados dos estudos econômico-financeiros

Sendo os nove casos analisados provenientes de séries de vazões médias mensais com um considerável grau de incerteza devido à inexistência de uma série histórica suficientemente longa e confiável no local do estudo de caso, as análises efetuadas nesse item têm por objetivo apenas destacar as diferenças obtidas entre os cenários e metodologias adotados, bem como avaliar a robustez dos mesmos, não havendo a pretensão de se concluir qual dos resultados melhor representa a situação real.

De maneira a se preceder uma melhor análise dos resultados obtidos e dos riscos a eles associados, foi determinada a freqüência da TIR igual a 9%, que representa a taxa de atratividade do empreendimento, bem como a TIR com freqüência igual a 95% ($TIR_{95\%}$), que representa o valor que possui 5% de risco de não ser atingido e, portanto, 95% de chances de ser igualado ou ultrapassado.

Nesta análise, apenas a TIR foi considerada devido aos demais parâmetros econômico-financeiros calculados para a avaliação deste estudo de caso serem representações diferentes do mesmo aspecto do empreendimento: sua viabilidade financeira ou não. Desta forma, possuem a mesma distribuição, em termos de freqüência, que os resultantes para a TIR, variando apenas na escala vertical, proporcionalmente à magnitude dos valores que representam.

Estes resultados, para as diferentes metodologias de obtenção de séries de vazões médias mensais utilizadas, são apresentados na Tabela 9.5. Os cenários indicados na referida tabela são os cenários de disponibilidade de dados considerados, conforme apresentados no item 6.3.

Tabela 9.5 TIR com 95% de freqüência em relação a taxa de atratividade esperada (9%)

Cenário	Frequência da TIR = 9%					
	Área/VMLT		Correlação		SMAP	
	com MRE	sem MRE	com MRE	sem MRE	com MRE	sem MRE
1	83%	79%	-	-	-	-
2	-	-	61%	não atinge	83%	71%
3	83%	79%	82%	20%	83%	78%
4	83%	79%	83%	78%	84%	79%

Cenário	TIR com frequência de 95%					
	Área/VMLT		Correlação		SMAP	
	com MRE	sem MRE	com MRE	sem MRE	com MRE	sem MRE
1	4,5%	0,6%	-	-	-	-
2	-	-	3,3%	-4,1%	5,0%	-3,0%
3	4,5%	0,6%	3,9%	-4,7%	4,8%	-2,8%
4	4,5%	0,6%	4,8%	-1,7%	5,8%	-3,0%

Nota-se na Tabela 9.5 a indicação da inviabilidade econômico-financeira do aproveitamento hidrelétrico adotado. Em nenhum dos casos considerados, o risco máximo de 5% (TIR com freqüência de 95%) para a TIR desejada pelo empreendedor (9%), foi obtido.

A TIR de 9%, considerando-se a aplicação do MRE, foi alcançada em todas as 9 hipóteses consideradas, porém os riscos variaram entre 16% a 39%. A maior TIR com risco de 5%, considerando-se a aplicação do MRE, foi a obtida para a série SMAP-FazLob (5,8%).

Desconsiderando-se a aplicação do MRE, a TIR de 9% não foi atingida apenas para a série obtida para o Cenário 2 por Correlação (série Correl-Jac). Para as demais séries, o risco da TIR de 9% variou de 21% a 80%. A maior TIR com risco de 5%, não considerando-se a aplicação do MRE, foi obtida para a série VMLT-FazLob (0,63%).

As Figura 9.3 e 9.4 apresentam as curvas de freqüência obtidas para a TIR e para o VPL, respectivamente, agrupadas pelos cenários de disponibilidade de dados (item 6.3), de maneira a se verificar as diferenças resultantes da utilização das diferentes metodologias de obtenção das séries de vazões médias mensais em um mesmo cenário.

Figura 9.3 Curvas de freqüência da TIR - por cenário de disponibilidade de dados

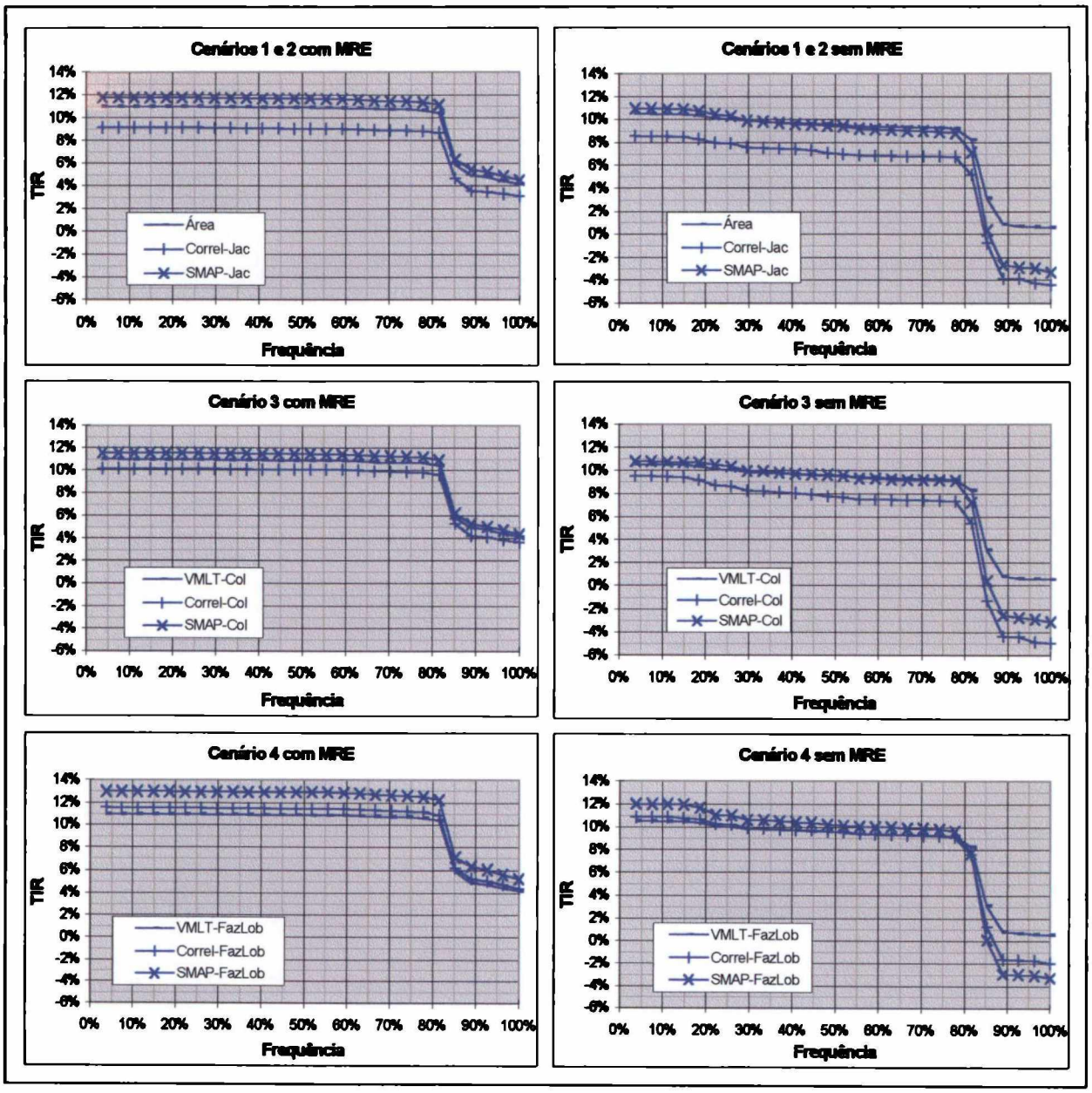
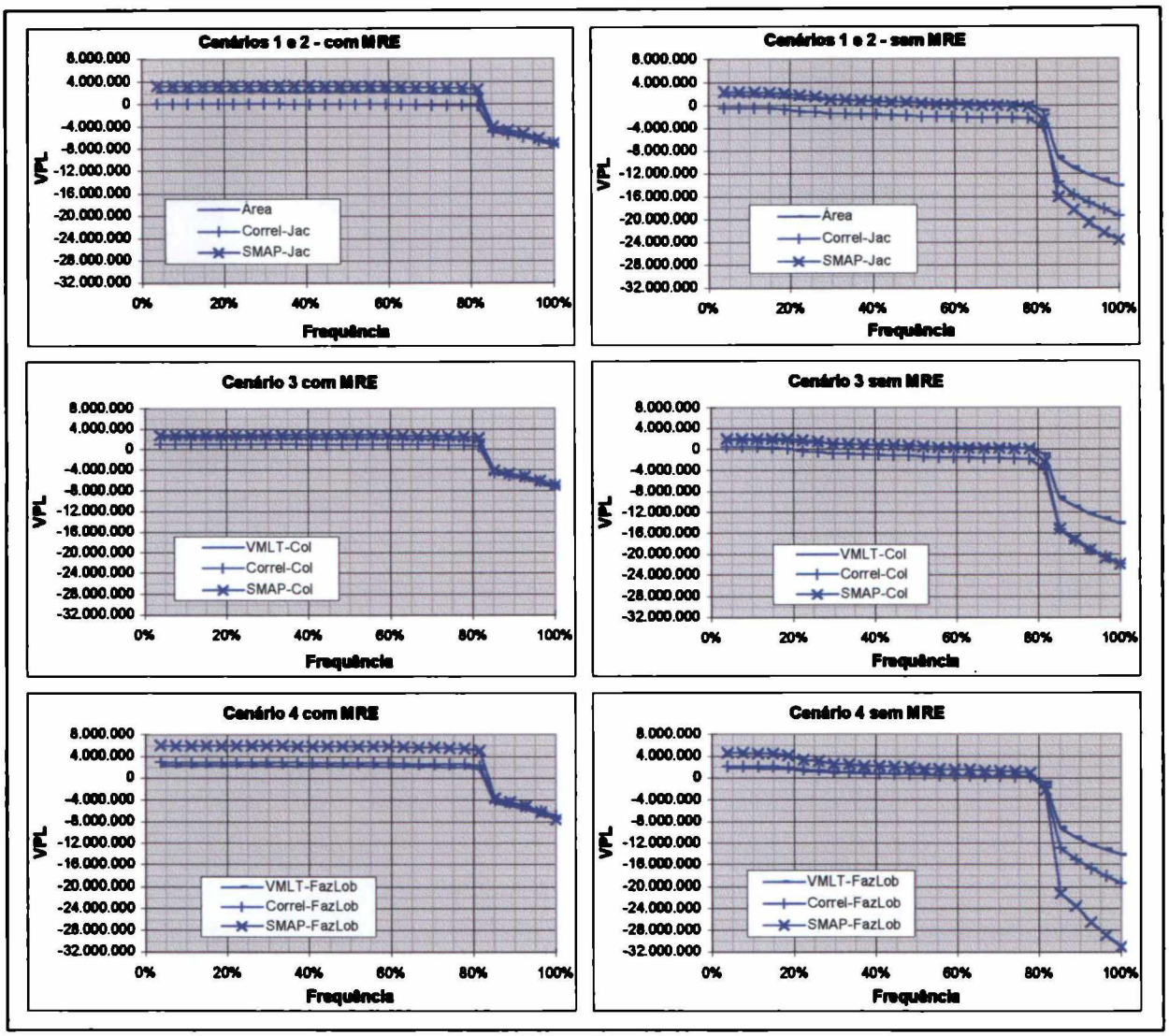


Figura 9.4 Curvas de freqüência do VPL - por cenário de disponibilidade de dados



Nota-se que em todos os cenários, com a aplicação do MRE e para qualquer risco considerado, os resultados pela utilização do modelo SMAP indicam uma maior viabilidade econômica para o aproveitamento. Inversamente, os resultados obtidos pelas séries derivadas por correlação, nos Cenários 2 e 3, e por transferência direta no Cenário 4, levam a parâmetros menos vantajosos. Quando não efetuada a aplicação do MRE, os resultados mais atrativos e com menores riscos são fornecidos, para todos os cenários, pelos métodos de transferência direta.

Para as maiores freqüências verifica-se, em todos os cenários, uma menor diferença entre os resultados obtidos pelas diferentes metodologias quando da aplicação do

MRE. Isto ocorre visto que a aplicação desse mecanismo proporciona uma amortização dos resultados extremos de receitas ou pagamentos e, portanto, resulta em uma menor importância dos valores extremos de vazões.

As mesmas curvas de freqüência apresentadas nas Figura 9.3 e 9.4 são apresentadas nas Figuras 9.5 e 9.6, desta vez, agrupadas pelas metodologias adotadas para a obtenção de séries de vazões médias mensais. Nestas figuras, pode-se se observar o reflexo dos cenários de disponibilidade de informações quando da utilização de uma mesma metodologia.

Figura 9.5 Curvas de freqüência da TIR - por metodologia de obtenção de séries de vazões médias mensais

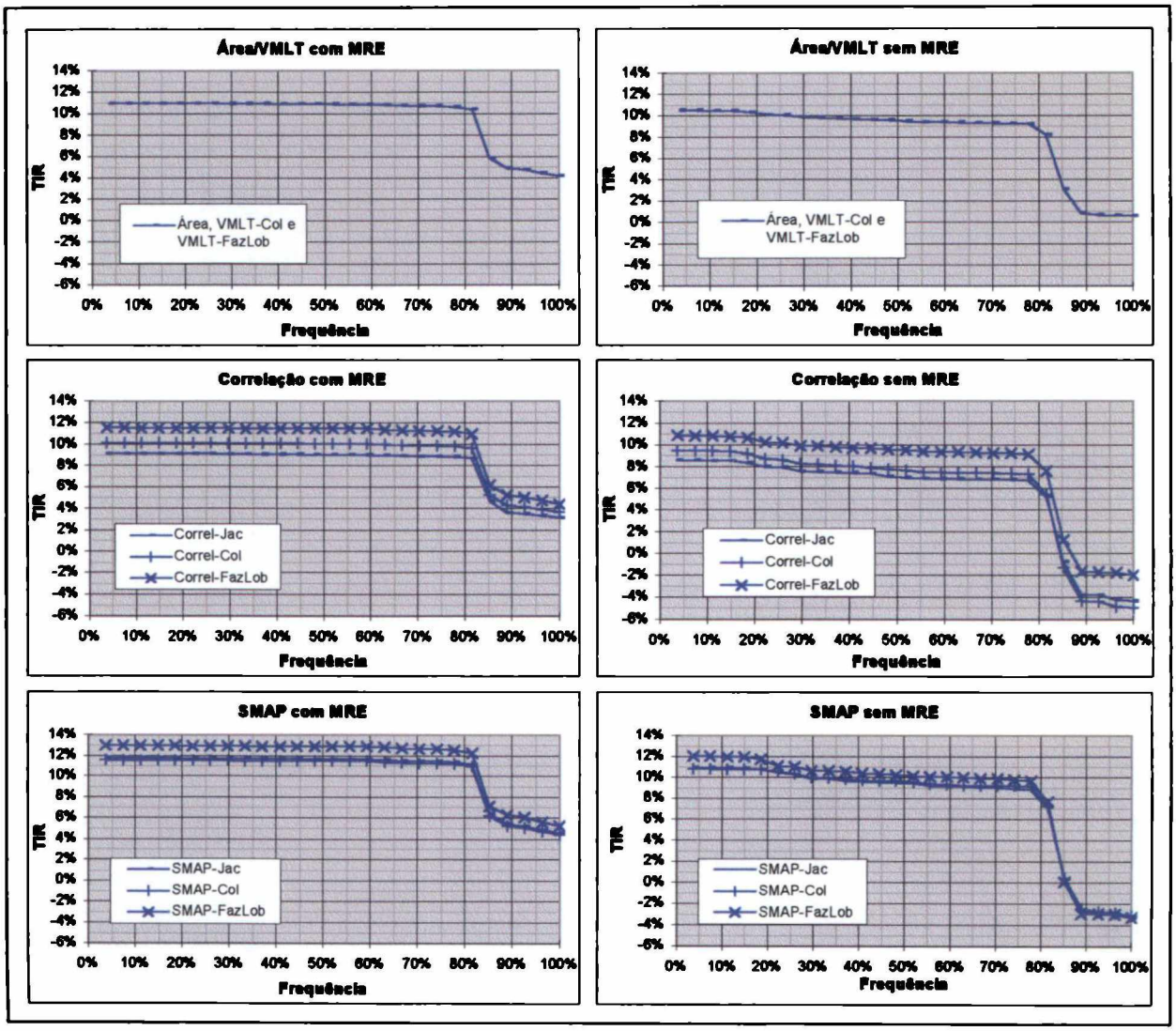
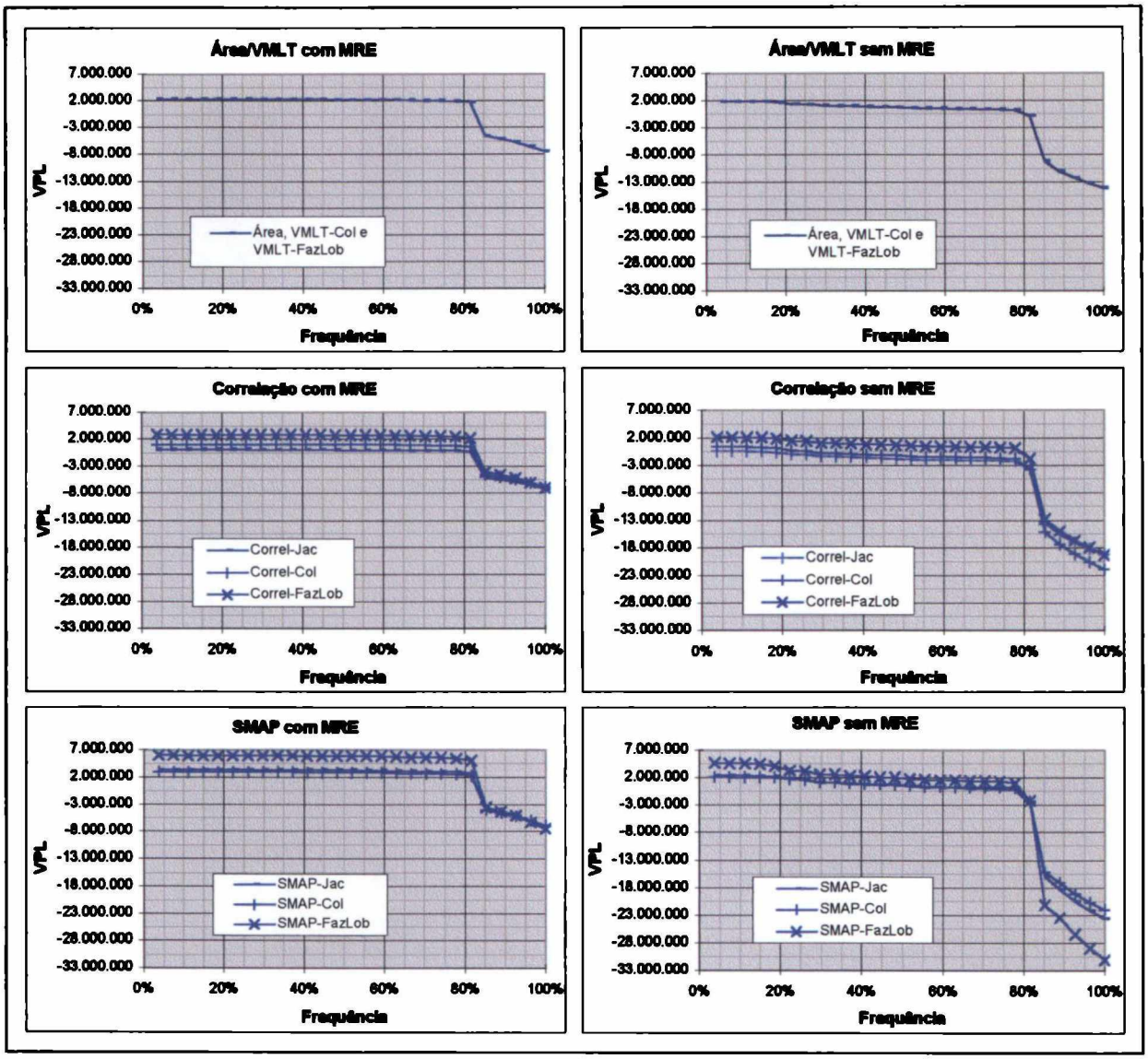


Figura 9.6 Curvas de freqüência do VPL - por metodologia de obtenção de séries de vazões médias mensais



Comparado-se as curvas de freqüência por metodologia utilizada nota-se que, com exceção dos métodos de transferência direta, onde os resultados se igualaram, os resultados que indicam uma maior viabilidade do empreendimento foram os obtidos para o Cenário 4 (FazLob), seguidos pelos Cenários 3 e 2 (Col e Jac).

Quanto à inviabilidade resultante para o aproveitamento adotado, pode-se dizer que, sendo este um estudo de caso com objetivos puramente acadêmicos, e não havendo

implicações reais quanto aos resultados obtidos, poder-se-ia, a partir da modificação de alguns parâmetros, obter-se um aproveitamento hidrelétrico hipotético cuja viabilidade fosse maior.

Entretanto optou-se pela utilização de valores de custo do empreendimento (US$ 750/kW) e de preço de venda de energia (US$ 40,00 MW/h) que refletissem as condições atuais do mercado, tendo sido, entretanto, adotado um valor de venda de energia já bastante alto.

Por outro lado, a escolha do local de estudo de caso teve como fator preponderante a possibilidade de obtenção de uma série longa de vazões, sendo que a mesma contivesse registros para o período crítico do sistema, conforme já relatado no item 6.2. Nesse processo não foram consideradas a topografia do local, no sentido de haver uma queda natural à ser aproveitada (a queda bruta foi simplesmente adotada), e nem o volume de água disponível. Desta forma, os resultados obtidos acabaram por refletir a hidrologia pouco favorável do local adotado.

10. AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DA INFORMAÇÃO HIDROLÓGICA

Nas análises efetuadas nos estudos hidrológicos e hidroenergéticos, pôde-se evidenciar os diferentes resultados obtidos pelos cenários de disponibilidade de dados considerados, bem como pelas metodologias de obtenção de séries de vazões médias mensais utilizadas.

Essas diferenças, como era de se esperar, produziram reflexos no fluxo de caixa e nos parâmetros econômico-financeiros que subsidiam a análise da viabilidade econômica do empreendimento. Subentende-se então, a partir disso, que a qualidade das informações hidrológicas se constituem em um "novo risco", o qual deverá ser considerado juntamente com os demais riscos existentes, sejam estes os inerentes às condições de projeto, como os hidrológicos e geológicos, bem como os devidos ao contexto econômico em que o mesmo se insere, como variações nas taxas de juros e demais condições mercadológicas.

Neste capítulo procurou-se, através de uma análise de sensibilidade, fazer uma avaliação do peso e da significância deste novo risco frente aos demais riscos que se apresentam ao investidor, sendo para tanto avaliados dois aspectos econômico-financeiros: (1) taxa de juros do financiamento, e (2) variação conjunta no custo total do investimento e no custo de operação e manutenção.

A adoção destes dois parâmetros teve, por principal motivo, a grande suscetibilidade dos mesmos frente às freqüentes variações e flutuações apresentadas na economia nacional. Neste contexto, tem-se a taxa de juros como um dos primeiros índices econômicos a sentirem os reflexos de alterações nas condições de mercado, e a variação no custo total do investimento e de operação e manutenção, que pode ser representada tanto por uma avaliação errônea do projeto, como quanto por uma variação cambial do dólar.

Tendo esses parâmetros como base, a análise de sensibilidade foi efetuada a partir das séries que nas curvas de freqüência da TIR apresentaram as maiores diferenças, quando considerada a aplicação do MRE.

Na Figura 9.3, que apresenta a comparação das curvas de freqüência da TIR agrupadas por cenários de disponibilidade de dados, verifica-se que as maiores diferenças foram obtidas com a aplicação das diferentes metodologias de obtenção de séries de vazões médias mensais aos Cenários 1 e 2 (séries Área, Correl-Jac e SMAP-Jac), enquanto que na Figura 9.5, que apresenta os resultados agrupados por metodologia, tem-se que as maiores diferenças resultaram para a metodologia de Correlação aplicada aos diferentes cenários (séries Correl-Jac, Correl-Col e Correl-FazLob). Nesta análise de sensibilidade, as séries Área (Cenário 1) e Correl-Jac e SMAP-Jac (Cenário 2), foram consideradas agrupadas, conforme já efetuado e comentado no item 7.5.

Para estes dois conjuntos de séries, foram refeitos os estudos econômico-financeiros das séries que apresentaram os melhores resultados (SMAP-Jac e Correl-FazLob), variando-se apenas um dos parâmetros de cada vez (taxa de juros ou custo total do investimento e custo de operação e manutenção), e procurando-se, a partir disso, reproduzir o resultados, em termos de curva de freqüência da TIR, das duas outras séries.

Assim, utilizando-se a série SMAP-Jac, procurou-se, a partir da variação dos parâmetros considerados, reproduzir os resultados apresentados pelas séries Área e Correl-Jac (análise efetuada para os Cenários 1 e 2, comparando-se as diferentes metodologias de obtenção de séries de vazões médias mensais), tendo o mesmo sido efetuado a partir da série Correl-FazLob, procurando-se reproduzir os resultados das séries Correl-Jac e Correl-Col (análise efetuada para uma mesma metodologia de obtenção de séries de vazões médias mensais, nesse caso, Correlação, comparando-se os diferentes cenários de disponibilidade de dados).

Este procedimento teve por objetivo procurar "traduzir" as diferenças ocasionadas pela adoção dos diferentes cenários e metodologias, em variações dos parâmetros adotados nesta análise, sendo estes mais facilmente avaliáveis face à sua corrente utilização nos mais diversos estudos econômicos.

A Tabela 10.1 apresenta os resultados obtidos na análise de sensibilidade efetuada. A variação conjunta no custo total do empreendimento e no custo de operação e manutenção são nela apresentados como uma variação da taxa cambial, onde apresenta-se a mesma em percentagem e em seu valor em reais, tendo-se por base o valor de conversão de R$ 1,80.

Tabela 10.1 Resultados da análise de sensibilidade da taxa de juros e dos custos total do investimento e de operação e manutenção

CENÁRIOS 1 E 2				
Parâmetro		**Série original**	**Séries reproduzidas a partir da variação do parâmetro**	
		SMAP-Jac	**Área**	**Correl-Jac**
Taxa de juros do financiamento		9,0%	10,5%	14,6%
Dólar	Variação percentual	-	3,5%	13,0%
	Valor em reais	R$ 1,80	R$ 1,86	R$ 2,03

METODOLOGIA CORRELAÇÃO				
Parâmetro		**Série original**	**Séries reproduzidas a partir da variação do parâmetro**	
		Correl-FazLob	**Correl-Col**	**Correl-Jac**
Taxa de juros do financiamento		9,0%	12,0%	14,1%
Dólar	Variação percentual	-	6,7%	12,0%
	Valor em reais	R$ 1,80	R$ 1,92	R$ 2,02

A partir dos resultados obtidos nota-se que, por exemplo, que ao se adotar a série SMAP-Jac acreditando ser a mesma a mais representativa da hidrologia do local do aproveitamento, quanto na verdade a mais correta seria a série Correl-Jac, produz-se o mesmo erro caso se fizesse as análises de viabilidade acreditando-se em uma taxa de juros de 9% ao ano, e uma alteração na economia a levasse para os patamares de 14,6% ao ano; ou se, ocorrendo a taxa de 9% ao ano, o câmbio do dólar sofresse um aumento de 13,0%.

O exemplo acima discorrido refere-se à máxima diferença obtida entre as séries analisadas quando considerada a aplicação do MRE. Para os demais casos, estas diferenças apresentaram menores magnitudes.

De forma a se obter melhores subsídios para esta avaliação, foram utilizados resultados da análise de sensibilidade efetuada por UMBRIA (UMBRIA, 1999). No referido trabalho, Umbria desenvolveu um modelo de previsão de preços de suprimento de energia elétrica que visa estabelecer a tendência dos preços futuros da mesma para um determinado horizonte de planejamento, com base nos custos de geração. A energia enfocada no modelo é a chamada "energia nova", que tem sua origem em empreendimentos de geração em fase de planejamento ou construção, e cuja comercialização se dará no novo ambiente criado a partir da reestruturação do setor energético.

A análise de sensibilidade efetuada por Umbria foi desenvolvida com o objetivo de testar a robustez dos resultados obtidos pelo modelo de previsão de preços de suprimento de energia elétrica por ele desenvolvido frente à variação de alguns parâmetros econômico-financeiros.

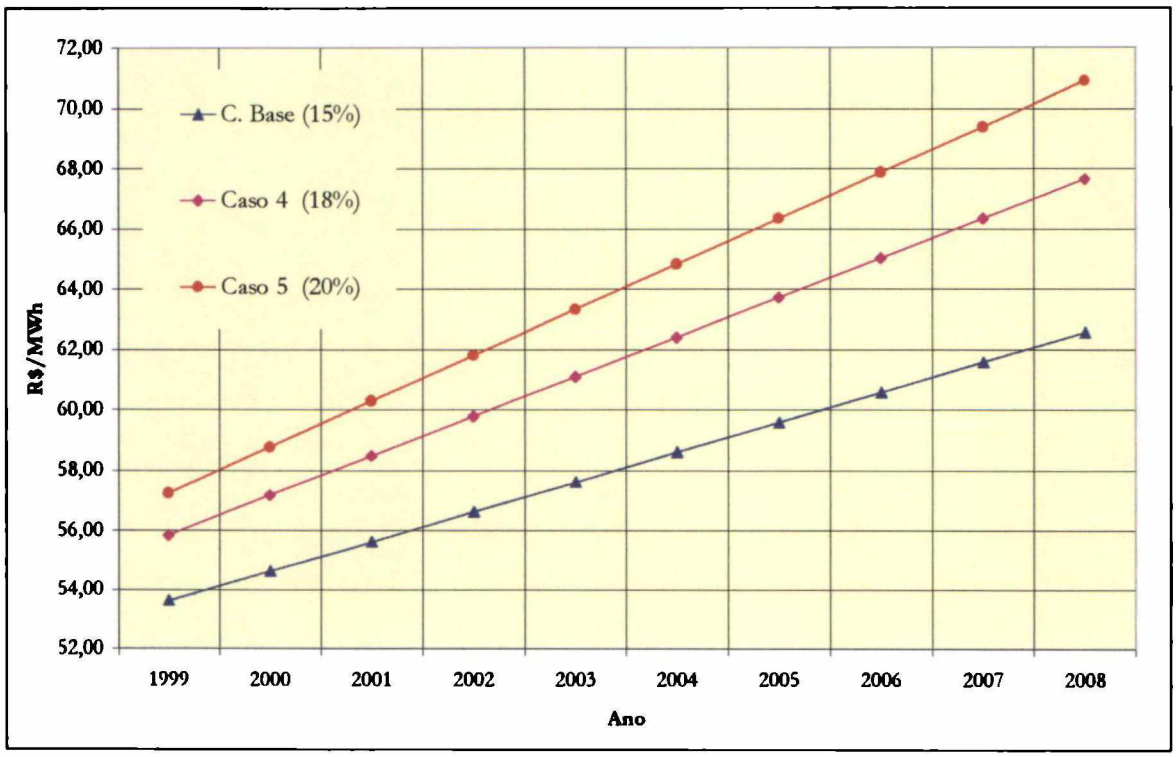
Apesar destes últimos não possuírem os mesmos valores dos parâmetros utilizados no presente estudo, e dos casos analisados não serem os mesmos, os resultados obtidos por Umbria proporcionam uma visão do reflexo da variação destes parâmetros no

custo final da energia e, portanto, uma ferramenta de avaliação das diferenças resultantes da análise de sensibilidade aqui efetuada.

As Figuras 10.1 a 10.4 abaixo apresentadas, foram reproduzidas do trabalho de Umbria, e representam a tendência de variação do preço da energia nova ao longo do horizonte de análise, frente à variação da TIR esperada, da taxa de juros do financiamento, para diferentes câmbios de dólar, e frente a diferentes cortes do investimento.

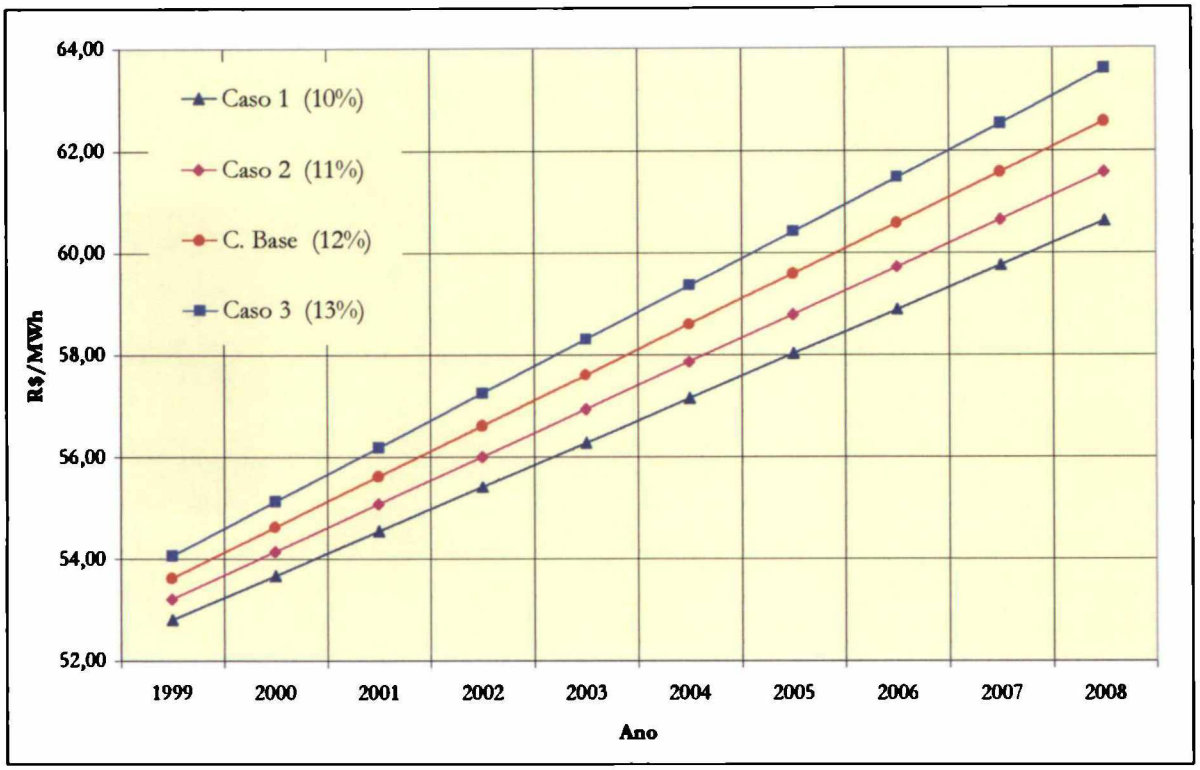
Nas Figuras 9.3 e 9.5, que apresentam as curvas de freqüência da TIR, tem-se que, para freqüências de até 80%, as maiores diferenças entre os valores resultantes encontram-se na ordem de 2,5%. Na Figura 10.1, para o início do período de análise, tem-se que a diferença no valor do custo da energia acarretada por uma variação da TIR desta ordem, é de cerca de R$ 2,00.

Figura 10.1 Tendência de preço da energia nova para diferentes TIR



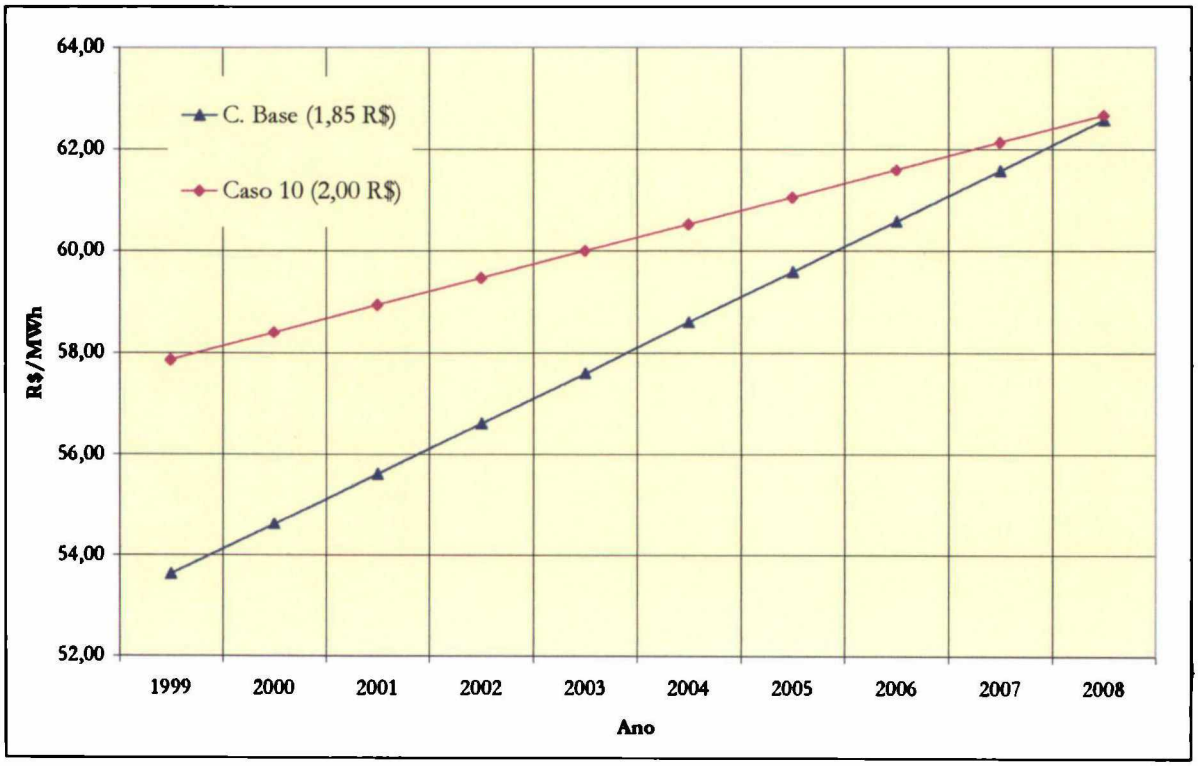
FONTE: UMBRIA (1999)

Figura 10.2 Tendência do preço da energia nova para diferentes taxas de juros



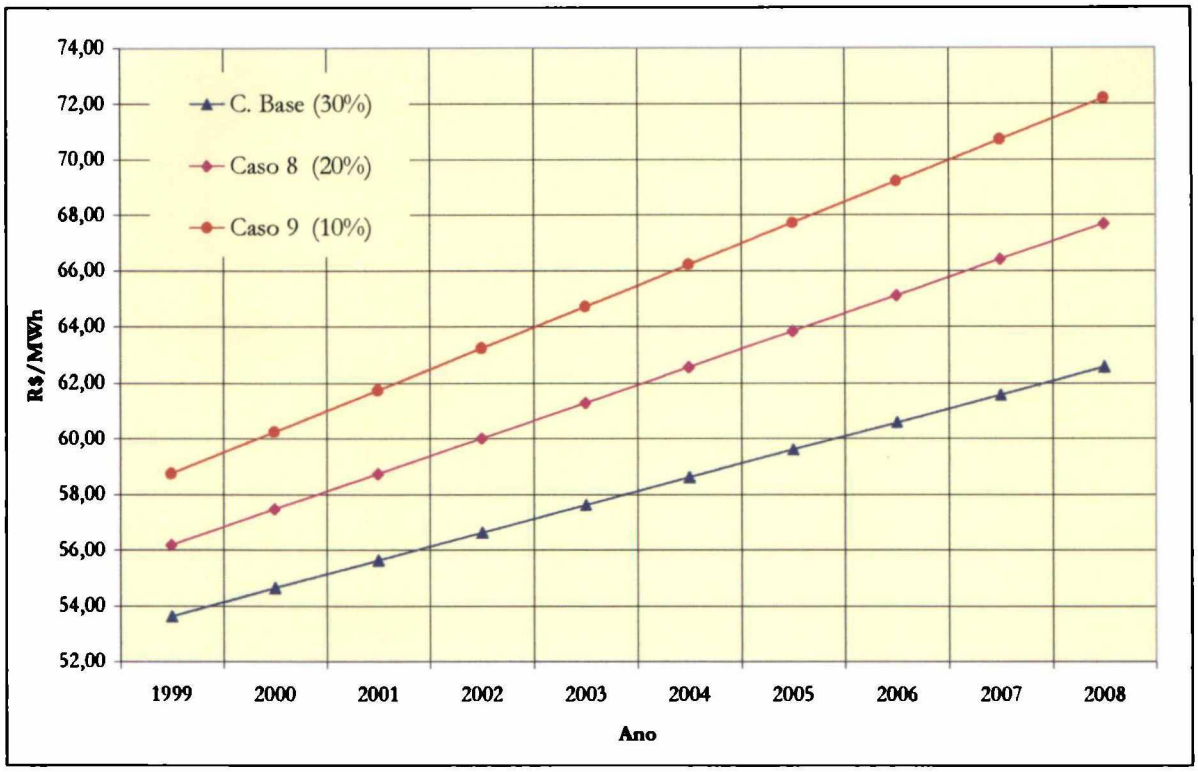
FONTE: UMBRIA (1999)

Figura 10.3 Tendência de preço da energia nova para diferentes câmbios do dólar



FONTE: UMBRIA (1999)

Figura 10.4 Tendência de preço da energia nova para diferentes cortes no investimento



FONTE: UMBRIA (1999)

Quanto a diferença máxima na taxa de juros apresentadas na Tabela 10.1 (14,6%-9%=5,6%, para os Cenários 1 e 2), verifica-se na Figura 10.2, efetuando-se uma extrapolação proporcional, que a mesma representa, para o início do período de análise, uma diferença de cerca de R$ 2,40 no custo da energia.

Quando analisada a influência da variação do câmbio do dólar, tem-se que a máxima diferença resultante no estudo de sensibilidade efetuado neste trabalho é de 13,0% para os Cenários 1 e 2. No estudo efetuado por Umbria foi analisada uma variação no câmbio do dólar correspondente a 8,1%, o que representou uma alteração de cerca de R$ 4,00 no custo da energia, para o início do período de análise, donde conclui-se que a variação produzida pela diferença hidrológica das séries consideradas representará uma diferença mais significativa.

Apesar do presente estudo não avaliar a robustez dos resultados obtidos frente a possíveis cortes no investimento, apresenta-se neste trabalho a análise deste parâmetro efetuada por Umbria, onde nota-se que cortes de investimento da ordem de 10% podem produzir diferenças no custo da energia de cerca de R$ 2,50, já no início do período de geração.

11. CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta uma avaliação do impacto da pouca informação hidrológica no dimensionamento energético de aproveitamentos hidrelétricos. Através de um estudo de caso, onde considerou-se um aproveitamento hipotético, são comparadas diferentes metodologias usualmente utilizadas para a obtenção de séries de vazões médias mensais em locais com escassez de dados hidrométricos, e os conseqüentes dimensionamentos energéticos, bem como parâmetros e índices econômicos-financeiros decorrentes dos mesmos. São analisados os métodos de transferência direta (relação entre áreas de drenagem e relação entre vazões médias de longo termo), entre vazões médias mensais e o modelo determinístico de transformação chuva-vazão SMAP, considerando-se diferentes cenários de disponibilidade de dados hidrométricos. Os resultados obtidos são analisados em termos séries de vazões médias mensais e vazões características, capacidade instalada e parâmetros econômicos-financeiros.

As principais conclusões obtidas no trabalho foram:

Disponibilidade e qualidade dos dados hidrométricos:

A marcada escassez de dados nas regiões onde hoje encontram-se as maiores reservas hidroenergéticas inexploradas do País, foi constatada durante a análise da rede hidrométrica e comprovada durante a etapa de escolha do local para o estudo de caso. As inúmeras dificuldades encontradas para a obtenção de uma série que possuísse registros confiáveis e dados para o período crítico do sistema elétrico nacional atestou este fato.

As Regiões Norte e Centro-Oeste representam cerca de 90% da capacidade hidrelétrica inexplorada do País. Por outro lado, possuem Rede Básica Hidrométrica com densidades de postos entre as mais baixas. Os estudos hidrológicos efetuados para estas

regiões, cada vez mais necessários frente aos novos interesses despertados pelas mudanças ocorridas no Sistema Elétrico Nacional, têm apresentado um nível de incertezas que, mesmo quando amenizado por técnicas de regionalização de dados, induz o investidor a uma análise mais defensiva e conservadora.

Além da qualidade nem sempre satisfatória das poucas informações existentes e da indisponibilidade de dados complementares, como histórico e seções transversais, verificou-se a falta de "memória" do posto, caracterizada pela freqüente inexistência de registros das análises já efetuadas e critérios adotados pelos técnicos da entidade responsável. Assim, cada hidrólogo que necessite utilizar os dados, o faz partindo do "zero" e, desta forma, efetua todas as etapas novamente, como análise dos registros de cotas e de medições de descarga líquida, determinação de curvas de descarga e geração de vazões. Devido a isto, grande parte dos estudos que utilizam os dados de um determinado posto, acabam por utilizar, cada qual, uma série diferente de vazões.

Séries de vazões médias mensais:

De uma forma geral, a vazão média de longo termo apresentada pela série histórica disponível no local do estudo de caso foi satisfatoriamente reproduzida por todas as metodologias e cenários.

Tal fato não foi observado para as vazões médias mensais ao longo do ano, que caracterizam a sazonalidade do local. As maiores diferenças foram observadas no período úmido, principalmente nas séries obtidas através dos métodos de transferência direta e nas que desconsideram a existência de dados na bacia em estudo.

No que se refere às séries de vazões médias mensais, objeto de maior interesse deste estudo, apesar de não ter sido possível a obtenção de uma série suficientemente

confiável para o local, de forma a servir de parâmetro de comparação, pôde-se constatar, através da aplicação dos Cenários de disponibilidade de dados, que as incertezas provenientes da ausência de informações sobre a hidrologia do local em estudo, podem ser atenuadas com a utilização de registros de locais próximos e com características semelhantes. Entretanto, atrela-se a qualidade da série que se pretende obter à qualidade dos registros utilizados. Quanto mais possuírem confiabilidade e similaridade com o local de interesse, melhor poderão subsidiar o estudo pretendido. Este fato pôde ser verificado a partir dos resultados obtidos no estudo de caso efetuado.

A utilização de registros obtidos na própria bacia em análise (Cenários 2 e 3), apresentou resultados notadamente mais próximos dos históricos disponíveis do que quando utilizados dados de bacia vizinha (Cenário 4), mesmo que próximas e com áreas de drenagem similares. A completa ausência de informações próximas ao local em estudo (Cenário 1), apesar de reproduzir satisfatoriamente a média de longo termo da série histórica, não forneceu bons resultados na reprodução da curva de permanência, principalmente em seu tramo inferior.

As séries de vazões médias mensais obtidas através dos métodos de transferência direta, apesar de não apresentarem diferenças entre os cenários, indicaram a grande suscetibilidade das mesmas em função da série básica adotada. A utilização destas metodologias sem um prévio conhecimento e minuciosa análise dos locais envolvidos, podem produzir séries de vazões totalmente irreais, apesar de resultarem em vazões médias de longo termo equivalentes, fato este verificado na análise das curvas de permanência. A aplicação destas metodologias assumem, para a série que se busca, as mesmas características de sazonalidade da série básica adotada. Entretanto, a exigência quanto à obtenção de dados para o período crítico do Sistema Elétrico Nacional, aliada à escassez de postos hidrométricos que os possuem e a carência de informações próximas aos locais de interesse, de forma a melhor caracterizá-los, fazem desta ferramenta de regionalização uma das mais utilizadas em estudos desta natureza.

A utilização de funções de correlação para corrigir e/ou estender séries de vazões médias mensais apresentou resultados significativamente melhores que os obtidos através dos métodos de transferência direta, mesmo quando baseada em registros de postos com áreas de drenagem de magnitude bastante diferentes e dispersão considerável dos pontos. Contudo, as funções de correlação dependem de registros, se não no local do aproveitamento hidrelétrico em questão, ao menos próximo a ele, e em qualidade e quantidade suficientes para possibilitar o ajuste.

Os melhores resultados, em termos de reprodução da curva de permanência histórica, foram obtidos pela utilização do modelo determinístico de transformação chuva-vazão SMAP. Sendo de estrutura simples, parcimonioso na utilização de parâmetros e de fácil manuseio, mostrou-se bastante eficaz, principalmente na reprodução do tramo baixo da curva de permanência. Também conta a seu favor, a utilização de registros de totais precipitados, que apresentam-se mais abundantes que os fluviométricos. Quanto a estes últimos, assim como nas funções de correlação, sua disponibilidade próxima ao local em estudo também é necessária. Porém, mesmo com pequenos períodos, é possível a obtenção de uma calibração satisfatória do modelo.

A constatação de que registros hidrométricos melhor subsidiam estudos hidrológicos quanto mais próximos estiverem do local de interesse, já era fato esperado. Entende-se, porém, a inviabilidade operacional e econômica de se manter em operação postos hidrométricos em todos os cursos d'água que possam vir a apresentar interesses energéticos. Contudo, a manutenção de uma Rede Básica Hidrométrica com qualidade, comprimento de séries e distribuição espacial adequadas, pode vir a proporcionar subsídios seguros para a obtenção de registros em qualquer lugar que se fizer necessário. Desta forma, poderá a Rede Básica vir a cumprir os objetivos aos quais se propõe.

Potência instalada:

As diferenças entre os valores de capacidade instalada para o aproveitamento operando de forma integrada obtidos a partir das diferentes séries de vazões médias mensais foram bastante significativas, variando entre 28 MW e 45MW (diferença de 60,7% do segundo em relação ao primeiro), sendo a média e o desvio padrão respectivamente iguais a 34,6 MW e 4,8 MW. Os valores de capacidade instalada que resultaram fora do intervalo *média* ± *desvio padrão* foram os decorrentes das séries obtidas através de correlação para os Cenários 2 e 3 (séries Correl-Jac e Correl-Col, respectivamente), e através do SMAP para o Cenário 4 (série SMAP-FazLob), apresentando-se este último acima do intervalo, e os outros dois, abaixo do mesmo.

As séries Correl-Jac e Correl-Col apresentaram estimativas de vazões significativamente inferiores as demais séries para as permanências superiores a 40%, e a série SMAP-FazLob, por sua vez, apresentou vazões no período úmido bem mais elevadas que as demais, ocasionando assim aumento da vazão média. Estes fatos, além de terem sido observados em toda a extensão das séries, também o foram durante o período crítico, quando analisado isoladamente, acarretando então as diferenças na determinação das potências instaladas.

Diferenças notadamente maiores resultaram entre as capacidades instaladas considerando-se o aproveitamento operando isoladamente, chegando a 850% em relação ao valor obtido pela série histórica do local em estudo (2,5 MW). Neste caso, a média e desvio-padrão encontrados foram, respectivamente, 6,7 MW e 4,5 MW. Considerando-se o intervalo *média* ± *desvio padrão,* tem-se que as três séries obtidas pelos métodos de transferência direta (Área, VMLT-Col e VMLT-FazLob), ultrapassam o limite superior, e as séries Correl-Jac e Correl-Col, ficam abaixo do limite inferior. Entretanto, adotando-se uma faixa de 30% em torno da potência instalada obtida através da série histórica, todas as 9 séries obtidas neste estudo de caso seriam rejeitadas.

Fluxo de caixa:

O aproveitamento hidrelétrico considerado não apresentou-se, a partir dos resultados obtidos por nenhuma das metodologias e cenários aplicados, economicamente viável.

Entretanto, é facilmente verificada a influência do MRE na redução dos riscos hidrológicos e, consequentemente, na melhoria dos resultados econômico-financeiros obtidos neste estudo de caso. Verificou-se, também, que, para os menores riscos e considerando-se um mesmo Cenário de disponibilidade de dados, a aplicação do MRE reduziu sensivelmente a diferença entre os resultados obtidos pelas diferentes metodologias. Porém o empreendedor deve, durante um processo de tomada de decisão, ter em mente que o MRE não reduz os riscos hidrólogicos a ponto de os tornarem irrelevantes, e que, apesar dos mesmos serem atenuados com a aplicação deste mecanismo, eles continuarão a ter um peso significativo que não deverá ser ignorado.

Quanto à aplicação das diferentes metodologias e adoção de diferentes cenários de disponibilidade de dados, apesar dos mesmos produzirem diferenças significativas em termos de permanência de vazões e de capacidade instalada do aproveitamento, os reflexos destas diferenças no fluxo de caixa e nos parâmetros econômicos decorrentes do mesmo, apesar de não irrelevantes, foram menos significativos.

Na análise de sensibilidade apresentada no Capítulo 10, verifica-se que o erro produzido entre a adoção de uma ou outra metodologia, ou pela disponibilidade de um ou outro cenário de dados, não produz riscos de ordens de grandeza significativamente diferentes daqueles com os quais o investidor já convive.

Esta constatação não significa que esse novo risco deva ser desprezado, mas sim que a deficiência de informações hidrológicas para o desenvolvimento dos estudos de

viabilidade de um aproveitamento hidrelétrico não necessariamente induz o investidor a uma decisão desastrosa. Essa deficiência de informações pode ser atenuada de forma suficientemente satisfatória, com registros de outros locais e com técnicas de regionalização, que quando devidamente utilizados, podem proporcionar ao investidor subsídios relativamente seguros à tomada de decisão.

Conclusões - Considerações gerais

Os riscos a serem avaliados pelo investidor frente à possibilidade de um empreendimento hidrelétrico são diversos; entre eles, geologia, orçamento efetuado *versus* custos produzidos, taxas de juros, hidrologia local, etc.

Os riscos hidrológicos, em uma primeira análise, referem-se às incertezas inerentes ao fato de se pretender prever o comportamento de um fenômeno aleatório como, neste estudo, a séric de vazões médias mensais de um curso d'água, tendo-se por premissa que o mesmo continuará se comportando conforme já verificado ao longo do seu histórico passado.

Acrescenta-se então a isto uma nova dúvida: o histórico que se dispõe é suficientemente confiável para subsidiar esta análise? Se não, qual o peso deste "novo risco" frente às demais incertezas inerentes a um projeto hidrelétrico, e qual a conseqüência deste na decisão do empreendedor?

A análise do empreendedor está baseada no nível de garantia de que, ao investir seu capital, neste caso, em geração hidrelétrica, terá um retorno financeiro maior do que se aplicá-lo em outros investimentos, e este nível de garantia está diretamente ligado aos níveis de riscos assumidos.

Considerando-se a impossibilidade da total eliminação dos riscos envolvidos, a decisão do investidor será tanto mais segura quanto maior for o seu conhecimento acerca dos mesmos, e dos reflexos que estes poderão vir a produzir no fluxo de caixa do seu empreendimento.

Os resultados obtidos no presente trabalho, para o estudo de caso analisado, demostram que, mesmo tendo sido os estudos de viabilidade do empreendimento efetuados a partir de dados hidrológicos que não ideais, as incertezas geradas por este fato não necessariamente representam um empecilho a uma decisão segura.

Se, mesmo sob estas condições não ideais, os estudos hidrológicos forem efetuados criteriosamente, bem utilizando-se das ferramentas de regionalização e análise regional das informações disponíveis, pode-se obter uma base suficientemente confiável para a avaliação da viabilidade ou não do empreendimento.

Entretanto, estes resultados não significam que a manutenção e operação adequadas da rede hidrométrica nacional devam ser negligenciadas, ou que maiores investimentos para a mesma não sejam necessários.

Nas etapas posteriores de um projeto hidrelétrico, onde um maior nível de detalhamento se faz necessário, a existência de registros hidrométricos confiáveis junto ao local do aproveitamento são imprescindíveis, pois os mesmos poderão proporcionar economias consideráveis ao projeto.

Deve-se também se considerar que a função dos postos de monitoramento hidrológico não restringe-se apenas ao dimensionamento de aproveitamentos hidrelétricos. Estando os sistemas hidrográfico e hidrológico, com toda a sua diversidade, dentre as principais riquezas naturais de nosso País, o adequado conhecimento destes torna-se imprescindível para sua correta utilização, de forma que eles possam continuar, além de

gerar divisas para os mais diferentes setores da economia nacional, ser fonte e base de um desenvolvimento equilibrado e de melhores condições de vida.

Sugestões para estudos futuros:

Para o desenvolvimento de trabalhos futuros dentro do contexto desta dissertação, sugere-se os seguintes temas, dentre os aqui não abordados:

a) avaliação do impacto da escassez de dados hidrométricos na determinação de vazões máximas, e seus impactos sobre o dimensionamento das estruturas de desvio e de extravasamento, inclusive para aproveitamentos hidrelétricos de maior porte;

b) avaliação da interferência da extensão das séries de dados utilizadas, obtendo-se os parâmetros dos diferentes métodos de transferência de dados através da simulação de diferentes períodos de disponibilidades de registros, em um mesmo posto;

c) avaliação da contribuição de campanhas de medições de vazão no local do estudo de caso, durante um curto período, como ferramenta para subsidiar a transferência de séries de dados de outros locais;

d) avaliação de como a diversidade hidrológica entre as diferentes regiões pode amenizar os riscos para o sistema interligado;

e) comparação dos riscos para usinas que operam dentro e fora do Mercado Atacadista de Energia;

f) avaliação do valor presente do risco hidrológico e do valor de investimentos que o minimizam, como, por exemplo, instalação e operação de um posto hidrométrico durante um certo período de tempo.

ANEXOS

Anexo 1

Séries históricas mensais dos postos fluviométricos utilizados

Posto: **Jacinto**
Código 22150000
Rio Santa Teresa
Área 13 811 km²
Série histórica de vazões médias mensais (m³/s)

ano	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	média
1971												317,5	
1972	133,3	173,8	228,1	215,4	81,6	37,3	17,7	9,1	4,6	17,3	56,3	187,9	**96,9**
1973	260,4	155,4	257,7	264,5	102,8	45,8	24,3	10,9	4,5	18,2	124,7	282,7	**129,3**
1974	186,9	230,1	477,2	619,1	239,8	105,6	60,7	34,9	20,3	31,0	101,4	147,8	**187,9**
1975	153,3	306,8	282,9	301,3	110,9	56,4	31,8	15,6	6,7	16,8	86,2	100,4	**122,4**
1976	103,4	156,6	198,0	122,3	68,7	33,6	14,2	5,5	6,3	30,1	118,1	229,0	**90,5**
1977	231,7	736,3	253,3	234,3	133,5	89,3	56,9	23,1	17,7	58,5	63,3	172,9	**172,6**
1978	579,0	609,1	822,3	589,0	251,6	134,2	102,5	65,7	38,7	51,6	70,3	193,0	**292,3**
1979	509,7	818,0	636,9	366,1	159,6	97,8	62,5	41,6	52,5	58,0	103,4	150,9	**254,8**
1980	463,7	855,4	745,2	390,7	181,5	107,2	75,2	48,2	34,0	38,7	114,6	460,8	**292,9**
1981	811,5	467,3	407,0	635,9	195,5	121,8	82,8	53,6		51,7	216,7	208,1	
1982	664,4	684,9	646,8	452,1	178,6	101,1	64,2	42,8	43,2	51,0	65,6	62,8	**254,8**
1983	220,0	749,3	467,2	406,1	177,5	72,4	34,1	19,9	17,7	31,5	77,2	315,8	**215,7**
1984	229,1	160,0	180,8	215,1	96,5	41,7	20,1	10,1	7,9	13,5	22,4	56,3	**87,8**
1985	254,2	687,1	538,1	313,3	154,9	84,3	49,4	28,0	15,0	26,2	66,8		
1986	599,8	310,8	317,2	211,5	174,0	147,1	115,3	87,6	74,6			157,8	
1987			187,1	175,0	76,3	36,6	16,5	6,6	2,5	6,4	11,7	197,3	
1988							30,1		6,4		225,8	421,5	
1989	209,6		297,9	286,8	122,1	55,6	32,2	18,2	11,3	16,9	168,3		
1990							49,3	26,2	23,9	19,3	83,1	244,4	
1991	583,5		156,2									195,6	
1992													
1993									11,0	15,7	26,6	222,0	
1994								15,1					
1995		221,7	223,9	335,1	175,3	72,0	37,2	17,8	7,9	8,3	48,5	292,2	
1996	341,4	156,9	261,7	269,5	113,6	53,9	31,8	13,6	6,2	13,9	54,9	90,2	**117,3**
1997	357,8	324,7	720,3		225,0	116,3			28,8	29,5	37,4		
média	**362,8**	**433,6**	**395,5**	**337,0**	**151,0**	**80,5**	**48,0**	**28,3**	**20,1**	**28,8**	**88,3**	**213,9**	**176,2**

Posto: **Colonha**
Código 22100000
Rio Santa Teresa
Área 8 690 km²
Série histórica de vazões médias mensais (m³/s)

ano	jan	fev	mar	abr	malo	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	média
1974									8,0	19,5	72,3	97,2	
1975	114,1	235,7	167,8	201,3	72,0	33,3	13,6	8,6	2,8	9,8	62,5	74,6	**83,0**
1976	84,1	122,9	129,7	84,7	48,2	25,1	8,4	2,8	3,0	21,3	60,4	163,7	**62,9**
1977	199,8	667,8	157,0	147,3	85,7	53,3	27,7	16,4	12,6	29,8	45,9	147,6	**132,6**
1978	458,1	529,3		413,7	156,4	93,8	61,4	34,5		29,1	43,2	135,8	
1979	515,3	736,4	484,6	224,0	103,5	62,1	35,8	20,1		33,6	72,9	120,6	
1980	372,8			290,2	122,6	71,6	44,0	23,8	15,1	22,8	95,6	410,3	
1981	693,4	261,7				83,2	47,7	27,2		33,7	168,7	156,2	
1982	539,1		383,2	232,0	104,4	63,0	33,9	20,1	21,8	31,7	49,9	47,8	
1983	209,5	598,2	366,6	311,2	130,4	42,7	21,8	12,5	10,3	21,4	53,6	287,8	
1984	146,5	96,7	122,2	124,3	56,8	24,3	12,5	6,7	6,6	9,2	17,2	36,2	**54,9**
1985	248,8		341,4	205,9	100,1	54,1	33,4	17,2	11,2	18,1	46,1	183,3	
1986	430,2	261,4	267,3	167,9	77,4	45,1	26,1	17,9	12,6			59,6	
1987	108,7	87,1	161,6	147,7	48,5		10,7	6,0	3,8	6,1	33,3	165,5	
1988	136,5	134,6	265,7	133,2	59,9	31,2	15,3		4,0	19,0	39,6	147,7	
1989	135,6	172,8	197,8	113,4	68,8	30,6	18,3	9,6					
1990							27,7						
1991										14,9	37,7	60,1	
1992				199,4	71,3	38,2							
1993	195,5	225,4	151,3	99,5	56,9		13,4	6,1	5,3	11,4	14,5	90,8	
1994	217,1	123,2	337,5	162,1	52,7	27,3	13,5	6,5	2,2	2,0	15,7	66,3	**85,5**
1995	163,8	192,7	167,1	236,2	114,7	45,5	21,0	8,8	3,3	5,5	58,7	238,6	**104,7**
1996	232,3	103,5	179,2	165,0	67,3	33,5				8,2	43,4	56,3	
1997	242,4	192,4		328,9	119,2	67,7	39,8		13,3	15,6	24,6		
média	**272,2**	**278,9**	**242,5**	**199,4**	**85,8**	**48,7**	**26,3**	**14,4**	**8,5**	**18,1**	**52,8**	**137,3**	**114,5**

Posto: **Fazenda Lobeira**
Código 22250000
Rio Manuel Alves da Natividade
Área 14462 km²
Série histórica de vazões médias mensais (m³/s)

ano	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	média
1969									26,0	34,4	100,1	328,5	
1970	687,3	328,7	822,7	276,2	106,2	59,6	39,6	28,8	26,1	79,7		114,1	
1971	105,1	168,0	183,9	293,1	105,7	59,9	36,0	27,9	24,4	57,9	219,6	344,6	**135,5**
1972	191,6	222,3	265,5	234,0	66,9	42,3	30,2	24,5	22,8	63,2	118,9	256,2	**128,2**
1973	131,7	263,2	338,1	389,8	133,4	61,5	41,9	29,7	24,1	137,8	204,5	232,7	**165,7**
1974	340,1	589,8	760,4	471,2	337,9	124,8	72,1	51,0	38,6	68,7	160,6	274,3	**274,1**
1975	284,0	502,4	540,8	296,2	111,6	62,9	48,2	35,3	27,3	50,2	127,2	210,2	**191,4**
1976	135,0	296,6	244,7	135,6	128,3	58,5	35,3	26,5	50,7	111,1	228,5	335,9	**148,9**
1977	459,9	637,4	231,2	252,8	161,8	81,8	60,3	51,0	32,1	66,6	106,7	304,5	**203,9**
1978	574,3	893,5	862,1	386,5	207,2	118,7	75,5	51,3	42,5	84,5	98,1	281,8	**306,3**
1979	741,7	1 251,6	397,0	284,4	130,6	78,6	57,2	46,1	49,2	59,0	160,4	154,0	**284,2**
1980	529,3	1.426,6	704,1	407,5	147,5	84,6	59,0	45,4	42,3	42,3	251,2	669,1	**367,4**
1981	542,1	311,7	482,0	388,1	116,0	267,7	49,2	41,1	34,6	75,0	409,9	258,4	**248,0**
1982	1 259,6	434,1	459,0	278,1	118,0	67,7	49,1	41,0	37,6	53,6	82,1	110,6	**249,2**
1983	523,9	722,2	429,2	309,9	77,7	53,8	40,9	34,9	34,3	51,2	76,1	189,8	**212,0**
1984	176,9	155,7	300,8	286,6	79,9	49,6	39,9	31,9	34,2	42,2	53,4	92,6	**112,0**
1985	499,4	328,0	282,8	259,6	125,4	62,2	44,1	36,1	33,8	92,9	186,2	486,6	**203,1**
1986	652,9	566,1	314,6	316,0	149,4	83,9	65,8	54,5	48,5	83,1	81,5	209,7	**218,8**
1987	241,7	239,4	581,6	247,3	80,5	48,4	37,7	32,6	30,3	44,0	81,4	335,8	**166,7**
1988	344,8	339,0	562,8				55,4	37,5	31,3	46,4	66,1	391,1	
1989	284,1	306,6	316,3	193,1	108,8	57,1	43,6	36,7	34,3	38,1	79,1	995,6	**207,8**
1990	403,2	267,0	349,8	151,9	95,8	54,1	42,9	34,7	38,7	43,6	51,3	112,6	**137,1**
1991	294,4	303,2	395,2	293,3		50,1	37,7	32,3	33,9	33,3	125,3	172,2	
1992	562,0	983,3	206,0	208,2							100,8	664,6	
1993	198,3	329,6	135,1	130,0	93,9	43,8	34,8	30,4	30,2	47,1	39,1	113,9	**102,2**
1994	354,4	266,9	504,7	305,8	77,3	53,5	39,0	30,9	27,1	27,5	75,4	123,8	**157,2**
1995	207,1	366,6	287,9	685,3	267,9	89,1	54,0	39,0	31,3	38,5	81,7	213,7	**196,8**
1996	199,1	127,2	228,4	200,2	85,9	47,8	35,2	29,9	26,0	36,7	157,9	119,5	**204,7**
1997	471,7	257,0	677,4	612,6	179,5	80,1	51,9	37,8	36,6	41,7	41,5	100,2	**202,0**
1998	249,5												
média	**401,6**	**460,1**	**423,7**	**307,2**	**131,7**	**74,7**	**47,3**	**37,0**	**33,9**	**58,9**	**127,3**	**282,6**	**201,7**

Posto: Porto Nacional
Código: 22350000
Rio Tocantins
Área 173 828 km²
Série histórica de vazões médias mensais (m³/s)

ano	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	média
1949	6 125,7	8 130,9	4.876,2	3 013,4	1 551,5	961,1	704,5	541,1	434,4	618,0	1.215,1	2.063,5	2.519,6
1950	1 943,6	2 232,4	3 669,4	2 612,9	1 364,8	852,3	646,0	531,7	482,3	683,2	1 494,9	1.760,0	1.522,8
1951	2.132,4	1 906,9	2.503,1	2 818,5	1.217,8	853,8	606,8	488,9	421,0	450,1	467,4	1.907,1	1.314,5
1952	1 972,8	1 784,7	5 015,8	2.424,6	1.487,0	778,1	570,0	452,5	435,8	406,8	878,5	2.848,5	1.587,9
1953	1 687,6	1.422,3	1 934,0	1 834,7	850,5	569,8	454,3	388,6	402,9	749,6	957,8	2.590,4	1.153,5
1954	2 289,9	3.988,2	1.930,1	2.255,7	887,5	589,1	460,9	386,4	347,6	326,7	598,8	2.352,5	1.367,8
1955	2 419,4	2.790,6	2.058,7	2.490,1	869,6	582,6	447,5	376,5	330,9	586,1	1.126,0	3.333,8	1.451,0
1956	3 248,7	1.724,2	4.150,9	2 033,1	1.509,1	867,0	620,2	485,4	399,9	484,3	2.817,3	5.417,1	1.979,8
1957	7.383,6	6 369,2	8 859,6	7.433,4	2.857,2	1.703,1	1.172,0	882,9	746,3	797,3	1.124,4	1.888,2	3.434,8
1958	3 017,0	7 164,7	4.930,9	5.435,4	2 381,3	1 230,7	881,5	656,2	588,3	697,9	786,1	1.557,8	2.444,0
1959	8.677,7	4.410,2	4.712,8	2 648,4	1.173,9	925,8	721,9	591,4	518,4	641,0	1.141,1	974,7	2.261,4
1960	3 433,6	5.759,8	7.562,6	4 261,3	1.764,5	1.138,6	827,7	629,7	543,5	602,8	1.133,7	2.737,7	2.533,0
1961	4 231,0	5 423,4	3.897,7	1 887,1	1.610,1	810,6	638,9	544,7	458,6	453,6	562,4	1.196,8	1.809,6
1962	2 102,8	3 000,7	3.506,7	1 709,2	1.068,8	675,2	526,8	441,6	401,1	606,6	899,8	2.928,5	1.489,0
1963	2.992,9	3.844,6	2.099,9	1.358,6	1.148,1	665,9	522,8	435,2	390,1	366,4	624,9	1.011,4	1.288,4
1964	6.408,1	7.738,5	3 692,7	2 902,4	1 495,1	906,5	675,5	532,8	442,1	734,3	2.044,0	3.194,0	2.563,8
1965	3 123,5	3.194,7	4.405,1	5 042,4	1.977,8	1.139,0	829,7	632,4	509,6	1.079,8	1.807,6	3.037,7	2.231,6
1966	3 509,1	8 028,4	6 370,2	3.759,9	1.710,4	1.119,4	831,6	664,3	581,9	804,2	969,1	1.928,4	2.523,1
1967	2.286,4	3 822,3	3 661,3	3.102,5	1 563,6	952,5	708,4	583,4	536,5	565,4	1.459,0	2.418,3	1.805,0
1968	2 268,7	4.959,8	8.431,1	2 907,1	1 590,3	1.041,0	788,4	638,7	589,3	686,9	2.615,4	5.564,7	2.673,5
1969	3.345,1	4.794,0	4.699,8	2.087,9	1 693,9	953,8	721,1	588,6	528,0	584,9	1.534,8	4.468,1	2.166,7
1970	7 684,7	5.784,4	7.019,1	3.241,6	1 760,3	1.133,7	857,7	686,4	624,3	932,5	1.804,1	1.497,3	2.752,2
1971	1 228,1	1.417,6	1.923,6	2.180,1	1.085,5	717,3	547,7	472,7	447,2	728,2	2.626,6	3.592,6	1.413,9
1972	1.918,0	2 238,9	3 006,8	2 524,1	1.151,5	811,2	634,6	536,4	480,6	810,4	1.237,7	3.898,1	1.604,0
1973	3 070,0	2.820,4	3.785,2	3.999,1	1.841,5	1.035,2	794,0	611,9	523,7	1.318,5	2.141,8	3.695,0	2.136,3
1974	2 892,1	3 435,3	6 731,5	5 837,3	3 060,3	1.539,7	1.017,2	780,4	638,9	855,7	1.435,4	2.178,7	2.633,5
1975	2 518,2	3 799,1	2 827,0	3 396,2	1.563,2	906,7	707,7	554,3	464,2	729,3	1.453,6	1.541,3	1.705,1
1976	1 417,9	2.199,1	2 840,2	1.676,7	1.176,9	735,9	568,9	482,0	512,2	876,9	1.932,2	3.126,7	1.462,1
1977	3 724,3	8 270,7	2.570,1	2.509,9	1.706,9	1.103,4	788,1	633,2	579,6	922,2	1.038,0	2.707,7	2.212,8
1978	7 610,7	7.745,7	9.635,1	4 198,1	2 442,6	1.712,9	1.240,1	926,9	766,4	1.248,0	1.163,2	2.848,4	3.461,5
1979	8 363,3	12 802,7	5 830,4	3 898,9	2 032,8	1.493,3	1.127,8	904,0	944,6	951,6	1.767,4	1.868,5	3.498,8
1980	6 409,8	16 421,3	9.083,5	4 578,5	2 418,1	1 684,2	1.328,7	1.066,1	947,3	965,4	1.868,0	5.375,1	4.345,5
1981	7.287,1	4.039,1	4.263,0	5.479,0	2.161,2	1.594,1	1.176,1	928,9	758,6	1.156,8	3.691,3	3.015,3	2.962,5
1982	10.669,4	7 500,6	6 433,5	4 737,1	2.148,4	1.547,3	1.168,1	962,6	905,6	1.038,5	1.281,6	1.280,5	3.306,1
1983	4 330,6	10 955,4	5 027,9	4.402,5	1.973,5	1.396,6	1.107,8	908,4	814,3	980,0	1.609,3	2.272,4	2.981,6
1984	2 706,8	2 078,4	2 578,6	3 389,4	1 499,8	984,8	772,0	646,2	665,0	801,6	934,7	1.376,3	1.536,1
1985	5 615,0	6 510,1	4.755,4	3.915,2	2.103,8	1.344,2	1.019,1	815,2	685,3	1.034,3	1.641,4	4.593,2	2.836,0
1986	8 046,6	5 206,7	3 996,7	3.002,0	1 853,5	1.186,9	923,0	778,4	690,8	912,6	927,3	1.405,0	2.410,8
1987	1 959,3	1 782,6	3.637,0	2 892,2	1.380,0	856,6	651,9	567,3	515,7	653,6	1.129,1	3.940,4	1.663,8
1988	3 883,8	3 724,7	7 028,3	3 479,8	1 803,5	1.204,5	884,7	706,3	591,5	817,7	1.220,5	3.840,6	2.432,1
1989	3 076,0	2 876,4	2 974,8	2 162,0	1 395,8	891,0	715,7	610,4	575,3	652,5	1.195,8	10.246,6	2.281,0
1990	8 988,7	4 289,0	4 909,9	2 797,0	1.667,5	952,9	844,6	764,9	825,8	789,0	1.000,4	1.444,2	2.439,5
1991	3 165,9	3 633,4	4 879,5	4.860,3	1.916,3	1.223,3	928,6	758,0	671,6	755,2	1.206,3	1.790,9	2.149,1
1992	4 824,0	12.408,2	2.431,2	2.452,0	1 964,5	1 267,0	979,7	826,3	817,4	1.011,4	2.069,7	6.130,0	3.098,4
1993	4 375,9	3 639,5	1.740,4	1.690,4	1.339,0	1 024,7	810,3	698,2	656,8	810,7	739,3	6.132,6	1.971,5
1994	4.149,0	2.874,3	6.289,1	4 158,4	1.647,5	1.150,3	901,4	703,7	573,8	559,0	1.159,8	1.862,1	2.169,0
1995	2 662,1	3 976,0	2 836,5	4.394,3	2.643,0	1.320,5	951,5	806,6	732,1	801,4	1.221,0	2.506,3	2.070,9
1996	2 363,7	1 662,8	2.649,5	2.374,0	1.261,4	1.320,5	769,5	558,3	496,9	648,2	897,9	1.049,3	1.337,7
1997	2 870,2	2.095,2	5.251,3	4.910,2	2.172,7	1.205,0	671,5	513,2	473,8	514,0	616,0	1.099,8	1.866,1
1998	1.443,2												
média	4.077,1	4.871,0	4.487,8	3.329,7	1.692,7	1.074,7	800,9	646,5	581,0	759,2	1.372,8	2.887,6	2.218,2

Posto: **Paranã**
Código 01247003
Série histórica de totais precipitados mensais (mm)

ano	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
1948													
1949	215,7	246,4	133,6	149,4	17,0	0,0	0,0	0,0	1,0	216,2	250,3	98,9	**1328,5**
1950	277,0	95,5	209,2	78,6	0,0	0,0	0,0	0,0	34,3	126,3	160,1	141,0	**1122,0**
1951	54,0	132,4	162,7	41,0	46,4	0,0	0,0	0,0	0,0	34,8	35,7	257,7	**764,7**
1952	203,7	277,5	177,1	63,5	0,0	0,0	0,0	0,0	11,0	26,2	96,4	299,1	**1154,5**
1953	46,7	177,8	152,4	29,3	0,0	0,0	0,0	0,0	13,0	118,2	71,5	200,1	**809,0**
1954	152,7	207,4	141,8	33,7	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	25,4	126,0	196,1	**887,3**
1955	251,4	123,8	100,8	99,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	112,6	132,7	218,7	**1039,5**
1956	91,5	225,5	87,6	89,2	2,0	0,0	5,8	0,0	12,0	145,7	493,1	277,6	**1430,0**
1957	169,2	386,6	182,7	164,0	9,6	0,0	0,0	0,0	26,6	23,0	191,1	117,4	**1270,2**
1958	349,0	208,8	99,5	105,2	0,0	0,0	12,4	0,0	151,7	156,0	168,8	273,0	**1524,4**
1959	389,3	39,3	192,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	63,8	45,0	187,6	53,0	**970,7**
1960	189,4	192,9	327,2	30,2	0,0	0,0	0,0	0,0	65,0	16,9	63,8	316,3	**1201,7**
1961	271,7	208,9	112,3	15,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	48,6	107,9	193,8	**960,5**
1962	158,4	16,0	123,0	140,5	0,0	0,0	0,0	0,0	16,4	103,6	253,0	399,6	**1210,5**
1963	92,8	231,6	89,8	64,9	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	13,9	32,1	109,8	**636,9**
1964	698,7	181,4	79,7	116,0	36,0	0,0	0,0	0,0	10,0	171,4	309,6	147,8	**1750,6**
1965	86,9	95,5	131,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	123,0	102,5	80,8	**627,5**
1966	214,8	354,1	227,7	70,7	0,0	0,0	0,0	0,0	15,7	63,7	50,9	174,7	**1172,3**
1967	67,1	103,3	76,6	50,4	0,0	0,0	0,0	0,0	45,0	105,4	256,8	216,0	**920,6**
1968	108,8	331,6	262,4	131,6	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	93,7	592,2	157,3	**1685,6**
1969	169,9	229,8	0,0	0,0	21,0	0,0	0,0	9,3	0,0	48,0	270,9	416,5	**1165,4**
1970	314,5	163,5	106,2	119,5	0,0	0,0	0,0	0,0	56,6	122,0	285,6	59,4	**1227,3**
1971	125,8	86,9	285,0	199,5	8,0	3,5	0,0	2,0	21,5	194,5	278,0	236,0	**1440,7**
1972	118,0	187,5	131,0	99,5	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	143,5	170,5	280,0	**1145,0**
1973	174,5	240,0	309,0	122,0	0,0	7,5	0,0	0,5	0,0	251,1	108,4	213,2	**1426,2**
1974	215,6	105,5	292,6	103,0	54,0	0,0	0,0	0,0	0,0	152,0	169,5	311,6	**1403,8**
1975	177,0	173,9	163,5	198,6	0,0	0,0	14,0	0,0	15,8	150,4	282,3	108,0	**1283,5**
1976	152,4	253,3	129,8	106,1	110,7	0,0	0,0	0,0	109,8	132,2	280,5	262,2	**1537,0**
1977	319,1	232,3	146,9	96,5	51,9	11,4	0,0	17,3	49,1	144,3	131,1	279,1	**1479,2**
1978	276,0	253,0	273,2	157,0	34,3	0,6	23,8	0,0	8,7	143,5	178,5	197,2	**1546,0**
1979	383,0	338,7	169,7	63,9	3,8	0,0	0,0	52,9	32,6	69,1	149,7	176,2	**1439,6**
1980	351,3	461,6	93,9	154,6	19,4	0,5	0,0	0,0	55,4	39,8	267,8	380,8	**1825,1**
1981	306,0	38,1	260,7	87,7	3,9	13,3	0,0	1,7	1,0	182,5	251,2	182,0	**1328,1**
1982	396,7	147,2	176,5	71,2	7,2	0,0	0,0	22,4	83,6	111,9	101,2	168,6	**1286,4**
1983	412,0	177,6	184,4	78,7	8,0	0,0	0,0	0,0	19,4	100,7	158,7	234,5	**1374,0**
1984	165,4	52,1	215,2	137,9	21,5	0,0	0,0	10,8	34,4	164,8	145,0	203,4	**1150,5**
1985	376,7	161,1	207,4	120,4	21,4	0,0	0,0	0,4	20,2	195,0	123,8	385,1	**1611,5**
1986	135,4	146,0	198,3	83,8	18,0	0,0	2,1	39,5	27,3	111,1	65,1	144,2	**970,9**
1987	118,2	89,2	284,3	67,4	4,5	0,0	0,0	0,0	39,0	106,1	170,0	248,4	**1127,0**
1988	131,3	232,9	255,7	75,4	1,8	4,0	0,0	0,0	43,4	194,3	105,7	177,3	**1221,9**
1989	202,1	166,8	241,9	78,1	51,0	6,7	8,1	10,9	31,1	131,7	294,1	607,5	**1830,0**
1990	124,2	172,0	119,6	57,0	52,7	0,0	15,4	11,7	36,6	68,0	159,7	147,6	**964,5**
1991	327,7	213,4	301,6	68,1	0,0	0,0	0,0	0,0	20,9	69,5	139,2	182,6	**1323,0**
1992	404,9	256,5	162,5	51,8	0,5	0,0	0,0	0,0	44,4	210,5	249,9	420,0	**1801,1**
1993	89,9	212,2	115,0	74,0	37,6	0,0	0,0	2,7	26,5	57,7	118,9	230,3	**964,8**
1994	261,5	142,4	214,4	100,6	1,1	4,5	1,0	0,0	5,8	31,9	133,8	199,7	**1096,8**
1995	181,1	239,1	210,7	215,9	71,1	1,9	0,0	0,0	0,8	116,9	219,5	293,9	**1550,7**
1996	182,1	98,9	206,7	79,0	18,1	0,0	0,0	0,0	27,3	106,6	167,9	123,0	**1009,5**
1997	346,2	133,4	407,7	107,9	10,9	4,7	0,0	0,0	23,2	68,2	112,6	192,0	**1406,8**
média	**225,0**	**188,6**	**182,3**	**90,8**	**15,3**	**1,2**	**1,7**	**3,7**	**27,1**	**109,9**	**183,1**	**224,3**	**1253,1**

Anexo 2

Séries de vazões médias mensais obtidas para os diferentes cenários para o local do estudo de caso

Série: Área

Série de vazões médias mensais (m³/s) obtida para o Cenário 1 por relação entre áreas de drenagem

ano	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	média
1949	486,7	646,0	387,4	239,4	123,3	76,4	56,0	43,0	34,5	49,1	96,5	164,0	**200,2**
1950	154,4	177,4	291,5	207,6	108,4	67,7	51,3	42,2	38,3	54,3	118,8	139,8	**121,0**
1951	169,4	151,5	198,9	223,9	96,8	67,8	48,2	38,8	33,4	35,8	37,1	151,5	**104,4**
1952	156,7	141,8	398,5	192,6	118,1	61,8	45,3	35,9	34,6	32,3	69,8	226,3	**126,2**
1953	134,1	113,0	153,7	145,8	67,6	45,3	36,1	30,9	32,0	59,6	76,1	205,8	**91,7**
1954	181,9	316,9	153,4	179,2	70,5	46,8	36,6	30,7	27,6	26,0	47,6	186,9	**108,7**
1955	192,2	221,7	163,6	197,8	69,1	46,3	35,6	29,9	26,3	46,6	89,5	264,9	**115,3**
1956	258,1	137,0	329,8	161,5	119,9	68,9	49,3	38,6	31,8	38,5	223,8	430,4	**157,3**
1957	586,6	506,0	703,9	590,6	227,0	135,3	93,1	70,1	59,3	63,3	89,3	150,0	**272,9**
1958	239,7	569,3	391,8	431,9	189,2	97,8	70,0	52,1	46,7	55,4	62,5	123,8	**194,2**
1959	689,5	350,4	374,4	210,4	93,3	73,6	57,4	47,0	41,2	50,9	90,7	77,4	**179,7**
1960	272,8	457,6	600,9	338,6	140,2	90,5	65,8	50,0	43,2	47,9	90,1	217,5	**201,2**
1961	336,2	430,9	309,7	149,9	127,9	64,4	50,8	43,3	36,4	36,0	44,7	95,1	**143,8**
1962	167,1	238,4	278,6	135,8	84,9	53,6	41,9	35,1	31,9	48,2	71,5	232,7	**118,3**
1963	237,8	305,5	166,8	107,9	91,2	52,9	41,5	34,6	31,0	29,1	49,6	80,4	**102,4**
1964	509,1	614,8	293,4	230,6	118,8	72,0	53,7	42,3	35,1	58,3	162,4	253,8	**203,7**
1965	248,2	253,8	350,0	400,6	157,1	90,5	65,9	50,2	40,5	85,8	143,6	241,4	**177,3**
1966	278,8	637,9	506,1	298,7	135,9	88,9	66,1	52,8	46,2	63,9	77,0	153,2	**200,5**
1967	181,7	303,7	290,9	246,5	124,2	75,7	56,3	46,3	42,6	44,9	115,9	192,1	**143,4**
1968	180,3	394,1	669,9	231,0	126,4	82,7	62,6	50,7	46,8	54,6	207,8	442,1	**212,4**
1969	265,8	380,9	373,4	165,9	134,6	75,8	57,3	46,8	42,0	46,5	121,9	355,0	**172,1**
1970	610,6	459,6	557,7	257,5	139,9	90,1	68,1	54,5	49,6	74,1	143,3	119,0	**218,7**
1971	97,6	112,6	152,8	173,2	86,2	57,0	43,5	37,6	35,5	57,9	208,7	285,4	**112,3**
1972	152,4	177,9	238,9	200,5	91,5	64,5	50,4	42,6	38,2	64,4	98,3	309,7	**127,4**
1973	243,9	224,1	300,7	317,7	146,3	82,2	63,1	48,6	41,6	104,8	170,2	293,6	**169,7**
1974	229,8	272,9	534,8	463,8	243,1	122,3	80,8	62,0	50,8	68,0	114,0	173,1	**201,3**
1975	200,1	301,8	224,6	269,8	124,2	72,0	56,2	44,0	36,9	57,9	115,5	122,5	**135,5**
1976	112,7	174,7	225,7	133,2	93,5	58,5	45,2	38,3	40,7	69,7	153,5	248,4	**116,2**
1977	295,9	657,1	204,2	199,4	135,6	87,7	62,6	50,3	46,1	73,3	82,5	215,1	**175,8**
1978	604,7	615,4	765,5	333,5	194,1	136,1	98,5	73,6	60,9	99,2	92,4	226,3	**275,0**
1979	664,5	1 017,2	463,2	309,8	161,5	118,6	89,6	71,8	75,1	75,6	140,4	148,5	**278,0**
1980	509,3	1 304,7	721,7	363,8	192,1	133,8	105,6	84,7	75,3	76,7	148,4	427,1	**345,3**
1981	579,0	320,9	338,7	435,3	171,7	126,7	93,4	73,8	60,3	91,9	293,3	239,6	**235,4**
1982	847,7	595,9	511,2	376,4	170,7	122,9	92,8	76,5	71,9	82,5	101,8	101,7	**262,7**
1983	344,1	870,4	399,5	349,8	156,8	111,0	88,0	72,2	64,7	77,9	127,9	180,5	**236,9**
1984	215,1	165,1	204,9	269,3	119,2	78,2	61,3	51,3	52,8	63,7	74,3	109,4	**122,0**
1985	446,1	517,2	377,8	311,1	167,1	106,8	81,0	64,8	54,5	82,2	130,4	364,9	**225,3**
1986	639,3	413,7	317,5	238,5	147,3	94,3	73,3	61,8	54,9	72,5	73,7	111,6	**191,5**
1987	155,7	141,6	289,0	229,8	109,6	68,1	51,8	45,1	41,0	51,9	89,7	313,1	**132,2**
1988	308,6	295,9	558,4	276,5	143,3	95,7	70,3	56,1	47,0	65,0	97,0	305,1	**193,2**
1989	244,4	228,5	236,4	171,8	110,9	70,8	56,9	48,5	45,7	51,8	95,0	814,1	**181,2**
1990	714,2	340,8	390,1	222,2	132,5	75,7	67,1	60,8	65,6	62,7	79,5	114,7	**193,8**
1991	251,5	288,7	387,7	386,2	152,3	97,2	73,8	60,2	53,4	60,0	95,8	142,3	**170,8**
1992	383,3	985,9	193,2	194,8	156,1	100,7	77,8	65,6	64,9	80,4	164,4	487,0	**246,2**
1993	347,7	289,2	138,3	134,3	106,4	81,4	64,4	55,5	52,2	64,4	58,7	487,3	**156,6**
1994	329,6	228,4	499,7	330,4	130,9	91,4	71,6	55,9	45,6	44,4	92,2	147,9	**172,3**
1995	211,5	315,9	225,4	349,1	210,0	104,9	75,6	64,1	58,2	63,7	97,0	199,1	**164,5**
1996	187,8	132,1	210,5	188,6	100,2	104,9	61,1	44,4	39,5	51,5	71,3	83,4	**106,3**
1997	228,0	166,5	417,2	390,1	172,6	95,7	53,4	40,8	37,6	40,8	48,9	87,4	**148,3**
1998	114,7												
média	**323,9**	**387,0**	**356,6**	**264,6**	**134,5**	**85,4**	**63,6**	**51,4**	**46,2**	**60,3**	**109,1**	**229,4**	**176,2**

Série: VMLT-Col

Série de vazões médias mensais (m³/s) obtida para o Cenário 3 por relação entre vazões médias de longo termo

ano	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	média
1949	486,7	646,1	387,5	239,4	123,3	76,4	56,0	43,0	34,5	49,1	96,5	164,0	**200,2**
1950	154,4	177,4	291,6	207,6	108,4	67,7	51,3	42,2	38,3	54,3	118,8	139,8	**121,0**
1951	169,4	151,5	198,9	224,0	96,8	67,8	48,2	38,8	33,4	35,8	37,1	151,5	**104,4**
1952	156,8	141,8	398,5	192,7	118,2	61,8	45,3	36,0	34,6	32,3	69,8	226,3	**126,2**
1953	134,1	113,0	153,7	145,8	67,6	45,3	36,1	30,9	32,0	59,6	76,1	205,8	**91,7**
1954	182,0	316,9	153,4	179,2	70,5	46,8	36,6	30,7	27,6	26,0	47,6	186,9	**108,7**
1955	192,2	221,7	163,6	197,9	69,1	46,3	35,6	29,9	26,3	46,6	89,5	264,9	**115,3**
1956	258,1	137,0	329,8	161,5	119,9	68,9	49,3	38,6	31,8	38,5	223,9	430,4	**157,3**
1957	586,7	506,1	704,0	590,6	227,0	135,3	93,1	70,2	59,3	63,4	89,3	150,0	**272,9**
1958	239,7	569,3	391,8	431,9	189,2	97,8	70,0	52,1	46,7	55,5	62,5	123,8	**194,2**
1959	689,5	350,4	374,5	210,4	93,3	73,6	57,4	47,0	41,2	50,9	90,7	77,5	**179,7**
1960	272,8	457,7	600,9	338,6	140,2	90,5	65,8	50,0	43,2	47,9	90,1	217,5	**201,3**
1961	336,2	430,9	309,7	150,0	127,9	64,4	50,8	43,3	36,4	36,0	44,7	95,1	**143,8**
1962	167,1	238,4	278,6	135,8	84,9	53,6	41,9	35,1	31,9	48,2	71,5	232,7	**118,3**
1963	237,8	305,5	166,9	108,0	91,2	52,9	41,5	34,6	31,0	29,1	49,7	80,4	**102,4**
1964	509,2	614,9	293,4	230,6	118,8	72,0	53,7	42,3	35,1	58,3	162,4	253,8	**203,7**
1965	248,2	253,8	350,0	400,7	157,2	90,5	65,9	50,2	40,5	85,8	143,6	241,4	**177,3**
1966	278,8	637,9	506,2	298,8	135,9	88,9	66,1	52,8	46,2	63,9	77,0	153,2	**200,5**
1967	181,7	303,7	290,9	246,5	124,2	75,7	56,3	46,4	42,6	44,9	115,9	192,2	**143,4**
1968	180,3	394,1	669,9	231,0	126,4	82,7	62,6	50,7	46,8	54,6	207,8	442,2	**212,4**
1969	265,8	380,9	373,4	165,9	134,6	75,8	57,3	46,8	42,0	46,5	122,0	355,0	**172,2**
1970	610,6	459,6	557,7	257,6	139,9	90,1	68,1	54,5	49,6	74,1	143,4	119,0	**218,7**
1971	97,6	112,6	152,8	173,2	86,3	57,0	43,5	37,6	35,5	57,9	208,7	285,5	**112,3**
1972	152,4	177,9	238,9	200,6	91,5	64,5	50,4	42,6	38,2	64,4	98,3	309,7	**127,5**
1973	243,9	224,1	300,8	317,8	146,3	82,3	63,1	48,6	41,6	104,8	170,2	293,6	**169,8**
1974	229,8	273,0	534,9	463,8	243,2	122,3	80,8	62,0	50,8	68,0	114,1	173,1	**201,3**
1975	200,1	301,9	224,6	269,9	124,2	72,0	56,2	44,0	36,9	57,9	115,5	122,5	**135,5**
1976	112,7	174,7	225,7	133,2	93,5	58,5	45,2	38,3	40,7	69,7	153,5	248,4	**116,2**
1977	295,9	657,2	204,2	199,4	135,6	87,7	62,6	50,3	46,1	73,3	82,5	215,2	**175,8**
1978	604,7	615,5	765,6	333,6	194,1	136,1	98,5	73,6	60,9	99,2	92,4	226,3	**275,0**
1979	664,5	1.017,3	463,3	309,8	161,5	118,7	89,6	71,8	75,1	75,6	140,4	148,5	**278,0**
1980	509,3	1.304,8	721,8	363,8	192,1	133,8	105,6	84,7	75,3	76,7	148,4	427,1	**345,3**
1981	579,0	320,9	338,7	435,4	171,7	126,7	93,4	73,8	60,3	91,9	293,3	239,6	**235,4**
1982	847,8	596,0	511,2	376,4	170,7	122,9	92,8	76,5	72,0	82,5	101,8	101,8	**262,7**
1983	344,1	870,5	399,5	349,8	156,8	111,0	88,0	72,2	64,7	77,9	127,9	180,6	**236,9**
1984	215,1	165,1	204,9	269,3	119,2	78,3	61,3	51,3	52,8	63,7	74,3	109,4	**122,1**
1985	446,2	517,3	377,9	311,1	167,2	106,8	81,0	64,8	54,5	82,2	130,4	365,0	**225,3**
1986	639,4	413,7	317,6	238,5	147,3	94,3	73,3	61,8	54,9	72,5	73,7	111,6	**191,6**
1987	155,7	141,6	289,0	229,8	109,7	68,1	51,8	45,1	41,0	51,9	89,7	313,1	**132,2**
1988	308,6	296,0	558,5	276,5	143,3	95,7	70,3	56,1	47,0	65,0	97,0	305,2	**193,3**
1989	244,4	228,6	236,4	171,8	110,9	70,8	56,9	48,5	45,7	51,8	95,0	814,2	**181,2**
1990	714,2	340,8	390,1	222,2	132,5	75,7	67,1	60,8	65,6	62,7	79,5	114,8	**193,8**
1991	251,6	288,7	387,7	386,2	152,3	97,2	73,8	60,2	53,4	60,0	95,9	142,3	**170,8**
1992	383,3	985,9	193,2	194,8	156,1	100,7	77,8	65,7	65,0	80,4	164,5	487,1	**246,2**
1993	347,7	289,2	138,3	134,3	106,4	81,4	64,4	55,5	52,2	64,4	58,7	487,3	**156,7**
1994	329,7	228,4	499,7	330,4	130,9	91,4	71,6	55,9	45,6	44,4	92,2	148,0	**172,3**
1995	211,5	315,9	225,4	349,2	210,0	104,9	75,6	64,1	58,2	63,7	97,0	199,1	**164,6**
1996	187,8	132,1	210,5	188,6	100,2	104,9	61,1	44,4	39,5	51,5	71,3	83,4	**106,3**
1997	228,1	166,5	417,3	390,2	172,6	95,8	53,4	40,8	37,6	40,8	48,9	87,4	**148,3**
1998	114,7												
média	**324,0**	**387,0**	**356,6**	**264,6**	**134,5**	**85,4**	**63,6**	**51,4**	**46,2**	**60,3**	**109,1**	**229,4**	**176,3**

Série: VMLT-FazLob

Série de vazões médias mensais (m³/s) obtida para o Cenário 4 por relação entre vazões médias de longo termo

ano	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	média
1949	487,0	646,4	387,7	239,6	123,4	76,4	56,0	43,0	34,5	49,1	96,6	164,1	**200,3**
1950	154,5	177,5	291,7	207,7	108,5	67,8	51,4	42,3	38,3	54,3	118,8	139,9	**121,1**
1951	169,5	151,6	199,0	224,1	96,8	67,9	48,2	38,9	33,5	35,8	37,2	151,6	**104,5**
1952	156,8	141,9	398,8	192,8	118,2	61,9	45,3	36,0	34,6	32,3	69,8	226,5	**126,2**
1953	134,2	113,1	153,8	145,9	67,6	45,3	36,1	30,9	32,0	59,6	76,1	205,9	**91,7**
1954	182,1	317,1	153,4	179,3	70,6	46,8	36,6	30,7	27,6	26,0	47,6	187,0	**108,7**
1955	192,4	221,9	163,7	198,0	69,1	46,3	35,6	29,9	26,3	46,6	89,5	265,0	**115,4**
1956	258,3	137,1	330,0	161,6	120,0	68,9	49,3	38,6	31,8	38,5	224,0	430,7	**157,4**
1957	587,0	506,4	704,4	591,0	227,2	135,4	93,2	70,2	59,3	63,4	89,4	150,1	**273,1**
1958	239,9	569,6	392,0	432,1	189,3	97,8	70,1	52,2	46,8	55,5	62,5	123,9	**194,3**
1959	689,9	350,6	374,7	210,6	93,3	73,6	57,4	47,0	41,2	51,0	90,7	77,5	**179,8**
1960	273,0	457,9	601,2	338,8	140,3	90,5	65,8	50,1	43,2	47,9	90,1	217,7	**201,4**
1961	336,4	431,2	309,9	150,0	128,0	64,4	50,8	43,3	36,5	36,1	44,7	95,2	**143,9**
1962	167,2	238,6	278,8	135,9	85,0	53,7	41,9	35,1	31,9	48,2	71,5	232,8	**118,4**
1963	237,9	305,7	166,9	108,0	91,3	52,9	41,6	34,6	31,0	29,1	49,7	80,4	**102,4**
1964	509,5	615,2	293,6	230,7	118,9	72,1	53,7	42,4	35,1	58,4	162,5	253,9	**203,8**
1965	248,3	254,0	350,2	400,9	157,2	90,6	66,0	50,3	40,5	85,8	143,7	241,5	**177,4**
1966	279,0	638,3	506,5	298,9	136,0	89,0	66,1	52,8	46,3	63,9	77,0	153,3	**200,6**
1967	181,8	303,9	291,1	246,7	124,3	75,7	56,3	46,4	42,7	45,0	116,0	192,3	**143,5**
1968	180,4	394,3	670,3	231,1	126,4	82,8	62,7	50,8	46,9	54,6	207,9	442,4	**212,5**
1969	265,9	381,1	373,6	166,0	134,7	75,8	57,3	46,8	42,0	46,5	122,0	355,2	**172,3**
1970	611,0	459,9	558,0	257,7	140,0	90,1	68,2	54,6	49,6	74,1	143,4	119,0	**218,8**
1971	97,6	112,7	152,9	173,3	86,3	57,0	43,5	37,6	35,6	57,9	208,8	285,6	**112,4**
1972	152,5	178,0	239,0	200,7	91,5	64,5	50,5	42,6	38,2	64,4	98,4	309,9	**127,5**
1973	244,1	224,2	300,9	317,9	146,4	82,3	63,1	48,6	41,6	104,8	170,3	293,8	**169,8**
1974	229,9	273,1	535,2	464,1	243,3	122,4	80,9	62,0	50,8	68,0	114,1	173,2	**201,4**
1975	200,2	302,0	224,8	270,0	124,3	72,1	56,3	44,1	36,9	58,0	115,6	122,5	**135,6**
1976	112,7	174,8	225,8	133,3	93,6	58,5	45,2	38,3	40,7	69,7	153,6	248,6	**116,2**
1977	296,1	657,5	204,3	199,5	135,7	87,7	62,7	50,3	46,1	73,3	82,5	215,3	**175,9**
1978	605,1	615,8	766,0	333,8	194,2	136,2	98,6	73,7	60,9	99,2	92,5	226,5	**275,2**
1979	664,9	1 017,8	463,5	310,0	161,6	118,7	89,7	71,9	75,1	75,7	140,5	148,6	**278,2**
1980	509,6	1.305,5	722,2	364,0	192,2	133,9	105,6	84,8	75,3	76,8	148,5	427,3	**345,5**
1981	579,3	321,1	338,9	435,6	171,8	126,7	93,5	73,8	60,3	92,0	293,5	239,7	**235,5**
1982	848,2	596,3	511,5	376,6	170,8	123,0	92,9	76,5	72,0	82,6	101,9	101,8	**262,8**
1983	344,3	871,0	399,7	350,0	156,9	111,0	88,1	72,2	64,7	77,9	127,9	180,7	**237,0**
1984	215,2	165,2	205,0	269,5	119,2	78,3	61,4	51,4	52,9	63,7	74,3	109,4	**122,1**
1985	446,4	517,6	378,1	311,3	167,3	106,9	81,0	64,8	54,5	82,2	130,5	365,2	**225,5**
1986	639,7	413,9	317,7	238,7	147,4	94,4	73,4	61,9	54,9	72,6	73,7	111,7	**191,7**
1987	155,8	141,7	289,2	229,9	109,7	68,1	51,8	45,1	41,0	52,0	89,8	313,3	**132,3**
1988	308,8	296,1	558,8	276,7	143,4	95,8	70,3	56,2	47,0	65,0	97,0	305,3	**193,4**
1989	244,5	228,7	236,5	171,9	111,0	70,8	56,9	48,5	45,7	51,9	95,1	814,6	**181,3**
1990	714,6	341,0	390,4	222,4	132,6	75,8	67,1	60,8	65,6	62,7	79,5	114,8	**193,9**
1991	251,7	288,9	387,9	386,4	152,3	97,3	73,8	60,3	53,4	60,0	95,9	142,4	**170,9**
1992	383,5	986,5	193,3	194,9	156,2	100,7	77,9	65,7	65,0	80,4	164,5	487,4	**246,3**
1993	347,9	289,4	138,4	134,4	106,5	81,5	64,4	55,5	52,2	64,5	58,8	487,6	**156,7**
1994	329,9	228,5	500,0	330,6	131,0	91,5	71,7	55,9	45,6	44,4	92,2	148,0	**172,4**
1995	211,6	316,1	225,5	349,4	210,1	105,0	75,6	64,1	58,2	63,7	97,1	199,3	**164,6**
1996	187,9	132,2	210,6	188,7	100,3	105,0	61,2	44,4	39,5	51,5	71,4	83,4	**106,3**
1997	228,2	166,6	417,5	390,4	172,7	95,8	53,4	40,8	37,7	40,9	49,0	87,4	**148,4**
1998	114,7												
média	**324,1**	**387,3**	**356,8**	**264,7**	**134,6**	**85,4**	**63,7**	**51,4**	**46,2**	**60,4**	**109,1**	**229,6**	**176,4**

Série: Correl-Jac

Série de vazões médias mensais (m^3/s) obtida para o Cenário 2 por correlação entre vazões médias mensais

ano	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	média
1949	516,8	671,4	405,5	232,5	105,2	48,9	22,9	7,3	3,4	13,9	74,0	147,8	**187,5**
1950	137,6	162,4	293,2	196,1	88,3	38,0	16,8	6,8	4,8	20,7	100,6	122,2	**99,0**
1951	153,7	134,5	186,3	214,7	74,2	38,1	12,7	5,1	3,0	3,8	4,3	134,5	**80,4**
1952	140,1	124,3	418,3	179,3	99,9	30,4	8,9	3,9	3,4	2,7	40,6	217,4	**105,8**
1953	116,2	93,8	136,8	128,4	37,8	8,7	3,9	2,3	2,6	27,5	48,6	194,1	**66,7**
1954	167,4	323,0	136,5	164,5	41,5	10,9	4,1	2,3	1,7	1,4	11,9	172,9	**86,5**
1955	178,9	212,1	147,4	185,1	39,7	10,2	3,7	2,1	1,5	10,6	65,3	262,0	**93,2**
1956	254,1	119,3	338,2	145,2	101,8	39,5	14,1	4,9	2,6	4,9	214,6	454,7	**141,2**
1957	618,0	537,4	718,0	621,8	218,2	117,5	69,8	41,1	27,2	32,4	65,1	132,9	**266,6**
1958	232,8	601,4	410,6	456,3	175,5	75,5	40,9	17,9	10,8	22,2	31,2	105,7	**181,7**
1959	706,9	362,4	390,5	199,3	70,0	45,4	24,7	11,1	6,2	16,3	66,7	50,3	**162,5**
1960	271,3	485,1	631,3	348,5	122,6	66,5	35,5	15,1	7,4	12,3	66,0	207,3	**189,1**
1961	345,7	455,2	314,6	132,8	109,9	33,7	16,1	7,4	4,1	3,9	8,3	72,2	**125,3**
1962	151,2	231,3	278,1	118,0	59,6	19,8	6,6	3,6	2,6	12,7	42,8	224,7	**95,9**
1963	230,6	309,6	151,0	87,8	67,4	18,9	6,4	3,4	2,4	2,0	14,6	54,0	**79,0**
1964	540,6	644,1	295,4	222,3	100,7	43,5	19,9	6,9	3,6	25,9	146,2	249,1	**191,5**
1965	242,6	249,1	361,9	420,8	140,5	66,5	35,7	15,4	5,9	60,7	126,2	234,7	**163,3**
1966	278,3	664,4	537,4	301,7	118,1	64,6	35,9	18,7	10,1	33,1	49,7	136,3	**187,4**
1967	167,1	307,5	292,5	240,6	106,1	48,1	23,3	10,3	7,0	8,5	97,3	178,8	**123,9**
1968	165,6	413,2	691,3	222,7	108,3	56,9	31,5	16,1	10,9	21,1	196,3	467,8	**200,1**
1969	263,1	398,0	389,3	149,9	116,8	48,2	24,6	10,8	6,7	10,5	103,8	367,8	**157,4**
1970	640,2	487,2	590,1	253,5	122,2	66,0	38,5	21,0	14,6	46,1	125,9	100,9	**208,8**
1971	75,2	93,4	135,9	157,9	61,3	24,2	7,6	4,5	3,7	25,3	197,3	317,5	**92,0**
1972	133,3	173,8	228,1	215,4	81,6	37,3	17,7	9,1	4,6	17,3	56,3	187,9	**96,9**
1973	260,4	155,4	257,7	264,5	102,8	45,8	24,3	10,9	4,5	18,2	124,7	282,7	**129,3**
1974	186,9	230,1	477,2	619,1	239,8	105,6	60,7	34,9	20,3	31,0	101,4	147,8	**187,9**
1975	153,3	306,8	282,9	301,3	110,9	56,4	31,8	15,6	6,7	16,8	86,2	100,4	**122,4**
1976	103,4	156,6	198,0	122,3	68,7	33,6	14,2	5,5	6,3	30,1	118,1	229,0	**90,5**
1977	231,7	736,3	253,3	234,3	133,5	89,3	56,9	23,1	17,7	58,5	63,3	172,9	**172,6**
1978	579,0	609,1	822,3	589,0	251,6	134,2	102,5	65,7	38,7	51,6	70,3	193,0	**292,3**
1979	509,7	818,0	636,9	366,1	159,6	97,8	62,5	41,6	52,5	58,0	103,4	150,9	**254,8**
1980	463,7	855,4	745,2	390,7	181,5	107,2	75,2	48,2	34,0	38,7	114,6	460,8	**292,9**
1981	811,5	467,3	407,0	635,9	195,5	121,8	82,8	53,6	28,4	51,7	216,7	208,1	**273,4**
1982	664,4	684,9	646,8	452,1	178,6	101,1	64,2	42,8	43,2	51,0	65,6	62,8	**254,8**
1983	220,0	749,3	467,2	406,1	177,5	72,4	34,1	19,9	17,7	31,5	77,2	315,8	**216,7**
1984	229,1	160,0	180,8	215,1	96,5	41,7	20,1	10,1	7,9	13,5	22,4	56,3	**87,8**
1985	254,2	687,1	538,1	313,3	154,9	84,3	49,4	28,0	15,0	26,2	66,8	379,4	**216,4**
1986	599,8	310,8	317,2	211,5	174,0	147,1	115,3	87,6	74,6	44,1	45,6	157,8	**190,4**
1987	138,9	124,1	187,1	175,0	76,3	36,6	16,5	6,6	2,5	6,4	11,7	197,3	**81,6**
1988	313,3	298,4	590,8	275,6	125,8	72,9	30,1	23,1	6,4	34,5	225,8	421,5	**201,5**
1989	209,6	219,9	297,9	286,8	122,1	55,6	32,2	18,2	11,3	16,9	168,3	790,7	**185,8**
1990	725,6	351,1	408,6	212,7	114,6	48,1	49,3	26,2	23,9	19,3	83,1	244,4	**192,3**
1991	583,5	289,9	156,2	404,1	135,3	74,8	45,7	28,4	19,5	28,1	73,1	195,6	**169,5**
1992	400,7	863,7	179,9	181,7	139,4	79,0	50,8	35,3	34,4	54,0	148,4	517,1	**223,7**
1993	359,2	290,4	120,6	116,5	85,9	55,3	33,7	22,2	11,0	15,7	26,6	222,0	**113,3**
1994	338,1	219,7	530,6	338,9	113,0	67,7	42,9	15,1	9,3	8,1	68,6	130,7	**156,9**
1995	200,5	221,7	223,9	335,1	175,3	72,0	37,2	17,8	7,9	8,3	48,5	292,2	**136,7**
1996	341,4	156,9	261,7	269,5	113,6	53,9	31,8	13,6	6,2	13,9	54,9	90,2	**117,3**
1997	357,8	324,7	720,3	408,7	225,0	116,3	19,5	6,0	28,8	29,5	37,4	62,7	**194,7**
1998	95,8												
média	**321,2**	**378,4**	**375,2**	**280,0**	**122,8**	**61,8**	**34,8**	**19,3**	**13,9**	**24,3**	**85,2**	**221,9**	**161,9**

Série: Correl-Col

Série de vazões médias mensais (m³/s) obtida para o Cenário 3 por correlação entre vazões médias mensais

ano	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	média
1949	577,2	813,6	424,8	241,9	107,0	43,8	20,4	9,2	4,3	14,0	70,4	160,3	**207,2**
1950	148,3	176,5	290,7	210,4	86,7	33,2	16,0	8,7	6,2	18,8	100,9	129,3	**102,1**
1951	167,0	144,5	201,0	227,1	70,7	33,4	13,3	6,5	3,8	4,8	5,6	144,6	**85,2**
1952	151,2	131,9	441,4	194,1	100,0	26,5	10,9	4,9	4,3	3,4	35,7	229,4	**111,1**
1953	121,6	92,9	147,3	137,1	33,1	10,9	5,0	2,9	3,2	24,1	43,4	208,5	**69,2**
1954	181,9	322,7	146,9	178,7	36,5	12,1	5,3	2,8	2,0	1,8	12,7	187,7	**90,9**
1955	193,7	224,9	159,8	199,9	34,8	11,7	4,7	2,6	1,8	11,9	60,8	265,1	**97,6**
1956	259,0	125,5	341,0	157,3	102,4	34,6	14,2	6,4	3,2	6,3	227,0	489,8	**147,2**
1957	730,0	607,3	887,0	735,7	230,1	123,3	65,7	36,1	23,8	28,2	60,6	142,6	**305,9**
1958	242,2	704,2	431,3	492,1	190,3	72,1	36,0	16,7	12,1	19,9	27,2	107,7	**196,0**
1959	869,5	370,5	405,6	213,4	65,9	40,2	21,8	12,3	8,0	15,6	62,4	45,1	**177,5**
1960	272,4	531,9	750,6	353,5	129,8	62,2	31,0	14,8	9,4	13,0	61,6	220,6	**204,2**
1961	350,1	490,6	312,6	142,5	113,3	29,4	15,5	9,4	5,2	5,0	10,5	68,4	**129,4**
1962	164,1	241,0	277,9	123,9	54,8	18,1	8,4	4,5	3,2	13,2	37,7	235,5	**98,6**
1963	240,4	306,6	163,8	86,0	63,2	17,4	8,2	4,3	2,9	2,4	14,5	48,8	**79,9**
1964	612,2	770,6	292,7	233,6	100,9	38,4	18,2	8,8	4,5	22,8	158,3	255,1	**209,7**
1965	250,0	255,1	369,9	444,6	151,7	62,2	31,1	15,0	7,5	55,9	134,3	243,7	**168,4**
1966	278,0	802,6	607,5	298,6	124,1	60,1	31,3	17,3	11,7	28,8	44,5	146,7	**204,3**
1967	181,6	304,2	290,1	248,5	108,3	42,9	20,7	11,7	9,0	10,6	96,9	193,6	**126,5**
1968	179,9	434,7	844,9	233,9	111,2	51,9	27,4	15,5	12,1	19,0	210,6	507,9	**220,8**
1969	266,0	415,1	404,0	162,7	122,3	43,0	21,7	12,1	8,5	11,8	105,2	377,2	**162,5**
1970	764,5	534,9	686,8	258,5	129,3	61,6	33,7	19,0	14,4	40,9	133,9	101,1	**231,6**
1971	71,8	92,4	146,2	171,6	56,5	21,4	9,6	5,8	4,7	22,3	211,6	284,5	**91,5**
1972	145,7	177,2	241,4	202,9	63,5	29,5	15,2	9,0	6,1	29,4	72,8	312,6	**108,8**
1973	246,1	227,2	301,0	323,9	137,8	51,3	27,9	13,6	8,3	81,6	167,9	292,9	**156,6**
1974	232,8	272,5	651,9	541,5	245,4	105,7	49,4	26,7	12,8	30,9	114,9	154,5	**203,3**
1975	181,4	374,6	266,7	320,0	114,4	53,0	21,6	13,7	4,4	15,5	99,3	118,6	**131,9**
1976	133,6	195,4	206,2	134,6	76,6	39,9	13,4	4,5	4,7	33,9	96,0	260,2	**99,9**
1977	317,5	1 061,4	249,6	234,1	136,2	84,7	44,1	26,0	20,0	47,4	72,9	234,6	**210,7**
1978	728,0	841,2	955,5	657,5	248,5	149,1	97,5	54,9	25,5	46,2	68,6	215,8	**340,7**
1979	819,0	1.170,4	770,2	356,0	164,4	98,7	56,9	32,0	42,1	53,4	115,8	191,7	**322,6**
1980	592,5	755,7	907,9	461,3	194,9	113,7	69,9	37,8	23,9	36,2	151,9	652,1	**333,2**
1981	1 102,0	415,9	353,7	497,4	169,8	132,2	75,7	43,2	24,9	53,6	268,1	248,3	**282,1**
1982	856,8	743,5	609,1	368,7	165,9	100,2	53,8	32,0	34,7	50,4	79,2	75,9	**264,2**
1983	332,9	950,7	582,7	494,6	207,3	67,9	34,6	19,8	16,4	34,0	85,1	457,4	**273,6**
1984	232,8	153,6	194,3	197,6	90,3	38,6	19,9	10,6	10,4	14,7	27,4	57,6	**87,3**
1985	395,3	624,7	542,6	327,3	159,1	86,0	53,0	27,4	17,8	28,7	73,3	291,3	**218,9**
1986	683,7	415,4	424,8	266,8	123,1	71,7	41,5	28,4	20,1	39,0	40,4	94,6	**187,5**
1987	172,8	138,4	256,8	234,7	77,1	33,6	16,9	9,5	6,0	9,7	52,9	263,0	**106,0**
1988	216,9	214,0	422,2	211,6	95,2	49,5	24,3	20,6	6,4	30,2	62,9	234,7	**132,4**
1989	215,5	274,6	314,4	180,3	109,4	48,6	29,0	15,2	11,2	16,5	68,3	1.002,8	**190,5**
1990	899,1	356,7	428,8	225,4	119,5	42,9	44,0	25,4	30,8	27,5	47,7	95,3	**195,3**
1991	253,1	287,8	425,2	422,9	145,5	71,3	40,5	24,8	17,9	23,7	59,9	95,5	**155,7**
1992	418,6	1 130,7	194,7	317,0	113,3	60,7	45,6	30,8	30,0	48,8	160,9	577,7	**260,7**
1993	310,8	358,3	240,4	158,1	90,5	50,2	21,2	9,8	8,4	18,2	23,1	144,4	**119,4**
1994	345,1	195,7	536,3	257,6	83,8	43,3	21,5	10,3	3,5	3,2	24,9	105,3	**135,9**
1995	260,3	306,2	265,6	375,4	182,3	72,3	33,3	14,0	5,3	8,8	93,3	379,3	**166,3**
1996	369,2	164,5	284,9	262,3	106,9	53,3	25,8	10,2	6,9	13,0	69,0	89,4	**121,3**
1997	385,2	305,8	469,7	522,7	189,4	107,6	63,3	7,7	21,2	24,8	39,1	58,0	**182,9**
1998	95,2												
média	**435,6**	**487,8**	**439,8**	**334,4**	**142,0**	**73,9**	**41,5**	**22,3**	**16,9**	**29,5**	**83,1**	**254,1**	**173,4**

Série: Correl-FazLob

Série de vazões médias mensais (m³/s) obtida para o Cenário 4 por correlação entre vazões médias mensais

ano	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	média
1949	513,7	676,4	409,5	250,4	122,2	69,6	46,7	32,0	22,4	38,9	92,3	167,4	**203,5**
1950	156,9	182,3	306,9	215,5	105,6	59,9	41,4	31,1	26,7	44,7	117,2	140,7	**119,1**
1951	173,5	153,6	206,0	233,4	92,6	60,0	37,9	27,3	21,1	23,8	25,3	153,6	**100,7**
1952	159,4	142,8	421,3	199,1	116,5	53,3	34,6	24,0	22,5	19,9	62,2	236,1	**124,3**
1953	134,3	110,8	156,0	147,3	59,7	34,5	24,1	18,2	19,5	50,7	69,3	213,6	**86,5**
1954	187,3	334,2	155,7	184,3	63,1	36,3	24,7	18,0	14,5	12,6	37,1	192,8	**105,1**
1955	198,6	231,0	167,0	204,8	61,5	35,7	23,5	17,1	13,0	36,0	84,4	278,1	**112,6**
1956	270,7	137,5	348,1	164,7	118,5	61,2	39,1	26,9	19,2	26,8	233,3	454,9	**158,4**
1957	616,4	533,7	734,2	620,4	236,8	135,6	88,5	62,6	50,4	55,0	84,2	152,0	**280,8**
1958	250,7	598,7	414,1	456,4	195,3	93,7	62,5	42,3	36,2	46,1	54,0	122,8	**197,7**
1959	719,9	370,1	395,7	218,6	88,6	66,5	48,2	36,5	29,9	40,9	85,7	70,9	**181,0**
1960	286,7	483,4	630,8	357,5	141,1	85,5	57,7	39,9	32,2	37,5	85,1	226,4	**205,3**
1961	354,9	455,4	326,5	151,9	127,4	56,2	40,8	32,3	24,5	24,1	33,9	90,7	**143,2**
1962	170,9	249,3	293,0	136,2	79,3	44,0	30,7	23,0	19,4	37,9	64,2	243,0	**115,9**
1963	248,6	322,0	170,6	105,1	86,3	43,2	30,3	22,4	18,4	16,2	39,5	74,1	**98,1**
1964	536,9	645,0	308,9	240,7	117,2	64,8	44,0	31,2	23,0	49,3	165,7	266,0	**207,7**
1965	259,9	266,1	369,7	423,5	159,9	85,5	57,9	40,2	29,1	80,2	144,9	252,5	**180,8**
1966	293,2	668,2	533,8	314,7	136,3	83,8	58,1	43,0	35,6	55,6	70,4	155,5	**204,0**
1967	187,0	320,1	306,3	258,1	123,3	68,9	47,0	35,8	31,5	34,1	114,0	198,5	**143,7**
1968	185,4	416,6	700,3	241,1	125,7	76,8	54,2	40,7	36,3	45,1	215,8	467,2	**217,1**
1969	279,1	402,6	394,6	169,6	134,8	69,0	48,1	36,2	24,8	32,9	95,6	313,7	**166,8**
1970	656,4	313,9	785,6	263,8	101,4	56,9	37,8	27,5	24,9	76,1	144,6	108,9	**216,5**
1971	100,3	160,4	175,6	279,9	101,0	57,2	34,4	26,6	23,3	55,3	209,7	329,1	**129,4**
1972	183,0	212,3	253,5	223,4	63,8	40,4	28,8	23,4	21,8	60,4	113,5	244,7	**122,4**
1973	125,8	251,4	322,9	372,2	127,4	58,7	40,0	28,3	23,0	131,6	195,3	222,2	**158,2**
1974	324,8	563,3	726,2	450,0	322,7	119,2	68,8	48,7	36,8	65,6	153,4	261,9	**261,8**
1975	271,2	479,8	516,4	282,9	106,6	60,0	46,1	33,8	26,1	48,0	121,5	200,8	**182,8**
1976	128,9	283,3	233,7	129,5	122,5	55,9	33,7	25,3	48,4	106,1	218,2	320,7	**142,2**
1977	439,2	608,7	220,8	241,4	154,5	78,1	57,6	48,7	30,7	63,6	101,9	290,8	**194,7**
1978	548,4	853,3	823,3	369,1	197,9	113,4	72,1	49,0	40,5	80,7	93,7	269,1	**292,5**
1979	708,4	1 195,3	379,1	271,6	124,7	75,1	54,6	44,0	47,0	56,3	153,2	147,1	**271,4**
1980	505,4	1.362,4	672,4	389,2	140,8	80,8	56,4	43,3	40,4	40,4	239,9	639,0	**350,9**
1981	517,7	297,7	460,3	370,6	110,8	255,7	47,0	39,2	33,0	71,7	391,4	246,7	**236,8**
1982	1.202,9	414,6	438,3	265,6	112,7	64,7	46,9	39,1	35,9	51,2	78,4	105,6	**238,0**
1983	500,3	689,7	409,9	295,9	74,2	51,4	39,1	33,3	32,8	48,9	72,7	181,2	**202,4**
1984	169,0	148,7	287,3	273,7	76,3	47,4	38,1	30,5	32,7	40,3	51,0	88,5	**106,9**
1985	476,9	313,2	270,0	247,9	119,8	59,4	42,1	34,5	32,2	88,7	177,8	464,7	**193,9**
1986	623,5	540,6	300,4	301,8	142,7	80,1	62,9	52,0	46,3	79,3	77,8	200,3	**209,0**
1987	230,8	228,6	555,4	236,2	76,9	46,2	36,0	31,1	29,0	42,0	77,7	320,7	**159,2**
1988	329,2	323,8	537,5	290,6	144,5	91,4	52,9	35,8	29,9	44,3	63,1	373,5	**193,1**
1989	271,3	292,8	302,1	184,4	103,9	54,5	41,6	35,1	32,7	36,4	75,6	950,8	**198,4**
1990	385,0	255,0	334,0	145,1	91,5	51,7	41,0	33,2	37,0	41,6	48,9	107,5	**131,0**
1991	281,2	289,6	377,4	280,1	154,5	47,8	36,0	30,8	32,4	31,8	119,6	164,4	**153,8**
1992	536,7	939,0	196,8	198,8	158,7	96,9	71,3	57,6	56,8	74,1	96,2	634,6	**259,8**
1993	189,3	314,7	129,1	124,2	89,6	41,8	33,3	29,1	28,8	45,0	37,4	108,8	**97,6**
1994	338,4	254,9	482,0	292,0	73,8	51,1	37,2	29,5	25,9	26,3	72,0	118,3	**150,1**
1995	197,8	350,1	274,9	654,4	255,8	85,1	51,5	37,3	29,9	36,8	78,1	204,1	**188,0**
1996	190,1	121,4	218,1	191,2	82,0	45,6	33,6	28,5	24,9	35,1	150,8	114,2	**103,0**
1997	450,5	245,4	646,9	585,0	171,4	76,5	49,6	36,1	34,9	39,8	39,6	95,7	**206,0**
1998	238,2												
média	**409,0**	**473,6**	**408,0**	**294,6**	**133,7**	**76,2**	**47,9**	**37,7**	**35,2**	**53,9**	**116,2**	**275,4**	**177,7**

Série: SMAP-Jac

Série de vazões médias mensais (m³/s) obtida para o Cenário 2 pelo Modelo SMAP

ano	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	média
1948									25,6	59,0	138,8	271,7	
1949	366,8	535,0	345,3	397,6	116,4	76,7	54,3	33,1	18,9	127,5	267,0	141,3	**206,7**
1950	496,4	216,7	485,6	226,8	74,9	64,0	43,9	26,4	28,3	65,8	118,2	145,8	**166,1**
1951	68,5	177,6	262,1	88,1	94,1	29,8	22,5	14,1	8,0	13,0	11,7	143,9	**77,8**
1952	223,0	468,4	380,9	173,7	61,9	54,1	37,5	22,7	16,5	14,4	37,8	241,6	**144,4**
1953	56,1	244,3	261,2	74,8	35,5	30,5	21,1	12,8	10,9	43,5	35,1	148,9	**81,2**
1954	172,9	319,1	270,6	93,8	43,9	37,3	25,7	15,5	9,9	10,8	45,3	131,9	**98,1**
1955	304,8	201,6	189,3	198,4	40,3	37,1	26,3	16,1	9,0	42,3	72,8	202,0	**111,7**
1956	114,9	355,7	173,2	186,2	45,6	38,5	31,5	16,7	13,3	63,4	608,7	569,1	**184,7**
1957	417,4	1.089,1	598,2	553,1	162,0	119,1	80,9	48,3	39,4	23,3	116,3	106,8	**279,5**
1958	519,8	433,8	250,1	271,4	69,4	60,2	52,2	25,3	98,0	125,8	181,6	428,2	**209,7**
1959	903,0	147,2	516,4	93,0	88,7	66,8	43,5	25,6	40,2	25,6	116,1	45,5	**176,0**
1960	201,2	288,2	682,8	106,3	64,6	56,3	39,0	23,6	40,4	13,6	28,8	263,6	**150,7**
1961	423,1	431,8	277,1	93,2	65,2	51,1	34,0	20,2	11,7	19,4	43,8	133,9	**133,7**
1962	170,7	26,3	160,8	211,3	22,1	23,8	17,8	11,1	11,1	37,1	173,6	618,8	**123,7**
1963	191,1	522,2	251,4	202,0	74,6	60,2	40,5	24,2	14,1	10,8	11,8	40,7	**120,3**
1964	1 106,3	415,5	228,5	312,7	143,0	69,4	49,4	30,2	20,9	93,6	326,1	226,9	**251,9**
1965	157,9	185,0	262,1	43,2	43,4	33,7	22,4	13,3	9,3	44,0	52,8	53,3	**76,7**
1966	208,9	609,0	521,8	208,4	75,6	66,4	46,0	27,8	21,5	31,1	25,0	109,9	**162,6**
1967	58,4	104,0	90,5	66,0	13,4	12,2	8,7	5,4	14,0	34,2	172,3	262,3	**70,1**
1968	170,2	671,4	669,2	390,7	116,5	90,4	63,2	38,3	21,3	49,1	808,5	320,6	**284,1**
1969	396,3	590,6	84,4	90,9	103,9	53,5	34,9	25,0	11,3	19,5	162,8	629,9	**183,6**
1970	717,4	447,2	334,4	360,3	98,9	81,7	55,2	33,0	43,7	73,3	280,6	81,5	**217,3**
1971	183,7	146,7	548,8	465,1	79,4	72,2	49,7	32,1	26,7	119,0	306,8	317,5	**195,6**
1972	133,3	173,8	228,1	215,4	81,6	37,3	17,7	9,1	4,6	17,3	56,3	187,9	**96,9**
1973	260,4	155,4	257,7	264,5	102,8	45,8	24,3	10,9	4,5	18,2	124,7	282,7	**129,3**
1974	186,9	230,1	477,2	619,1	239,8	105,6	60,7	34,9	20,3	31,0	101,4	147,8	**187,9**
1975	153,3	306,8	282,9	301,3	110,9	56,4	31,8	15,6	6,7	16,8	86,2	100,4	**122,4**
1976	103,4	156,6	198,0	122,3	68,7	33,6	14,2	5,5	6,3	30,1	118,1	229,0	**90,5**
1977	231,7	736,3	253,3	234,3	133,5	89,3	56,9	23,1	17,7	58,5	63,3	172,9	**172,6**
1978	579,0	609,1	822,3	589,0	251,6	134,2	102,5	65,7	38,7	51,6	70,3	193,0	**292,3**
1979	509,7	818,0	636,9	366,1	159,6	97,8	62,5	41,6	52,5	58,0	103,4	150,9	**254,8**
1980	463,7	855,4	745,2	390,7	181,5	107,2	75,2	48,2	34,0	38,7	114,6	460,8	**292,9**
1981	811,5	467,3	407,0	635,9	195,5	121,8	82,8	53,6	19,9	51,7	216,7	208,1	**272,6**
1982	664,4	684,9	646,8	452,1	178,6	101,1	64,2	42,8	43,2	51,0	65,6	62,8	**254,8**
1983	220,0	749,3	467,2	406,1	177,5	72,4	34,1	19,9	17,7	31,5	77,2	315,8	**215,7**
1984	229,1	160,0	180,8	215,1	96,5	41,7	20,1	10,1	7,9	13,5	22,4	56,3	**87,8**
1985	254,2	687,1	538,1	313,3	154,9	84,3	49,4	28,0	15,0	26,2	66,8	586,3	**233,6**
1986	599,8	310,8	317,2	211,5	174,0	147,1	115,3	87,6	74,6	65,5	44,9	157,8	**192,2**
1987	127,3	114,7	187,1	175,0	76,3	36,6	16,5	6,6	2,5	6,4	11,7	197,3	**79,8**
1988	204,2	446,2	604,2	230,0	85,6	76,7	30,1	30,0	6,4	122,8	225,8	421,5	**207,0**
1989	209,6	322,0	297,9	286,8	122,1	55,6	32,2	18,2	11,3	16,9	168,3	1.398,0	**244,9**
1990	346,2	499,2	383,5	230,4	194,9	80,4	49,3	26,2	23,9	19,3	83,1	244,4	**181,7**
1991	583,5	454,2	156,2	240,4	100,2	84,7	57,7	34,6	27,9	37,7	82,6	195,6	**171,3**
1992	686,7	601,6	446,4	202,6	95,4	76,2	51,1	30,4	35,4	135,4	278,5	827,3	**288,9**
1993	227,8	539,2	341,1	247,3	156,5	74,2	51,5	32,7	11,0	15,7	26,6	222,0	**162,1**
1994	392,4	275,6	476,3	264,9	73,0	69,4	45,5	15,1	17,4	18,0	60,9	156,8	**155,4**
1995	219,8	221,7	223,9	335,1	175,3	72,0	37,2	17,8	7,9	8,3	48,5	292,2	**138,3**
1996	341,4	156,9	261,7	269,5	113,6	53,9	31,8	13,6	6,2	13,9	54,9	90,2	**117,3**
1997	357,8	324,7	720,3	342,0	225,0	116,3	66,3	40,3	28,8	29,5	37,4		
média	**341,3**	**401,7**	**375,5**	**266,7**	**111,4**	**68,5**	**44,5**	**26,6**	**22,1**	**42,5**	**130,9**	**265,0**	**174,6**

Série: SMAP-Col

Série de vazões médias mensais (m³/s) obtida para o Cenário 2 pelo Modelo SMAP

ano	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	média
1948									25,4	49,3	116,0	241,4	
1949	342,8	517,0	342,7	394,5	129,2	90,0	63,3	38,5	21,8	99,6	226,5	127,0	**199,4**
1950	461,4	210,4	469,8	228,2	87,9	74,5	51,0	30,7	26,7	51,5	94,6	123,3	**159,2**
1951	61,0	158,3	240,1	86,5	92,5	35,3	26,5	16,5	9,4	11,0	9,1	108,9	**71,3**
1952	189,9	430,2	364,3	174,5	73,3	63,6	43,9	26,4	17,5	13,0	28,1	194,1	**134,9**
1953	49,0	217,7	241,7	75,8	42,1	36,1	25,0	15,1	11,0	32,3	26,7	118,7	**74,3**
1954	148,4	289,1	254,8	95,8	52,0	44,0	30,2	18,3	11,0	9,5	32,7	103,1	**90,7**
1955	263,8	184,7	178,8	189,9	47,7	43,7	31,0	18,9	10,5	31,8	55,8	167,0	**102,0**
1956	100,9	323,7	165,0	179,9	53,1	45,5	35,4	19,5	13,8	47,8	524,8	542,0	**171,0**
1957	408,6	1077,9	600,0	554,3	180,4	134,8	91,1	54,4	39,1	22,4	90,0	88,2	**278,4**
1958	464,6	411,3	245,7	268,1	81,4	70,2	56,9	29,2	79,6	103,1	155,3	388,9	**196,2**
1959	873,0	153,8	506,8	108,1	102,2	76,4	49,6	29,1	34,5	21,5	89,8	37,7	**173,5**
1960	170,4	259,2	648,6	110,9	76,1	66,0	45,5	27,5	35,0	12,9	22,4	212,8	**140,6**
1961	383,2	410,4	271,9	102,8	76,6	59,8	39,6	23,5	13,4	15,9	32,4	105,1	**127,9**
1962	144,9	25,0	142,9	191,8	26,2	28,1	21,0	13,0	10,6	27,5	136,4	559,1	**110,5**
1963	182,3	503,5	251,7	206,0	87,3	69,9	46,9	28,0	15,9	10,6	9,7	29,4	**120,1**
1964	985,5	403,5	232,0	313,1	152,3	81,7	57,9	35,3	22,6	73,1	275,4	205,8	**236,5**
1965	148,9	176,6	249,8	51,2	51,2	39,6	26,2	15,6	9,9	32,3	40,1	42,0	**73,6**
1966	174,2	560,2	502,5	210,4	89,0	77,6	53,4	32,1	22,3	25,6	19,9	85,2	**154,4**
1967	48,2	88,0	79,1	59,6	15,7	14,3	10,2	6,4	10,8	24,3	134,1	227,4	**59,9**
1968	155,1	635,9	653,7	390,3	132,1	104,6	72,6	43,9	24,3	39,9	704,1	305,6	**271,8**
1969	386,7	580,6	100,3	106,6	112,0	61,7	40,1	26,9	12,9	16,1	124,1	564,7	**177,7**
1970	690,9	441,5	337,1	360,0	114,1	93,6	63,1	37,5	39,1	58,3	233,5	72,9	**211,8**
1971	166,1	136,7	515,7	449,8	90,1	83,4	58,2	37,0	27,0	93,8	261,8	363,0	**190,2**
1972	231,9	404,0	328,0	272,2	89,2	75,3	51,3	30,8	21,1	55,1	103,3	313,9	**164,7**
1973	286,4	499,0	793,9	384,6	126,5	119,4	75,5	45,8	25,3	130,8	90,7	241,9	**235,0**
1974	349,6	217,3	658,8	294,3	193,9	90,9	66,3	40,8	12,8	30,9	114,9	154,5	**185,4**
1975	181,4	374,6	266,7	320,0	114,4	53,0	21,6	13,7	4,4	15,5	99,3	118,6	**131,9**
1976	133,6	195,4	206,2	134,6	76,6	39,9	13,4	4,5	4,7	33,9	96,0	260,2	**99,9**
1977	317,5	1061,4	249,6	234,1	136,2	84,7	44,1	26,0	20,0	47,4	72,9	234,6	**210,7**
1978	728,0	841,2	761,3	657,5	248,5	149,1	97,5	54,9	34,0	46,2	68,6	215,8	**325,2**
1979	819,0	1170,4	770,2	356,0	164,4	98,7	56,9	32,0	36,7	53,4	115,8	191,7	**322,1**
1980	592,5	1186,6	319,6	461,3	194,9	113,7	69,9	37,8	23,9	36,2	151,9	652,1	**320,0**
1981	1102,0	415,9	668,0	295,5	123,3	132,2	75,7	43,2	22,4	53,6	268,1	248,3	**287,4**
1982	856,8	384,5	609,1	368,7	165,9	100,2	53,8	32,0	34,7	50,4	79,2	75,9	**234,3**
1983	332,9	950,7	582,7	494,6	207,3	67,9	34,6	19,8	16,4	34,0	85,1	457,4	**273,6**
1984	232,8	153,6	194,3	197,6	90,3	38,6	19,9	10,6	10,4	14,7	27,4	57,6	**87,3**
1985	395,3	382,2	542,6	327,3	159,1	86,0	53,0	27,4	17,8	28,7	73,3	291,3	**198,7**
1986	683,7	415,4	424,8	266,8	123,1	71,7	41,5	28,4	20,1	52,4	36,6	94,6	**188,3**
1987	172,8	138,4	256,8	234,7	77,1	46,7	16,9	9,5	6,0	9,7	52,9	263,0	**107,1**
1988	216,9	214,0	422,2	211,6	95,2	49,5	24,3	34,6	6,4	30,2	62,9	234,7	**133,6**
1989	215,5	274,6	314,4	180,3	109,4	48,6	29,0	15,2	31,5	62,9	249,7	1352,2	**240,3**
1990	341,5	493,2	383,7	237,4	199,5	91,1	44,0	44,0	34,5	34,5	85,3	120,5	**175,8**
1991	463,6	432,8	757,1	247,0	116,7	97,7	66,1	39,6	28,1	23,7	59,9	95,5	**202,3**
1992	628,7	580,7	440,9	317,0	113,3	60,7	58,6	34,8	32,6	106,3	237,6	778,8	**282,5**
1993	310,8	358,3	240,4	158,1	90,5	85,2	21,2	9,8	8,4	18,2	23,1	144,4	**122,4**
1994	345,1	195,7	536,3	257,6	83,8	43,3	21,5	10,3	3,5	3,2	24,9	105,3	**135,9**
1995	260,3	306,2	265,6	375,4	182,3	72,3	33,3	14,0	5,3	8,8	93,3	379,3	**166,3**
1996	369,2	164,5	284,9	262,3	106,9	53,3	52,6	31,8	25,6	13,0	69,0	89,4	**126,9**
1997	385,2	305,8	1016,7	522,7	189,4	107,6	63,3	45,9	21,2	24,8	39,1		
média	**366,4**	**414,5**	**405,9**	**264,8**	**113,1**	**72,9**	**45,8**	**27,8**	**21,0**	**38,8**	**118,5**	**248,7**	**177,6**

SMAP-FazLob

Série de vazões médias mensais (m³/s) obtida para o Cenário 4 pelo Modelo SMAP

ano	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	média
1948									25,8	53,7	143,9	320,3	
1949	454,8	671,2	435,0	488,3	162,8	110,6	74,7	43,8	24,1	113,2	294,5	166,2	**253,3**
1950	609,8	273,2	593,5	286,5	113,3	92,1	60,5	35,0	28,6	57,0	117,6	161,5	**202,4**
1951	80,8	210,3	318,5	116,7	122,4	49,0	35,3	21,4	11,7	12,2	10,1	141,9	**94,2**
1952	263,5	592,7	481,1	232,0	102,2	83,9	55,4	32,2	20,2	14,3	31,3	257,5	**180,5**
1953	65,6	294,3	323,5	105,2	61,3	50,1	33,2	19,4	13,2	37,1	33,0	159,3	**99,6**
1954	204,1	396,7	342,0	133,1	75,3	60,5	39,8	23,1	13,4	10,7	37,9	136,3	**122,7**
1955	366,3	251,4	241,6	252,0	69,3	60,6	41,1	24,2	13,1	35,8	69,7	226,4	**137,6**
1956	137,4	440,7	222,0	238,0	75,6	62,2	45,6	24,7	16,3	55,3	736,9	708,0	**230,2**
1957	517,4	1335,0	717,3	648,8	209,2	151,7	99,0	57,2	39,6	22,3	101,4	109,4	**334,0**
1958	624,4	532,7	314,8	335,9	105,8	87,5	67,0	33,9	88,8	126,0	200,5	519,0	**253,0**
1959	1138,0	202,5	614,8	134,6	122,0	87,6	54,8	31,1	35,1	22,3	107,5	47,2	**216,5**
1960	225,6	347,8	858,7	151,0	104,2	85,1	56,1	32,6	38,0	14,2	24,8	280,9	**184,9**
1961	520,8	539,7	352,1	138,2	100,9	75,1	47,7	27,3	15,1	16,6	36,5	135,7	**167,1**
1962	196,0	35,1	192,7	256,7	39,6	41,0	29,3	17,7	13,2	32,2	182,9	788,7	**152,1**
1963	242,5	647,8	320,7	257,6	110,5	85,1	54,8	31,5	17,4	11,1	9,8	32,7	**151,8**
1964	1431,2	491,7	279,7	370,0	177,7	94,0	64,6	38,2	23,5	80,4	360,0	270,1	**306,8**
1965	195,5	230,0	320,1	70,3	67,9	50,5	32,3	18,5	11,3	35,8	49,4	54,2	**94,6**
1966	238,1	775,4	652,2	273,4	119,9	98,8	65,0	37,8	24,6	27,2	22,0	105,6	**203,3**
1967	62,4	116,7	106,1	80,7	23,5	20,9	14,3	8,5	12,8	29,8	185,8	321,0	**81,9**
1968	215,2	858,6	833,0	486,9	169,1	128,3	85,3	49,7	26,8	41,5	965,9	382,9	**353,6**
1969	480,0	713,0	127,8	130,2	129,6	69,5	43,5	28,1	24,8	32,9	95,6	313,7	**182,4**
1970	656,4	313,9	785,6	263,8	101,4	56,9	37,8	27,5	24,9	76,1	300,6	108,9	**229,5**
1971	100,3	160,4	175,6	279,9	101,0	57,2	34,4	26,6	23,3	55,3	209,7	329,1	**129,4**
1972	183,0	212,3	253,5	223,4	63,8	40,4	28,8	23,4	21,8	60,4	113,5	244,7	**122,4**
1973	125,8	251,4	322,9	372,2	127,4	58,7	40,0	28,3	23,0	131,6	195,3	222,2	**158,2**
1974	324,8	563,3	726,2	450,0	322,7	119,2	68,8	48,7	36,8	65,6	153,4	261,9	**261,8**
1975	271,2	479,8	516,4	282,9	106,6	60,0	46,1	33,8	26,1	48,0	121,5	200,8	**182,8**
1976	128,9	283,3	233,7	129,5	122,5	55,9	33,7	25,3	48,4	106,1	218,2	320,7	**142,2**
1977	439,2	608,7	220,8	241,4	154,5	78,1	57,6	48,7	30,7	63,6	101,9	290,8	**194,7**
1978	548,4	853,3	823,3	369,1	197,9	113,4	72,1	49,0	40,5	80,7	93,7	269,1	**292,5**
1979	708,4	1195,3	379,1	271,6	124,7	75,1	54,6	44,0	47,0	56,3	153,2	147,1	**271,4**
1980	505,4	1362,4	672,4	389,2	140,8	80,8	56,4	43,3	40,4	40,4	239,9	639,0	**350,9**
1981	517,7	297,7	460,3	370,6	110,8	255,7	47,0	39,2	33,0	71,7	391,4	246,7	**236,8**
1982	1202,9	414,6	438,3	265,6	112,7	64,7	46,9	39,1	35,9	51,2	78,4	105,6	**238,0**
1983	500,3	689,7	409,9	295,9	74,2	51,4	39,1	33,3	32,8	48,9	72,7	181,2	**202,4**
1984	169,0	148,7	287,3	273,7	76,3	47,4	38,1	30,5	32,7	40,3	51,0	88,5	**106,9**
1985	476,9	313,2	270,0	247,9	119,8	59,4	42,1	34,5	32,2	88,7	177,8	464,7	**193,9**
1986	623,5	540,6	300,4	301,8	142,7	80,1	62,9	52,0	46,3	79,3	77,8	200,3	**209,0**
1987	230,8	228,6	555,4	236,2	76,9	46,2	36,0	31,1	29,0	42,0	77,7	320,7	**159,2**
1988	329,2	323,8	537,5	298,6	131,2	109,3	52,9	35,8	29,9	44,3	63,1	373,5	**194,1**
1989	271,3	292,8	302,1	184,4	103,9	54,5	41,6	35,1	32,7	36,4	75,6	950,8	**198,4**
1990	385,0	255,0	334,0	145,1	91,5	51,7	41,0	33,2	37,0	41,6	48,9	107,5	**131,0**
1991	281,2	289,6	377,4	280,1	147,5	47,8	36,0	30,8	32,4	31,8	119,6	164,4	**153,2**
1992	536,7	939,0	196,8	198,8	137,1	104,3	66,8	38,3	33,8	123,2	96,2	634,6	**258,8**
1993	189,3	314,7	129,1	124,2	89,6	41,8	33,3	29,1	28,8	45,0	37,4	108,8	**97,6**
1994	338,4	254,9	482,0	292,0	73,8	51,1	37,2	29,5	25,9	26,3	72,0	118,3	**150,1**
1995	197,8	350,1	274,9	654,4	255,8	85,1	51,5	37,3	29,9	36,8	78,1	204,1	**188,0**
1996	190,1	121,4	218,1	191,2	82,0	45,6	33,6	28,5	24,9	35,1	150,8	114,2	**103,0**
1997	450,5	245,4	646,9	585,0	171,4	76,5	49,6	36,1	34,9	39,8	39,6	95,7	**206,0**
1998	238,2												
média	**387,8**	**454,3**	**407,7**	**273,6**	**118,8**	**75,8**	**48,7**	**33,2**	**29,0**	**51,0**	**148,5**	**263,0**	**190,8**

Anexo 3
Modelo de Transformação Chuva-Vazão SMAP

FONTE: BARTH, POMPEU E FILL (1987).

Balanço de Umidade na Camada Superior do Solo

U.S. Soil Conservation considerou que a seguinte proporção é válida:

$$\frac{F}{S} = \frac{V_S}{P_e} \qquad \text{(a)}$$

Onde F é a infiltração; S o volume disponível para umidade no reservatório superior do solo; P_e a precipitação que chega ao solo e não é retida por depressões e vegetação ($P-A_i$); e V_s o volume superficial que gera escoamento.

Considerando o reservatório de perdas iniciais com capacidade R_{max}, num dado instante o volume retido é R e a abstração inicial será:

$$A_i = R_{max} - R + E_p \qquad \text{(b)}$$

E_p é a evaporação potencial. Quando $A_i < 0$ pela expressão acima, considere $A_i = 0$. O reservatório da camada superior do solo tem capacidade V_{max}, e num dado instante possui o estado de umidade V. Sendo assim

$$S = V_{max} - V \qquad \text{(c)}$$

A infiltração é

$$F = P_e - V_s \tag{d}$$

Substituindo as relações obtidas na equação (a) obtém-se

$$V_s = \frac{(P - A_i)^2}{P - A_i + S} \tag{e}$$

O estado de umidade do solo é atualizado por

$$V_{t+1} = P - A_i - V_s - V_p - E + V_t \tag{f}$$

onde V_p é a percolação para o reservatório subterrâneo, e é obtido por

$$V_p = K_p \frac{V}{V_{max}} (V - V_0) \tag{g}$$

onde V_0 é a capacidade de campo, e é definido por uma percentagem do volume total ($V_0 = K_c V_{max}$).

A evaporação do solo somente ocorre quando E_p não for satisfeito pela precipitação e reservatório de perdas. A evaporação potencial resultante E_p^* é utilizada para o cálculo de E por

$$E = \frac{V}{V_{max}} E_p^* \tag{h}$$

Escoamentos

O escoamento superficial é obtido por

$$E_s = R_{sup}\,(1-K_s) \qquad \text{(i)}$$

onde R_{sup} é o estado de umidade do reservatório superficial, onde

$$R_{sup\,t+1} = R_{sup\,t} + V_s - E_s \qquad \text{(j)}$$

e K_s é um parâmetro de recessão do escoamento superficial.

O escoamento subterrâneo é obtido por

$$E_b = R_b\,(1-K_b) \qquad \text{(k)}$$

onde R_b é o estado de umidade do reservatório de base e

$$R_{b\,t+1} = R_{b\,t} + V_p - E_b \qquad \text{(l)}$$

e K_b é um parâmetro de recessão.

A vazão total é

$$Q = \frac{(E_s + E_b)\,A}{86{,}4} \qquad \text{(m)}$$

onde A é a área em km^2 e Q a vazão em m^3/s.

Condições iniciais

Iniciando-se a simulação num período seco, é possível estimar S pela fórmula do U.S. Soil Conservation.

$$S = 25{,}4\left(\frac{1.000}{CN} - 10\right) \qquad \text{(n)}$$

onde CN é obtido de acordo com as características do solo segundo classificação do U.S. Soil Conservation.

Para $V_{inicial}$ obtém-se

$$V_{max} = S - V_{inicial} \qquad \text{(o)}$$

A vazão do intervalo anterior Q_i permite estimar o volume do reservatório subterrâneo por

$$R_{b\,inicial} = \frac{Q - 86{,}4}{A(A - K_s)} \qquad \text{(p)}$$

Parâmetros

Os parâmetros utilizados pelo modelo são V_{max}, R_{max}, K_p, K_s, K_b, e K_c, além da condição inicial $V_{inicial}$.

Os parâmetros mais sensíveis são V_{max} e K_s.

Anexo 4
Características adotadas nas simulações dos subsistemas integrados Sul e Sudeste/Centro-Oeste

a) Mercado anual de energia elétrica do sistema interligado

Nas simulações realizadas do sistema integrado, o mercado de energia elétrica considerado em cada ano do horizonte de estudo, corresponde a adoção de um único patamar de carga, ou seja, a representação gráfica da potência consumida a cada intervalo de tempo (energia), denominada curva de carga, é uma constante.

Subsistema	Sul	Sudeste/Centro-Oeste	Norte	Nordeste
(Mwmédio)	6.927	25.667	2.479	6.081

b) Sazonalidades de mercado para os subsistemas

Como a simulação energética é realizada em nível mensal, este mercado é distribuído nos meses do ano de acordo com a sazonalidade. A média dos valores mensais do mercado de energia elétrica assim obtidos, resulta no mercado anual.

	Sul	Sudeste/Centro-Oeste	Norte	Nordeste
Janeiro	1,0210	0,9809	0,9974	1,0176
Fevereiro	1,0444	1,0017	0,9923	1,0119
Março	1,0577	1,0122	0,9949	1,0077
Abril	1,0141	1,0025	0,9887	0,9868
Maio	0,9941	0,9939	0,9982	0,9823
Junho	0,9943	0,9937	0,9961	0,9761
Julho	0,9852	1,0013	0,9941	0,9753
Agosto	0,9796	1,0116	1,0052	0,9872
Setembro	0,9720	1,0167	1,0102	1,0060
Outubro	0,9610	1,0110	1,0144	1,0318
Novembro	0,9744	1,0007	1,0038	1,0167
Dezembro	1,0022	0,9738	1,0047	1,0006

Obs: às condições de mercado de energia elétrica do subsistema Sudeste/Centro-Oeste, foram adicionados 694,80 MW/mês referente ao consumo próprio da usina hidrelétrica de Itaipu, das usinas reversíveis da Light, e da concessionária paraguaia administradora de Itaipu (Ande).

c) Usinas constantes na configuração adotada

Hidrelétricas		
Subsist. Sudeste/Centro-Oeste	Henry Borden	Santa Branca Par
A. A. Laydner	Igarapava	Santa Cecília
Água Vermelha	Ilha dos Pombos	São Simão
A. Souza Lima	Ibitinga	Serra da Mesa
A. S. Oliveira	Itaipu	Sobragi
Barra Bonita	Itumbiara	Souza Dias
Billings	Itutinga	Taquaruçu
Cachoeira Dourada	Jaguara	Três Marias
Cachoeira do Emboque	Jaguari	Volta Grande
Camargos	L. N. Garcez	**Subsistema Sul**
Caconde	Mascarenhas	Complexo Segredo
Chavantes	Masc. Moraes	Cubatão
Canoas 1	Marimbondo	Ernestina
Canoas 2	Mario L. Leão	Foz do Areia
Capivara	Miranda	Itá (em motorização)
Complexo Ilha Solteira	Muniz Freire	Itaúba
Corumbá 1	Nilo Peçanha	Jacuí
Costa Rica	Nova Avanhandava	Jataizinho
Emborcação	Nova Ponte	Parigot de Souza
Estreito	Paraibuna	Passo Fundo
Euclides da Cunha	Pereira Passos	Passo Real
Fontes-BC	Porto Colômbia	Salto Caxias
Fontes-Lajes	Primavera – MT	Salto Osório
Funil-Paraíba	Rosal	Salto Santiago
Furnas	Rosana	
Guilman-Amorim	Salto Grande	

Termelétricas		
Subsist. Sudeste/Centro-Oeste	Piratininga ¾	J. Lacerda 1/2
Angra I	R. Silveira	J. Lacerda 3/4
Angra II	Santa Cruz 1/2	J. Lacerda 5/6
Carioba	Santa Cruz 3/4	Jorge Lacerda IV
Corumbá I	São Mateus – ES	Nutepa
Cuiabá	**Subsistema Sul**	P. Médici A
Eletropaulo I	Alegrete	P. Médici B
Igarapé	Charqueadas	São Jerônimo
Piratininga ½	Figueira	Uruguaiana

d) Geração externa nos subsistemas

O atendimento ao mercado consumidor também considerou os valores de energia correspondentes às usinas não simuláveis.

Subsistema	Sul	Sudeste/Centro-Oeste	Norte	Nordeste
(Mwmédio)	197	301	22	43

e) Limites de Transmissão de Energia

Nos limites de transmissão entre os subsistemas adotados, foram consideradas perdas elétricas na transmissão de 5%.

SUBSISTEMA		Transferência de 1 para 2	Transferência de 2 para 1
1	2	(MW)	(MW)
Sul	Sudeste/Centro-Oeste	3.329	3.600
Norte	Nordeste	1.000	1.000
Sudeste/Centro-Oeste	Norte	1.000	1.000

f) Energia Garantida das Usinas Hidrelétricas

A determinação da energia garantida das usinas hidrelétricas da configuração adotada foi calculada de acordo com a metodologia utilizada no ciclo de planejamento 1997 do GCPS (configuração estática). Esta metodologia consiste na realização de duas fases (Fase 1 e Fase 2) e exige a utilização de um modelo de simulação a usinas equivalentes e um modelo de simulação a usinas individualizadas. O modelo equivalente utilizado foi o MODDHT (OLADE/BID, 1993) e o modelo individualizado foi o MSUI (ELETROBRÁS, 1993).

O processo tem início com a Fase 1, onde a configuração adotada foi simulada com o MODDHT para um horizonte de 12 anos, considerando infinito e sem perdas os limites de transmissão entre os sistemas Sul/Sudeste/Centro-Oeste e Norte/Nordeste, um custo de déficit de 540 US$/MWh, armazenamento inicial de 100% para todos os subsistemas, uma taxa de desconto de 12% a.a. e a inexistência da interligação Norte-Sul.

O mercado de energia elétrica sofreu ajustes até que a média do risco de déficit dos últimos cinco anos do período simulado, em cada sistema interligado, estivesse entre 4,96% e 5,04%, aceitando-se esta faixa de valores para a convergência de risco de déficit de 5%. Desta forma, estabelece-se que os dois sistemas interligados partam da mesma condição de atendimento antes de promover uma troca de energia entre eles, através da interligação Norte-Sul.

O ajuste dos valores de mercado de energia elétrica deve obedecer a denominada proporcionalidade, definida como a participação do mercado de cada subsistema (no caso Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Norte e Nordeste) no mercado do sistema interligado ao qual pertence (Sul/Sudeste/Centro-Oeste e Norte/Nordeste), apresentada na tabela a seguir. As sazonalidades de mercado utilizadas são as mesmas apresentadas no item b deste anexo.

Proporcionalidade entre Mercados dos Subsistemas (FASE 1)

Subsistema	Proporcionalidade	Subsistema	Proporcionalidade
Sul	0,21830	Norte	0,32579
Sudeste/Centro-Oeste	0,78170	Nordeste	0,67421

A tabela a seguir apresenta a carga crítica de cada subsistema para a Fase 1, isto é, os valores de mercado de energia elétrica que levam cada sistema interligado, em função do parque gerador considerado, ao risco de déficit de 5%.

Resultados da FASE 1

Subsistema	Carga Crítica (MWmédio)	Risco de déficit (%)
Sul	7.073,74	4,80
Sudeste/Centro-Oeste	25.330,00	4,96
Norte	2.766,42	4,92
Nordeste	5.725,00	5,00
Total	40.895,16	

Tomando como exemplo os resultados da Fase 1, verifica-se que a hipótese de proporcionalidade entre os mercados de energia elétrica implica que, em cada sistema interligado, um subsistema alcance o risco de déficit de 5% e outro permaneça com folga. Portanto, se a proporcionalidade entre mercados fosse desconsiderada, haveria espaço para aumentar a carga crítica dos subsistemas Sul e Norte. Conseqüentemente, isto provocaria uma redução da carga crítica dos subsistemas Sudeste/Centro-Oeste e Nordeste.

A Fase 2 também utiliza o MODDHT para simular a configuração adotada com a interligação Norte-Sul, representada nos limites constantes apresentados no item e desse anexo, e sem perdas de transmissão. Os mercados dos subsistemas Sul, Norte e Nordeste para a convergência da simulação são proporcionais ao mercado do subsistema Sudeste/Centro-Oeste. A proporcionalidade utilizada, apresentada na tabela a seguir, foi calculada em função das cargas críticas obtidas na Fase 1 da seguinte forma:

$$\alpha_{\text{subsistema i}} = \frac{\alpha'_{\text{subsistema i}}}{\alpha'_{\text{subsistema SE/CO}}}$$

onde:

$$\alpha'_{\text{subsistema i}} = \frac{\text{Carga Crítica Subsistema Fase 1}}{\text{Carga Crítica Total Fase 1}}$$

Proporcionalidade entre Mercados dos Subsistemas (FASE 2)

Subsistema	Proporcionalidade (α)
Sul	0,27926314
Norte	0,10921514
Nordeste	0,22601658

A convergência desta fase é obtida quando a média dos riscos de déficit nos cinco últimos anos da simulação para o subsistema de maior mercado, no caso o Sudeste/Centro-Oeste, permaneça na faixa entre 4,96% e 5,04%. As demais hipóteses são as mesmas utilizadas na Fase 1. Os resultados da Fase 2 estão apresentados na tabela a seguir.

Resultados da FASE 2

Subsistema	Carga Crítica (MWmédio)	Risco de déficit (%)
Sul	7.154,72	4,78
Sudeste/Centro-Oeste	25.260,00	5,02
Norte	2.798,09	3,48
Nordeste	5.790,54	3,48
Total	41.363,35	

Portanto, para a configuração adotada, a interligação Norte-Sul, simulada para uma capacidade de 1.000 MW, proporcionou um aumento na energia garantida do sistema interligado igual a 468,19 MWmédio.

A energia garantida atribuída ao parque hidrelétrico de cada subsistema, correspondente à média dos cinco últimos anos do horizonte simulado, é obtida após o rateio da carga crítica total do sistema por subsistema e fonte de geração.

Para este estudo, a energia garantida total do parque hidrelétrico brasileiro resultou em 34.231 MWmédio. Este valor é rateado proporcionalmente às energias firmes das usinas da configuração, calculadas pelo MSUI, considerando:

a) o período crítico do sistema interligado de junho de 1949 a novembro de 1956;

b) operação dos reservatórios com 20 faixas paralelas de acordo com prioridades calculadas internamente pelo modelo, maximizando a geração das cascatas;

c) tempo de permanência na ponta de 2 horas;

d) fator de carga de 70%.

A tabela a seguir apresenta os valores de energia garantida para as usinas hidrelétricas da configuração adotada, considerados constantes para todo o horizonte de estudo. É importante observar que, na prática, os valores de energia garantida podem variar ano a ano conforme novas usinas são adicionadas à configuração do parque gerador. Por este motivo, é um valor que deve ser revisado periodicamente.

Energia garantida das usinas hidrelétricas

Usina	MWmédio	Usina	MWmédio
Armando A. Laydner	47,25	Muniz Freire	10,74
Água .Vermelha	736,39	Nilo Peçanha	333,53
A. Souza Lima	59,09	Nova Avanhandava	128,66
Armando Salles de Oliveira	14,52	Nova Ponte	272,30
Barra Bonita	41,54	Paraibuna	48,73
Billings	0	Pereira Passos	50,96
Cachoeira Dourada	409,68	Porto Colômbia	182,30
Cachoeira do Emboque	7,90	Primavera - MT	5,75
Camargos	20,83	Rosal	32,92
Caconde	32,27	Rosana	174,48
Chavantes	170,27	Salto Grande	73,38
Canoas 1	56,36	Santa Branca	30,93
Canoas 2	46,91	Santa Cecília	0
Capivara	326,85	São Simão	1.266,46
Complexo Ilha Solteira	1.915,29	Serra da Mesa	662,98
Corumbá 1	206,64	Sobragi	41,42
Costa Rica	11,08	Souza Dias	959,09
Emborcação	490,77	Taquaruçu	199,08
Estreito	487,38	Três Marias	233,51
Euclides da Cunha	47,70	Volta Grande	225,14
Fontes-BC	62,18	Complexo Segredo	584,79
Fontes-Lajes	40,07	Cubatão	18,51
Funil	117,07	Ernestina	0
Furnas	590,99	Foz do Areia	591,80
Guilman Amorim	73,30	Itaúba	185,46
Henry Borden	306,02	Jacuí	119,75
Igarapava	133,84	Jataizinho	82,01
Ilha dos Pombos	89,81	Parigot de Souza	108,12
Ibitinga	66,21	Passo Fundo	115,87
Itaipu	7.500,35	Passo Real	67,26
Itumbiara	1.002,23	Salto Caxias	587,73
Itutinga	27,59	Salto Osório	506,17
Jaguara	330,55	Salto Santiago	703,46
Jaguari	13,98	Curua-Una	23,78
Lucas Nogueira Garcez	54,52	Tucuruí 1	2.778,86
Mascarenhas	106,28	Boa Esperança	140,52
Mascarenhas de Moraes	290,55	Complexo Moxotó	2.183,53
Marimbondo	713,90	Itaparica	940,29
Mário L. Leão	96,28	Sobradinho	519,78
Miranda	199,06	Xingó	2.097,54

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01 AGUIAR, Glaucia G. B. T. de; LOPES, João E. G. Estimativa de vazões no Estado do Mato Grosso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS (12.: 1997: Vitória) **Anais**... Vitória: ABRH, 1997.

02 ARAÚJO, Roberto P. d'; HOFFMANN, Carlos Augusto A. **O novo contexto do setor elétrico brasileiro**. [on line] Disponível na Internet via WWW. URL: http://www.ilumina.org.br/contexto.htm1. Arquivo capturado em 26 de abril de 1998.

03 BARTH, Flávio Terra; POMPEU, Cid Tomanik; FILL, Heinz Dieter et al. **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos**. São Paulo: Nobel: ABRH, 1987.

04 BETTEGA, Renê. **O impacto da comercialização no mercado spot de energia na análise de viabilidade de hidrelétricas.** Curitiba, 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) - Centro de Hidráulica e Hidrologia Professor Parigot de Souza, Universidade Federal do Paraná.

05 BETTEGA, Renê; BUSETTI, Denise Campanholo; MÜLLER, Fabrício. **A exposição ao risco hidrológico no novo ambiente institucional**: Um estudo de caso. Trabalho apresentado ao II Seminário do Subcomitê de Planejamento e Meio Ambiente, Quito, ago. 1998.

06 BRASIL. Decreto nº 73.102 de 7 de novembro de 1973. Regulamenta os artigos 12 e 13 da Lei n. 5.899/73, que dispõe sobre a coordenação operacional dos sistemas elétricos interligados das Regiões Sudeste e Sul. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, v.111, n.213, p.11386-11389, 8 nov. 1973.

07 _____. Lei nº 5.899 de 5 de julho de 1973. Dispõe sobre a aquisição dos serviços de eletricidade da ITAIPU, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, v.111, n.129, p.1-2, 9 jul. 1973a.

08 _____. Ministério das Minas e Energia. **Manual de pequenas centrais hidrelétricas**. [Brasília], 1982.

09 _____. Ministério das Minas e Energia. **Manual de minicentrais hidrelétricas**. [Brasília], 1985.

10 _____. Ministério das Minas e Energia. **Guia para cálculo de cheia de projeto de vertedores**. [Brasília], 1987.

11 _____. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. **Ação do DNAEE da área de recursos hídricos**. Região Sul. MME: DNAEE, [198-?].

12 _____. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas (1961 - 1990)**. Brasília, 1992.

13 _____. Ministério das Minas e Energia. **Plano nacional de energia elétrica 1993-2015**. [Brasília], 1994. v.2. Estudos básicos (Plano 2015).

14 _____. Ministério das Minas e Energia. Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos. **Plano decenal de expansão 1997-2006**. Brasília, 1996.

15 _____. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. **DNAEE**: relatório de gestão - 1995. [Brasília]: Agência Nacional de Energia Elétrica, [1996?].

16 _____. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Área de consistência de dados hidrológicos**. [on line] Disponível na Internet via WWW. URL: http://www.aneel.gov.br/cgrh/constdad.htm. Arquivo capturado em 27 de dezembro de 1997.

17 _____. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Densidade de estações fluviométricas por região, por Estado e por habitante - 1997**. [on line] Disponível na Internet via WWW. URL: http://www.aneel.gov.br/cgrh/estat/densidhf.htm. Arquivo capturado em 27 de dezembro de 1997a.

18 _____. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Densidade de estações pluviométricas por região, por Estado e por habitante - 1997**. [on line] Disponível na Internet via WWW. URL: http://www.aneel.gov.br/cgrh/estat/densidhp.htm. Arquivo capturado em 27 de dezembro de 1997b.

19 _____. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Rede básica hidrometeorológica nacional**. [on line] Disponível na Internet via WWW. URL: http://www.aneel.gov.br/cgrh/redebas.htm. Arquivo capturado em 27 de dezembro de 1997c.

20 _____. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Situação da consistência de dados fluviométricos em 1997**. Bacias hidrográficas - ANEEL. [on line] Disponível na Internet via WWW. URL: http://www.aneel.gov.br/cgrh/estat/tcon_flu.htm. Arquivo capturado em 27 de dezembro de 1997d.

21 _____. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Situação da consistência de dados pluviométricos em 1997**. Bacias hidrográficas - ANEEL. [on line] Disponível na Internet via WWW. URL: http://www.aneel.gov.br/cgrh/estat/tcon_plu.htm. Arquivo capturado em 27 de dezembro de 1997e.

22 _____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Os Estados**. [on line] Disponível na Internet via WWW. URL: http://www.ibge.gov.br/geocientifica/geo.htm. Informações consultadas em 27 de dezembro de 1997f.

23 _____. Decreto nº 2.655 de 02 de julho de 1998. Regulamenta o Mercado Atacadista de Energia Elétrica, define as regras de organização do Operador Nacional do Sistema Elétrico, de que trata a Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, v.136, n.125, p.2-4, 3 jul. 1998.

24 _____. Embaixada do Brasil em Washington. **A otimização do sistema elétrico brasileiro**. [on line] Disponível na Internet via WWW. URL: http://www.brasil.emb.nw.dc.us/eear07ot.htm. Arquivo capturado em 06 de maio de 1998a.

25 _____. Embaixada do Brasil em Washington. **The future of the electrical energy sector**. [on line] Disponível na Internet via WWW. URL: http://www.brasil.emb.nw.dc.us/PATRI/brief46i.htm. Arquivo capturado em 26 de abril de 1998b.

26 _____. Ministério das Minas e Energia. **Acordo do mercado**. [on line] Disponível na Internet via WWW. URL: http://www.mme.gov.br/sen/sen1net.htm. Arquivo capturado em 20 de outubro de 1998c.

27 _____. Ministério das Minas e Energia. **Projeto de reestruturação do setor elétrico brasileiro**: sumário executivo: estágio VII. [on line] Disponível na Internet via WWW. URL: http://www.mme.gov.br/sen/sen1net.htm. Arquivo capturado em 20 de outubro de 1998d.

28 _____. Ministério das Minas e Energia. **Regras do MAE**. [on line] Disponível na Internet via WWW. URL: http://www.mme.gov.br/sen/sen1net.htm. Arquivo capturado em 20 de outubro de 1998e.

29 _____. Ministério das Minas e Energia. **Tópicos para a regulamentação da Lei 9.648/98, de 27.05.98**. [on line] Disponível na Internet via WWW. URL: http://www.mme.gov.br/sen/sen1net.htm. Arquivo capturado em 20 de outubro de 1998f.

30 _____. Ministério das Minas e Energia. Coordenação Geral de Recursos Hídricos. **Inventário das estações fluviométricas**. [on line] Arquivo magnético enviado para a autora em 10 de março de 1998g.

31 _____. Ministério das Minas e Energia. Coordenação Geral de Recursos Hídricos. **Inventário das estações pluviométricas**. [on line] Arquivo magnético enviado para a autora em 10 de março de 1998h.

32 _____. Ministério do Meio Ambiente e Reforma Agrária. **Recursos hídricos no Brasil**. [on line] Disponível na Internet via WWW. URL: http://www.mma.gov.br/port/SRH/politica.htm1. Arquivo capturado em 19 de abril de 1998i.

33 _____. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. **Rede de monitoramento**: critérios sugeridos pela O.M.M. [s.n.].

34 CASTOR SOBRINHO, Sady. Estudos hidrológicos visando uma pequena usina hidrelétrica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS (3.:1983: Blumenau) **Anais**... Blumenau: ABRH, 1983. p. 523-528.

35 COPEL. **Programa indicativo de expansão de geração da COPEL**. Curitiba, abr. 1998.

36 ELETROBRÁS. **Atuação da empresa**. [on line] Disponível na Internet via WWW. URL: http://www.eletrobras.gov.br/atuação.htm1. Arquivo capturado em 18 de janeiro de 1999.

37 _____. **Manual de inventário hidrelétrico de bacias hidrográficas**. Versão 1.0. v. 1, mar. 1997.

38 _____. **Metodologia para regionalização de vazões**. Rio de Janeiro, set. 1985.

39 FEIL, Alex Sandro. **Monografia sobre modelo institucional do setor elétrico.** Curitiba: Curso de Especialização em Gestão Técnica de Concessionárias de Energia Elétrica - UFPR/COPEL - Disciplina de Organização Institucional do Setor Elétrico, 1996.

40 FORTUNATO, Luiz Alberto M.; ARARIPE NETO, Tristão de Alencar; ALBUQUERQUE, João Carlos R. de et al. **Introdução ao planejamento da expansão e operação de sistemas de produção de energia elétrica**. Niterói: EDUFF, 1990.

41 GOMES, Júlio. Investigação sobre métodos de extrapolação da curva de descarga. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS (12.: 1997: Vitória) **Anais**... Vitória: ABRH, 1997.

42 GOMIDE, Francisco L. S. Estimativa de valores médios de variáveis hidrológicas. Parte I - Utilização da correlação: discussão de resultados existentes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA (3.: 1979: Brasília) **Anais**... Brasília: ABRH, 1979.

43 HIRSCH, Robert M. A comparison os four streamflow record extension techniques. **Water Resources Research**, v. 18, n. 4, p. 1081-1088, august 1982.

44 ILUMINA. **Tema em discussão: Novo modelo para energia elétrica**. [on line] Disponível na Internet via WWW. URL: http://www.ilumina.org.br/glb100197.htm. Arquivo capturado em 24 de abril de 1998.

45 JACCON, Gilbert; CUDO, Kazimierz Josef. **Hidrologia**: curva-chave: análise e traçado. Brasília: MME: DNAEE, 1989.

46 KAVISKI, Eloy. **Métodos de regionalização de eventos e parâmetros hidrológicos**. Curitiba, 1992. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) - Centro de Hidráulica e Hidrologia Professor Parigot de Souza, Universidade Federal do Paraná.

47 LARROSA, Eduardo A.; PETTENÁ, José Luiz. Hidrologia com escassez de dados em estudos de planejamento hidrelétrico na amazônia brasileira. **RBE - Caderno de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 1, p. 47-64, 1985.

48 LOPES, João E. G.; BRAGA FILHO, Benedito P.; CONEJO, João G. L. "SMAP a Simplified Hydrologic Model" in applied modelling in catchment hydrology. **Water Resources Publication**, 1982.

49 LÔU, Wellington Coimbra; ALBUQUERQUE, João Carlos; ORLEANS, Luiz Cláudio. Utilização de modelo de simulação de operação mensal no dimensionamento de UH´s. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS (6.: 1983: São Paulo) **Anais**... São Paulo: ABRH, 1983. p. 80-98.

50 MATOS NETO, C. E. de A..; FRAGA, N. S.; VIEIRA, L. A. de A. et al. Comparação de métodos para preenchimento de falhas de precipitação mensal na bacia do Rio Coreaú, Estado do Ceará. **RBE - Caderno de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 1, p. 21-49, 1990.

51 NIMER, Edson. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE: Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989.

52 OLADE/BID. **Módulo de despacho hidrotérmico (MODDHT)**: manual de referência. (s.l.), dez. 1993.

53 PINTO, Nelson L. de Souza; HOLTZ, Antonio Carlos Tatit; MARTINS, José Augusto et al. **Hidrologia básica**. São Paulo: Edgar Blücher; 1976.

54 RAMOS, Fábio; OCCHIPINTI, Antonio Garcia; VILLA NOVA, Nilson Augusto et al. **Engenharia Hidrológica**. Rio de Janeiro: ABRH: Ed. da UFRJ, 1989.

55 SANT'ANA, Ruy Fernando. **Aproveitamentos hidrelétricos de pequeno porte**: avaliação de custos e benefícios, modelo "Flash". Brasília, DNAEE, 1987.

56 STROBEL, O. M. Homogeneidade de séries temporais. **RBE - Caderno de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 1, p. 5-29, 1987.

57 TUCCI, Carlos E. M. Regionalização de curvas de regularização. **RBE - Caderno de Recursos Hídricos**, v. 9, n. 2, p. 53-70, 1991.

58 TUCCI, Carlos E. M et al. **Hidrologia:** ciência e aplicação. Porto Alegre: Ed. Da Universidade: ABRH: EDUSP, 1993.

59 UMBRIA, Fernando Camargo. **Modelo de previsão de preços de suprimento de energia elétrica no contexto do novo ambiente competitivo do setor elétrico brasileiro.** Curitiba, 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Centro de Hidráulica e Hidrologia Professor Parigot de Souza, Universidade federal do Paraná.

60 WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Hydrological network design and information transfer**. Geneva, 1976. (WMO - nº433)

61 ZUCARELLI, Graciela V.; MORRESI, Maria del Valle; BERTONI, Juan Carlos. Relações entre vazões e características fisiográficas de duas bacias da Argentina. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS (12.: 1997: Vitória) **Anais**... Vitória: ABRH, 1997.