

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA ENERGIA

**Modelo de Avaliação da Economia Hídrica de Reservatórios
Hidrelétricos em Operação**

Aloisio Caetano Ferreira

**Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia
da Energia como parte dos requisitos para obtenção do Título de
Mestre em Ciências em Engenharia da Energia**

Dezembro de 2007
Itajubá - MG

ALOISIO CAETANO FERREIRA

**MODELO DE AVALIAÇÃO DA ECONOMIA
HÍDRICA DE RESERVATÓRIOS
HIDRELÉTRICOS EM OPERAÇÃO**

Texto apresentado à Universidade
Federal de Itajubá para a obtenção do
título de Mestre em Engenharia da
Energia.

.

Orientador:

Prof. Dr. Afonso Henriques Moreira
Santos

Co-Orientador:

Prof. Dr. Arthur Benedicto Ottoni

ITAJUBÁ

2007

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Arthur Benedicto Ottoni pela amizade, dedicação, paciência e orientação.

Ao Prof. Dr. Afonso Henriques Moreira Santos pela orientação e ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

A meus pais Odair Ferreira e Maria José Caetano Ferreira, aos meus irmãos Andressa Caetano Ferreira e Anderson Caetano Ferreira e a minha avó Antônia Valério Caetano pelo apoio e carinho.

A minha noiva Samantha Parada pelo apoio incondicional, paciência, amor e pela ausência em função dos trabalhos.

Aos amigos e engenheiros Rodrigo Oliveira de Lucena e Luiz Alexandre de Barros Molinas pelo apoio nestes vários anos de convívio.

Aos membros do GPRH – UNIFEI (Cláudio Nogueira Netto e Denis de Souza Silva) pela ajuda nas análises e colaboração no desenvolvimento dos trabalhos.

Às Concessionárias de Energia elétrica que disponibilizaram os dados e tornaram possível o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Cnpq – CT HIDRO que através de apoio financeiro tornou possível o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	IV
LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE TABELAS	XIII
RESUMO	XVI
ABSTRACT	XVII
I APRESENTAÇÃO.....	1
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 JUSTIFICATIVA.....	1
1.2 IMPORTÂNCIA DO ASSUNTO.....	4
1.3 OBJETIVOS	5
1.4 CONTRIBUIÇÕES DO ESTUDO.....	6
1.5 ORIGINALIDADE.....	6
2 METODOLOGIA.....	8
II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3 REGIME HIDROLÓGICO NATURAL DOS CURSOS D'ÁGUA	11
3.1 INTRODUÇÃO	11
3.2 BACIA HIDROGRÁFICA.....	11
3.2.1 <i>Classificação das Bacias Hidrográficas.....</i>	<i>12</i>
3.3 CICLO HIDROLÓGICO.....	19
3.4 INDICADORES DE REGIME HIDROLÓGICO.....	23
4 A IMPORTÂNCIA DA ÁGUA NOS PROCESSOS ANTRÓPICOS	27
4.1 INTRODUÇÃO	27
4.2 UTILIZAÇÃO DA ÁGUA NA AGRICULTURA	31
4.3 UTILIZAÇÃO DA ÁGUA NO SETOR INDUSTRIAL	34
4.4 UTILIZAÇÃO DA ÁGUA NO ABASTECIMENTO HUMANO.....	36
4.5 UTILIZAÇÃO DA ÁGUA NO SETOR ENERGÉTICO.....	38
4.6 TRANSPORTE HIDROVIÁRIO: NAVEGAÇÃO FLUVIAL.....	43
4.7 PISCICULTURA.....	45
4.8 TURISMO E LAZER.....	47
4.9 DEMANDAS HÍDRICAS E ALTERAÇÕES DO REGIME HIDROLÓGICO DA BACIA	47
5 REGULARIZAÇÃO DO REGIME DE CALHA FLUVIAL DA BACIA HIDROGRÁFICA: MANEJO HÍDRICO PONTUAL E ESPACIAL DE VAZÕES	49
5.1 IMPORTÂNCIA.....	49
5.2 MANEJO PONTUAL: RESERVATÓRIO DE ESTIAGEM.....	49
5.2.1 <i>Conceituação do Reservatório de Estiagem.....</i>	<i>49</i>
5.2.2 <i>Metodologias de Dimensionamento do Volume Útil.....</i>	<i>50</i>
5.2.3 <i>Operação dos Reservatórios de Estiagem.....</i>	<i>60</i>
5.2.4 <i>Metodologia de operação dos Reservatórios Hidrelétricos Gerenciados pelo ONS.....</i>	<i>63</i>
5.2.5 <i>Limitações da Metodologia de Regularização Pontual de Vazões.....</i>	<i>75</i>
5.3 EVOLUÇÃO DAS PESQUISAS DE REGULARIZAÇÃO DO REGIME HÍDRICO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS: REGULARIZAÇÃO ESPACIAL DE VAZÕES - REV	78
5.3.1 <i>Conceituação e Metodologia.....</i>	<i>79</i>
5.3.2 <i>Croquis das Obras e arranjos típicos.....</i>	<i>80</i>
5.3.3 <i>Influência da Regularização Espacial de Vazões – REV em Bacias Degradadas.....</i>	<i>85</i>
5.3.4 <i>Exemplo de aplicação da Regularização Espacial de Vazões – REV em Bacias Hidrográficas.....</i>	<i>87</i>
5.4 ANÁLISE COMPARATIVA DAS METODOLOGIAS DE MANEJO HÍDRICO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS	89

5.4.1	<i>Comparação quanto ao critério hidráulico</i>	90
5.4.2	<i>Comparação quanto ao critério ambiental</i>	90
5.4.3	<i>Quanto ao critério construtivo e social</i>	91
5.4.4	<i>Quanto ao critério econômico</i>	91
III – ESTADO DA ARTE		92
6 MODIFICAÇÕES NO REGIME HÍDRICO DOS CURSOS D’ÁGUA INFLUINDO NA EFICIÊNCIA HIDROLÓGICA DOS APROVEITAMENTOS EM OPERAÇÃO		92
6.1	INTRODUÇÃO	92
6.2	DETERMINAÇÃO DOS INDICADORES DE REGIME HIDROLÓGICO DA BACIAS ONDE ESTÃO IMPLANTADOS APROVEITAMENTOS HIDRELÉTRICOS	93
6.3	DETERMINAÇÃO DO VOLUME ÚTIL DOS APROVEITAMENTOS HIDRELÉTRICOS.....	97
6.3.1	<i>Calculo do Volume Útil dos Reservatórios em Análise pelo Diagrama de Rippl</i>	99
6.3.2	<i>Cálculo do Volume Útil dos Reservatórios em Análise pelo Método de Conti – Varlet</i>	116
6.3.3	<i>Determinação dos Valores Monetários Relativos a Influência da Degradação Ambiental da Bacia nos Reservatórios em Análise</i>	118
IV – ESTUDO DE CASO		122
7 ESTUDOS DE COMPROMETIMENTO HIDROLÓGICO DO VOLUME ÚTIL DE RESERVATÓRIOS EM OPERAÇÃO		122
7.1	ESTUDO DE CASO PARTE 1: RESULTADO DA ANÁLISE DOS INDICADORES DE REGIME HIDROLÓGICOS DOS APROVEITAMENTOS EM OPERAÇÃO	122
7.1.1	<i>Usina Hidrelétrica de Caconde</i>	122
7.1.2	<i>Usina Hidrelétrica de Camargos</i>	124
7.1.3	<i>Usina Hidrelétrica de Foz do areia</i>	127
7.1.4	<i>Usina Hidrelétrica de Funil</i>	130
7.1.5	<i>Usina Hidrelétrica de Furnas</i>	133
7.1.6	<i>Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira</i>	136
7.1.7	<i>Usina Hidrelétrica de Moxotó/Paulo Afonso IV</i>	138
7.1.8	<i>Usina Hidrelétrica de Santa Branca</i>	141
7.1.9	<i>Usina Hidrelétrica de Sobradinho</i>	143
7.1.10	<i>Usina Hidrelétrica de Três Marias</i>	146
7.2	ESTUDO DE CASO PARTE 2: RESULTADOS DA ANÁLISE DO VOLUME ÚTIL DE RESERVATÓRIOS COMO FATOR COMPROVADOR DA EFICIÊNCIA HIDROLÓGICA DOS APROVEITAMENTOS EM OPERAÇÃO	148
7.3	ANÁLISES DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	158
V – CONCLUSÕES E BIBLIOGRAFIA		165
8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES		165
9 BIBLIOGRAFIA		169
ANEXO A – ESTUDOS DE COMPORTAMENTO DAS POPULAÇÕES E DO SETOR INDUSTRIAL		174
ANEXO B – DADOS HISTÓRICOS DE VAZÕES DOS APROVEITAMENTOS HIDRELETRICOS ANALISADOS		182
ANEXO C – ESTUDOS DOS INDICADORES DE REGIME HIDROLÓGICO DOS CORPOS HIDRICOS – APRESENTAÇÃO DAS CURVAS DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES		213
ANEXO D – ESTUDO DO COMPROMETIMENTO HIDROLÓGICO DO VOLUME ÚTIL – APRESENTAÇÃO DOS DIAGRAMAS DE RIPPL PARA A SÉRIE HISTORICA COMPLETA		229
ANEXO E – ESTUDO DO COMPROMETIMENTO HIDROLÓGICO DO VOLUME ÚTIL – APRESENTAÇÃO DOS DIAGRAMAS DE RIPPL PARA OS “TAS” IDENTIFICADOS		250

ANEXO F – ESTUDO DO COMPROMETIMENTO HIDROLÓGICO DO VOLUME ÚTIL – APRESENTAÇÃO DOS GRÁFICOS RESPOSTA DO PROGRAMA “CONTI” PARA OS “TAS” IDENTIFICADOS	266
ANEXO G – ESTUDO DO COMPROMETIMENTO HIDROLÓGICO DO VOLUME ÚTIL – APRESENTAÇÃO DOS GRÁFICOS DE COTA X ÁREA X VOLUME DOS APROVEITAMENTOS ANALISADOS	297

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 – BACIA HIDROGRÁFICA E HIDRO-GEOLÓGICA.(FONTE: OTTONI 2007, “PLANEJAMENTO DOS SISTEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS”, APOSTILA DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE, UNIFEI, ITAJUBÁ – MG)	12
FIGURA 3.2 – ESTUDO DO RELEVO DE UMA BACIA: ZONEAMENTO HIDROGENÉTICO..(FONTE: OTTONI 2007, “PLANEJAMENTO DOS SISTEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS”, APOSTILA DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE, UNIFEI, ITAJUBÁ – MG)	14
FIGURA 3.3 – TENDÊNCIAS DA EVOLUÇÃO OCUPACIONAL DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA (FONTE: CLASSIFICAÇÃO AMBIENTAL DE CURSOS D’ÁGUA; OTTONI, A. B; EXAME DE PRÉ-QUALIFICAÇÃO DE DOUTORADO; COPPE/UFRJ; RIO DE JANEIRO; 2001).	18
FIGURA 3.4 – CICLO HIDROLÓGICO. (FONTE: INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DA USP – IGC, DISPONÍVEL EM HTTP://WWW.IGC.USP.BR/GEOLOGIA/AGUAS_SUBTERRANEAS.PHP , ACESSADO EM 05/2007)	19
FIGURA 3.5 – MESETAS HOMEOSTÁTICAS (FONTE:PLANEJAMENTO DOS SISTEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS, APOSTILA DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE, IRN/UNIFEI, 2007,ITAJUBÁ – MG).....	21
FIGURA 3.6 – REGIME HIDROLÓGICO CARACTERÍSTICO DA OCUPAÇÃO NO TEMPO DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA. (FONTE: PLANEJAMENTO DOS SISTEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS, APOSTILA DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE, IRN/UNIFEI, 2007,ITAJUBÁ – MG)	22
FIGURA 3.7 – RELACIONAMENTO DO HOMEM NO ECOSISTEMA CONTINENTAL–TETRAEDRO VITAL. (FONTE: PLANEJAMENTO DOS SISTEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS, APOSTILA DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE, IRN/UNIFEI, 2007,ITAJUBÁ – MG)	25
FIGURA 4.1 – DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO MUNDO (FONTE: ANA (2006), “A ÁGUA NO BRASIL E NO MUNDO”).....	27
FIGURA 4.2 – DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA DOCE SUPERFICIAL NO MUNDO (FONTE: ANA (2006), “A ÁGUA NO BRASIL E NO MUNDO”).....	28
FIGURA 4.3 – MAIORES RIOS DO MUNDO EM DESCARGA LÍQUIDA (FONTE: ANA (2006), “A ÁGUA NO BRASIL E NO MUNDO”).....	28
FIGURA 4.5 – DISPONIBILIDADE HÍDRICA POR HABITANTE (FONTE: “A EVOLUÇÃO DA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL”, AGENCIA NACIONAL DE ÁGUA – ANA, MARÇO 2002)	30
FIGURA 4.7 – DISTRIBUIÇÃO DA IRRIGAÇÃO NO BRASIL EM 2001 (FONTE: ITABORAHY, [ET AL.], “AGRICULTURA IRRIGADA E O USO RACIONAL DA ÁGUA”, AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS –ANA, BRASÍLIA, 2004.).....	33
FIGURA 4.8 – CONSUMO DE ÁGUA PARA USO DOMÉSTICO NO BRASIL, EM UNIDADES POR SISTEMAS PÚBLICOS (FONTE: LANNA, A. E. ECONOMIA DOS RECURSOS HÍDRICOS. PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL IPH/UFRGS, TEXTO DE REFERÊNCIA DA DISCIPLINA HIDP-04 ECONOMIA DOS RECURSOS HÍDRICOS. RIO GRANDE DO SUL, 2001.).....	37

FIGURA 4.9 – OFERTA MUNDIAL DE ENERGIA EM 2003. (FONTE: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME, 2006, “APRESENTAÇÃO PROINFRA RESULTADOS E ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTO”.)	39
FIGURA 4.10 – CAPACIDADES INSTALADAS EM USINAS HIDRELÉTRICAS NO MUNDO (1999). (FONTE: AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL (2005), “ATLAS DA ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL”, DISPONÍVEL EM: HTTP://WWW.ELETROBRAS.GOV.BR/ .)	40
FIGURA 4.11 – MOVIMENTAÇÃO DE CARGAS DE LONGAS DISTÂNCIAS (FONTE: SECRETARIA DE ESTADO DOS TRANSPORTES, DEPARTAMENTO HIDROVIÁRIO. APRESENTAÇÃO VISITA TÉCNICA, 2006)	44
FIGURA 4.12 – PRINCIPAIS TERMINAIS HIDROVIÁRIOS DA HIDROVIA TIETÊ – PARANÁ (FONTE: SECRETARIA DE ESTADO DOS TRANSPORTES, DEPARTAMENTO HIDROVIÁRIO. APRESENTAÇÃO VISITA TÉCNICA, 2006)	45
FIGURA 5.1 – DIMENSIONAMENTO E OPERAÇÃO DE RESERVATÓRIO DE ESTIAGEM (FONTE: ADAPTADO DE APOSTILA DE HIDROTÉCNICA CONTINENTAL - SOUZA 1974)	52
FIGURA 5.2 – PERÍODO DE OPERAÇÃO DE UM RESERVATÓRIO (FONTE: ADAPTADO DE APOSTILA DE HIDROTÉCNICA CONTINENTAL - SOUZA 1974)	54
FIGURA 5.3 – RESERVATÓRIO DE OPERAÇÃO ANUAL E PLURIANUAL (FONTE: ADAPTADO DE APOSTILA DE HIDROTÉCNICA CONTINENTAL - SOUZA 1974)	54
FIGURA 5.4 – CURVA COTA X ÁREA X VOLUME DA BACIA HIDRÁULICA DO RESERVATÓRIO (FONTE: ADAPTADO DE APOSTILA DE HIDROTÉCNICA CONTINENTAL - SOUZA 1974)	55
FIGURA 5.5 – CÁLCULO DO VOLUME ÚTIL COM CORREÇÃO DE EVAPORAÇÃO (FONTE: ADAPTADO DE APOSTILA DE HIDROTÉCNICA CONTINENTAL - SOUZA 1974)	56
FIGURA 5.6 – DETERMINAÇÃO DO VOLUME ÚTIL PARA REGULARIZAÇÃO DE UMA DADA VAZÃO – CORREÇÃO DA EVAPORAÇÃO – MÉTODOS DE RIPPL E RIPPL MODIFICADO (FONTE: ADAPTADO DE APOSTILA DE HIDROTÉCNICA CONTINENTAL - SOUZA 1974)	57
FIGURA 5.7 – DIAGRAMA DE CONTI-VARLET PARA A UHE ILHA SOLTEIRA	59
FIGURA 5.8 – GRÁFICO DAS VAZÕES REGULARIZADAS “IDEAIS” OBTIDAS PELO DIAGRAMA DE CONTI-VARLET PARA A UHE ILHA SOLTEIRA	60
FIGURA 5.9 – GRÁFICO ELUCIDATIVO DOS ESQUEMAS OPERACIONAIS DOS RESERVATÓRIOS DE ESTIAGEM (FONTE: NETTO, T. B. O.; MANEJO HÍDRICO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS; TESE DE PROFESSOR TITULAR; EE/UFRJ; RIO DE JANEIRO; 1983)	61
FIGURA 5.10 – RESERVATÓRIO DE FURNAS NA CIDADE DE FAMA EM 2001 (FONTE: CERNE – UNIFEI 2005)	64
FIGURA 5.11 – RESERVATÓRIO DE FURNAS NA CIDADE DE FAMA EM 2003 (FONTE: CERNE – UNIFEI 2005)	64
FIGURA 5.12 – RESERVATÓRIO DE FURNAS NA CIDADE DE CARMO DO RIO CLARO EM 2001 (FONTE: CERNE – UNIFEI 2005)	64
FIGURA 5.13 – RESERVATÓRIO DE FURNAS NA CIDADE DE CARMO DO RIO CLARO EM 2003 (FONTE: CERNE – UNIFEI 2005)	64

FIGURA 5.14 – RESERVATÓRIO DE FURNAS NA CIDADE DE CAPITÓLIO EM 2001 (FONTE: CERNE – UNIFEI 2005).....	64
FIGURA 5.15 – RESERVATÓRIO DE FURNAS NA CIDADE DE CAPITÓLIO EM 2003 (FONTE: CERNE – UNIFEI 2005).....	64
FIGURA 5.16 – FUNCIONAMENTO DO VOLUME DE ESPERA EM RESERVATÓRIOS DO SIN (FONTE: MODIFICADO DE ARTEIRO (2006), “INFLUÊNCIA DOS ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS E DE USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA NA OPERAÇÃO DE USINA HIDRELÉTRICAS E REFLEXOS NAS COMUNIDADES ENVOLVIDAS”, TEXTO APRESENTADO NO WORKSHOP: “INFLUÊNCIA DOS ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS” NA OPERAÇÃO DO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL, BRASÍLIA – 2006).....	67
FIGURA 5.17 – EXEMPLO METODOLÓGICO DA CONSTRUÇÃO DE UMA CURVA DE AVERSÃO AO RISCO (FONTE: ONS 2002, DIRETRIZES E CRITÉRIOS PARA ESTUDOS ENERGÉTICOS – SUBMÓDULO 23.4; DISPONÍVEL EM WWW.ONS.ORG.BR) (OBS: EAR- ENERGIA ARMAZENADA NO SISTEMA EM QUESTÃO)	71
FIGURA 5.18 – CURVA DE AVERSÃO AO RISCO DA REGIÃO SUDESTE / CENTRO-OESTE PARA O PERÍODO 2006-2007. (FONTE: ONS 2007; DISPONÍVEL EM WWW.ONS.ORG.BR).....	72
FIGURA 5.19 – CADEIA DE IMPACTOS AMBIENTAIS MAIS SUGESTIVOS DE UM EMPREENDIMENTO HIDRÁULICO (FONTE: “SUGESTÕES PARA A CLASSIFICAÇÃO ECOLÓGICA DE CURSOS D’ÁGUA A PARTIR DO CONHECIMENTO DO SEU REGIME HÍDRICO”; OTTONI A. B.; SEMINÁRIO DO EXAME DE QUALIFICAÇÃO DE DOUTORADO; COPPE/ UFRJ; RIO DE JANEIRO; 2001).....	77
FIGURA 5.20 – CROQUI ESQUEMÁTICO DAS OBRAS DE RECARGA: SOLEIRA DE ENCOSTA (FONTE: AÇÕES SANITÁRIAS E AMBIENTAIS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS; OTTONI, A. B. ; TESE DE MESTRADO; ENSP/FIOCRUZ; RIO DE JANEIRO; 1996)	80
FIGURA 5.21 –CROQUI ESQUEMÁTICO DAS OBRAS DE RECARGA: VALAS DE TERRACEAMENTO (FONTE: AÇÕES SANITÁRIAS E AMBIENTAIS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS; OTTONI, A. B.; TESE DE MESTRADO; ENSP/FIOCRUZ; RIO DE JANEIRO; 1996)	80
FIGURA 5.22 –CROQUI ESQUEMÁTICO DAS OBRAS DE RECARGA: BACIAS DE RECARGA (FONTE: AÇÕES SANITÁRIAS E AMBIENTAIS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS; OTTONI, A. B. ; TESE DE MESTRADO; ENSP/FIOCRUZ; RIO DE JANEIRO; 1996)	81
FIGURA 5.23 – CROQUI DA DISPOSIÇÃO GERAL DAS OBRAS E ATUAÇÕES DE RECARGA NAS ENCOSTAS E PLANÍCIE DE UMA BACIA. (FONTE: AÇÕES SANITÁRIAS E AMBIENTAIS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS; OTTONI, A. B. ; TESE DE MESTRADO; ENSP/FIOCRUZ; RIO DE JANEIRO; 1996)	82
FIGURA 5.24 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DAS SOLEIRAS DE ADMITÂNCIA IMPLANTADA NA CALHA FLUVIAL EM “CASCATA”(SÉRIE) (FONTE: AÇÕES SANITÁRIAS E AMBIENTAIS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS; OTTONI, A. B. ; TESE DE MESTRADO; ENSP/FIOCRUZ; RIO DE JANEIRO; 1996)	84
FIGURA 5.25 – CROQUIS DA DISPOSIÇÃO GERAL DAS OBRAS E ATUAÇÕES DE RECARGA NAS ENCOSTAS E PLANÍCIES DE UMA BACIA. CONCEITOS HIDROLÓGICOS DO MÉTODO (FONTE: AÇÕES SANITÁRIAS E AMBIENTAIS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS; OTTONI, A. B. ; TESE DE MESTRADO; ENSP/FIOCRUZ; RIO DE JANEIRO; 1996)	85
FIGURA 5.26 – REGULARIZAÇÃO ESPACIAL DA BACIA DE JIUYUAN. (FONTE: NETTO, T. B. O.; MANEJO HÍDRICO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS; TESE DE PROFESSOR TITULAR; EE/UFRJ; RIO DE JANEIRO; 1983)	88

FIGURA 6.1 - MUDANÇAS DOS INDICADORES DO REGIME HIDROLÓGICO NO TEMPO EM FUNÇÃO DE ALTERAÇÕES DOS CENÁRIOS DE PAISAGEM AMBIENTAL DA BACIA.....	93
FIGURA 6.2 – FOTO DO RIO PARAÍBA DO SUL – 1983 (FONTE: CASTILHO; LORENA, 2005; “METODOLOGIA DE AUTO DEPURAÇÃO DOS CURSOS D’ÁGUA COMO FERRAMENTA PARA ENQUADRAMENTO NO LANÇAMENTO DE EFLUENTES”; TRABALHO DE DIPLOMA; IRN/UNIFEI; ITAJUBÁ; MG)	94
FIGURA 6.3 - FOTO DO RIO PARAÍBA DO SUL – 2002 (FONTE: CASTILHO; LORENA, 2005; “METODOLOGIA DE AUTO DEPURAÇÃO DOS CURSOS D’ÁGUA COMO FERRAMENTA PARA ENQUADRAMENTO NO LANÇAMENTO DE EFLUENTES”; TRABALHO DE DIPLOMA; IRN/UNIFEI; ITAJUBÁ; MG)	94
FIGURA 6.4 – LOCALIZAÇÃO DOS APROVEITAMENTOS EM OPERAÇÃO ANALISADOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO SÃO FRANCISCO E DO ATLÂNTICO, TRECHO LESTE (FONTE: ESRI ARCEXPLORER™ (1997).A GIS DATA EXPLORER BUILT WITH MAPOBJECTS™ TECHNOLOGY. DISPONÍVEL EM: HTTP://WWW.ESRI.COM/SOFTWARE/ARCEXPLORER/INDEX .HTML ; ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, INC.).....	96
FIGURA 6.5 – LOCALIZAÇÃO DOS APROVEITAMENTOS EM OPERAÇÃO ANALISADOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANÁ (FONTE: ESRI ARCEXPLORER™ (1997).A GIS DATA EXPLORER BUILT WITH MAPOBJECTS™ TECHNOLOGY. DISPONÍVEL EM: HTTP://WWW.ESRI.COM/SOFTWARE/ARCEXPLORER/INDEX .HTML ; ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, INC.).....	96
FIGURA 7.1- VISTA DA BARRAGEM E RESERVATÓRIO DE CACONDE. (FONTE: AES TIÊTE, DISPONÍVEL EM WWW.AESTIETE.COM.BR).....	122
FIGURA 7.2 – DETALHE USINA DE CACONDE. (FONTE: PREFEITURA DE CACONDE, DISPONÍVEL EM WWW.CACONDESP.COM.BR).....	122
FIGURA 7.3 – DETALHE RESERVATÓRIO DA UHE CACONDE. (FONTE: GOOGLE. (2005) APUT TERRAMETRICS (2007), MAPLINK/TELEATLAS (2007), EUROPA TECNOLOGIES (2007) – “GOOGLE EARTH V. 3.0.0693 (BETA)“, GOOGLE CORPORATION, INC.).....	123
FIGURA 7.4 – CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICO – OPERATIVAS DA UHE CACONDE (FONTE: ESRI ARCEXPLORER™ (1997). A GIS DATA EXPLORER BUILT WITH MAPOBJECTS™ TECHNOLOGY. DISPONÍVEL EM: HTTP://WWW.ESRI.COM/SOFTWARE/ARCEXPLORER/INDEX .HTML ; ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, INC.).....	123
FIGURA 7.5 – DETALHE BARRAGEM DA UHE CAMARGOS. (FONTE: CEMIG, DISPONÍVEL EM WWW.CEMIG.COM.BR).....	125
FIGURA 7.6 – VISTA RESERVATÓRIO DA UHE CAMARGOS. (FONTE: INSTITUTO ESTRADA REAL, DISPONÍVEL EM WWW.ESTRADAREAL.ORG.BR)	125
FIGURA 7.7 – DETALHE RESERVATÓRIO DA UHE CAMARGOS (FONTE: GOOGLE. (2005) APUT TERRAMETRICS (2007), MAPLINK/TELEATLAS (2007), EUROPA TECNOLOGIES (2007) – “GOOGLE EARTH V. 3.0.0693 (BETA)“, GOOGLE CORPORATION, INC.).....	125
FIGURA 7.8 – CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICO – OPERATIVAS DA UHE CAMARGOS (FONTE: ESRI ARCEXPLORER™ (1997). A GIS DATA EXPLORER BUILT WITH MAPOBJECTS™ TECHNOLOGY. DISPONÍVEL EM: HTTP://WWW.ESRI.COM/SOFTWARE/ARCEXPLORER/INDEX .HTML ; ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, INC.).....	126

FIGURA 7.9 – DETALHE BARRAGEM DA UHE FOZ DO AREIA. (FONTE: GOOGLE. (2005) APUT TERRAMETRICS (2007), MAPLINK/TELEATLAS (2007), EUROPA TECNOLOGIES (2007) – “GOOGLE EARTH V. 3.0.0693 (BETA)“, GOOGLE CORPORATION, INC.).....	128
FIGURA 7.10 – DETALHE RESERVATÓRIO DA UHE FOZ DO AREIA. (FONTE: GOOGLE. (2005) APUT TERRAMETRICS (2007), MAPLINK/TELEATLAS (2007), EUROPA TECNOLOGIES (2007) – “GOOGLE EARTH V. 3.0.0693 (BETA)“, GOOGLE CORPORATION, INC.).....	128
FIGURA 7.11 – CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICO – OPERATIVAS DA UHE FOZ DO AREIA (FONTE: ESRI ARCEXPLORER™ (1997). A GIS DATA EXPLORER BUILT WITH MAPOBJECTS™ TECHNOLOGY. DISPONÍVEL EM: HTTP://WWW.ESRI.COM/SOFTWARE/ARCEXPLORER/INDEX .HTML ; ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, INC.).....	129
FIGURA 7.14 – CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICO – OPERATIVAS DA UHE FUNIL (FONTE: ESRI ARCEXPLORER™ (1997). A GIS DATA EXPLORER BUILT WITH MAPOBJECTS™ TECHNOLOGY. DISPONÍVEL EM: HTTP://WWW.ESRI.COM/SOFTWARE/ARCEXPLORER/INDEX .HTML ; ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, INC.).....	132
FIGURA 7.15 – DETALHE BARRAGEM DA UHE FURNAS. (FONTE: GOOGLE. (2005) APUT TERRAMETRICS (2007), MAPLINK/TELEATLAS (2007), EUROPA TECNOLOGIES (2007) – “GOOGLE EARTH V. 3.0.0693 (BETA)“, GOOGLE CORPORATION, INC.).....	134
FIGURA 7.16 – DETALHE RESERVATÓRIO DA UHE FURNAS. (FONTE: GOOGLE. (2005) APUT TERRAMETRICS (2007), MAPLINK/TELEATLAS (2007), EUROPA TECNOLOGIES (2007) – “GOOGLE EARTH V. 3.0.0693 (BETA)“, GOOGLE CORPORATION, INC.).....	134
FIGURA 7.17 – CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICO – OPERATIVAS DA UHE FURNAS (FONTE: ESRI ARCEXPLORER™ (1997). A GIS DATA EXPLORER BUILT WITH MAPOBJECTS™ TECHNOLOGY. DISPONÍVEL EM: HTTP://WWW.ESRI.COM/SOFTWARE/ARCEXPLORER/INDEX .HTML ; ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, INC.).....	135
FIGURA 7.18 – DETALHE BARRAGEM DA UHE ILHA SOLTEIRA. (FONTE: GOOGLE. (2005) APUT TERRAMETRICS (2007), MAPLINK/TELEATLAS (2007), EUROPA TECNOLOGIES (2007) – “GOOGLE EARTH V. 3.0.0693 (BETA)“, GOOGLE CORPORATION, INC.).....	136
FIGURA 7.19 – DETALHE RESERVATÓRIO DA UHE ILHA SOLTEIRA. (FONTE: GOOGLE. (2005) APUT TERRAMETRICS (2007), MAPLINK/TELEATLAS (2007), EUROPA TECNOLOGIES (2007) – “GOOGLE EARTH V. 3.0.0693 (BETA)“, GOOGLE CORPORATION, INC.).....	137
FIGURA 7.20 – CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICO – OPERATIVAS DA UHE ILHA SOLTEIRA (FONTE: ESRI ARCEXPLORER™ (1997). A GIS DATA EXPLORER BUILT WITH MAPOBJECTS™ TECHNOLOGY. DISPONÍVEL EM: HTTP://WWW.ESRI.COM/SOFTWARE/ARCEXPLORER/INDEX .HTML ; ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, INC.).....	137
FIGURA 7.21 – DETALHE UHE MOXOTÓ (FONTE: OTTO BAUMGART S.A. (2005), DISPONÍVEL EM WWW.VEDACIT.COM.BR).....	139
FIGURA 7.22 – DETALHE UHE PAULO AFONSO IV (FONTE: MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES (2007), DISPONÍVEL EM WWW.TRANSPORTES.GOV.BR).....	139
FIGURA 7.23 – DETALHE RESERVATÓRIO DA UHE MOXOTÓ/PULO AFONSO IV. (FONTE: GOOGLE. (2005) APUT TERRAMETRICS (2007), MAPLINK/TELEATLAS (2007), EUROPA TECNOLOGIES (2007) – “GOOGLE EARTH V. 3.0.0693 (BETA)“, GOOGLE CORPORATION, INC.).....	139

FIGURA 7.24 – CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICO – OPERATIVAS DA UHE MOXOTÓ (FONTE: ESRI ARCEXPLORER™ (1997). A GIS DATA EXPLORER BUILT WITH MAPOBJECTS™ TECHNOLOGY. DISPONÍVEL EM: HTTP://WWW.ESRI.COM/SOFTWARE/ARCEXPLORER/INDEX .HTML ; ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, INC.).....	140
FIGURA 7.25 – DETALHE BARRAGEM DA UHE SANTA BRANCA. (FONTE: LIGHT ENERGIA, DISPONÍVEL EM WWW.LIGHTENERGIA.COM.BR).....	141
FIGURA 7.26 – PARQUE GERADOR LIGHT ENERGIA. (FONTE: LIGHT ENERGIA, DISPONÍVEL EM WWW.LIGHTENERGIA.COM.BR).....	141
FIGURA 7.27 – DETALHE RESERVATÓRIO DA UHE SANTA BRANCA. (FONTE: GOOGLE. (2005) APUT TERRAMETRICS (2007), MAPLINK/TELEATLAS (2007), EUROPA TECNOLOGIES (2007) – “GOOGLE EARTH V. 3.0.0693 (BETA)“, GOOGLE CORPORATION, INC.).....	142
FIGURA 7.28 – CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICO – OPERATIVAS DA UHE SANTA BRANCA (FONTE: ESRI ARCEXPLORER™ (1997). A GIS DATA EXPLORER BUILT WITH MAPOBJECTS™ TECHNOLOGY. DISPONÍVEL EM: HTTP://WWW.ESRI.COM/SOFTWARE/ARCEXPLORER/INDEX .HTML ; ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, INC.).....	142
FIGURA 7.29 – DETALHE BARRAGEM DA UHE SOBRADINHO. (FONTE: GOOGLE. (2005) APUT TERRAMETRICS (2007), MAPLINK/TELEATLAS (2007), EUROPA TECNOLOGIES (2007) – “GOOGLE EARTH V. 3.0.0693 (BETA)“, GOOGLE CORPORATION, INC.).....	144
FIGURA 7.30 – DETALHE RESERVATÓRIO DA UHE SOBRADINHO. (FONTE: GOOGLE. (2005) APUT TERRAMETRICS (2007), MAPLINK/TELEATLAS (2007), EUROPA TECNOLOGIES (2007) – “GOOGLE EARTH V. 3.0.0693 (BETA)“, GOOGLE CORPORATION, INC.).....	144
FIGURA 7.31 – CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICO – OPERATIVAS DA UHE SOBRADINHO (FONTE: ESRI ARCEXPLORER™ (1997). A GIS DATA EXPLORER BUILT WITH MAPOBJECTS™ TECHNOLOGY. DISPONÍVEL EM: HTTP://WWW.ESRI.COM/SOFTWARE/ARCEXPLORER/INDEX .HTML ; ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, INC.).....	145
FIGURA 7.32 – DETALHE BARRAGEM DA UHE TRÊS MARIAS. (FONTE: GOOGLE. (2005) APUT TERRAMETRICS (2007), MAPLINK/TELEATLAS (2007), EUROPA TECNOLOGIES (2007) – “GOOGLE EARTH V. 3.0.0693 (BETA)“, GOOGLE CORPORATION, INC.).....	146
FIGURA 7.33– DETALHE RESERVATÓRIO DA UHE TRÊS MARIAS. (FONTE: GOOGLE. (2005) APUT TERRAMETRICS (2007), MAPLINK/TELEATLAS (2007), EUROPA TECNOLOGIES (2007) – “GOOGLE EARTH V. 3.0.0693 (BETA)“, GOOGLE CORPORATION, INC.).....	147
FIGURA 7.34 – CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICO – OPERATIVAS DA UHE TRÊS MARIAS (FONTE: ESRI ARCEXPLORER™ (1997). A GIS DATA EXPLORER BUILT WITH MAPOBJECTS™ TECHNOLOGY. DISPONÍVEL EM: HTTP://WWW.ESRI.COM/SOFTWARE/ARCEXPLORER/INDEX .HTML ; ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, INC.).....	147

LISTA DE TABELAS

<i>TABELA 4.1 – Cobertura de serviços de abastecimento de água e de coleta de esgotos domésticos no Brasil (Fonte: Lanna, A. E. Economia dos Recursos Hídricos. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental IPH/UFRGS, Texto de referência da disciplina HIDP-04 Economia dos Recursos Hídricos. Rio Grande do Sul, 2001.)</i>	38
<i>TABELA 4.2 – Potencial Hidrelétrico por Bacia (março de 2003) (Fonte: CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS (Eletrobrás). (jul/2005). Potencial Hidrelétrico Brasileiro (SIPOT – Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro). Disponível em http://www.eletrobras.gov.br.)</i>	41
<i>TABELA 4.3 – Índices de Aproveitamento por Bacia (março de 2003) (Fonte: CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS (Eletrobrás). (jul/2005). Potencial Hidrelétrico Brasileiro (SIPOT – Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro). Disponível em http://www.eletrobras.gov.br.)</i>	41
<i>TABELA 5.1 – Características Básicas das Centrais Hidrelétricas (Fonte: Adaptado de OTTONI 2005).</i>	78
<i>TABELA 6.1 – Períodos de Projeto e Operação dos Aproveitamentos</i>	97
<i>TABELA 6.3.1 – Municípios consumidores na área de influencia do reservatório da UHE Caconde</i>	100
<i>TABELA 6.3.2 – Municípios consumidores na área de influencia do reservatório da UHE Camargos</i>	101
<i>TABELA 6.3.3 – Municípios consumidores na área de influencia do reservatório da UHE ILHA Solteira</i>	101
<i>TABELA 6.3.4 – Municípios consumidores na área de influencia do reservatório da UHE Foz do Areia</i>	101
<i>TABELA 6.3.5 – Municípios consumidores na área de influencia do reservatório da UHE Funil</i>	102
<i>TABELA 6.3.6 – Municípios consumidores na área de influencia do reservatório da UHE Furnas</i>	102
<i>TABELA 6.3.7 – Municípios consumidores na área de influencia do reservatório da UHE Moxotó/Paulo Afonso IV</i>	102
<i>TABELA 6.3.8 – Municípios consumidores na área de influencia do reservatório da UHE Santa Branca</i>	103
<i>TABELA 6.3.9 – Municípios consumidores na área de influencia do reservatório da UHE Sobradinho</i>	103
<i>TABELA 6.3.10 – Municípios consumidores na área de influencia do reservatório da UHE Três Marias</i>	103

TABELA 6.3.11 – Consumo médio per capita no Brasil (Fonte NUNES (2006) com base nos SNIS de 2005).....	104
TABELA 6.3.12 - Disponibilidade e Demanda de Água, Regiões Hidrográficas Brasileiras (Fonte: ANA (2002) – adaptado de FGV/SRH/MMA (1998)).....	104
TABELA 6.3.13 - Cálculo da Demanda Humana na UHE Caconde.....	105
TABELA 6.3.14- Cálculo da Demanda Humana na UHE Camargos.....	105
TABELA 6.3.15- Cálculo da Demanda Humana na UHE Ilha Solteira.....	106
TABELA 6.3.16- Cálculo da Demanda Humana na UHE Foz do Areia.....	106
TABELA 6.3.17- Cálculo da Demanda Humana na UHE Funil.....	107
TABELA 6.3.18 - Cálculo da Demanda Humana na UHE Furnas.....	107
TABELA 6.3.19- Cálculo da Demanda Humana na UHE Moxotó/Paulo Afonso IV.....	108
TABELA 6.3.20- Cálculo da Demanda Humana na UHE Santa Branca.....	108
TABELA 6.3.21- Cálculo da Demanda Humana na UHE Sobradinho.....	108
TABELA 6.3.22- Cálculo da Demanda Humana na UHE Três Marias.....	109
TABELA 6.3.23 – Relação Indústrias Período de Projeto/Atual (fonte: IBGE 2006, “Estatísticas do Século XX – Estatísticas Econômicas”, disponível em www.ibge.gov.br).....	109
TABELA 6.3.24 – Demanda de Água Atual (Período de Operação) por Setor para as Bacias Hidrográficas Analisadas (Fonte: Confeccionado com base em ANA – 2002).....	110
TABELA 6.3.25 – Demanda de Água (Período de Projeto) por Setor para as Bacias Hidrográficas Analisadas (Fonte: Confeccionado com base em ANA – 2002).....	111
TABELA 6.3.26 – Demanda de água para o período de Projeto.....	111
TABELA 6.3.27 – Demanda de água para o período Atual (Operação 2006).....	112
TABELA 6.3.28 - Vazão regularizada nas principais usinas hidrelétricas (Fonte: ANA , “Plano Nacional de Recursos Hídricos – Panorama dos Recursos Hídricos no Brasil”, Brasília, março de 2006).....	113
TABELA 6.3.29 – Dados de Evaporação dos Reservatórios Analisados.....	116
TABELA 6.3.30 – Valores do Volume Útil Real de Projeto dos Reservatórios Analisados (Fonte: Concessionárias de energia elétrica).....	119
TABELA 6.3.31 – Dados do Reservatórios em Análise.....	119
TABELA 7.1 – Indicadores de Regime Hidrológico da UHE Caconde.....	124
TABELA 7.2 – Indicadores de Regime Hidrológico da UHE Camargos.....	127

<i>TABELA 7.3 – Indicadores de Regime Hidrológico da UHE Foz do Areia.....</i>	<i>130</i>
<i>TABELA 7.4 – Indicadores de Regime Hidrológico da UHE Funil</i>	<i>133</i>
<i>TABELA 7.5 – Indicadores de Regime Hidrológico da UHE Furnas.....</i>	<i>136</i>
<i>TABELA 7.6 – Indicadores de Regime Hidrológico da UHE Ilha Solteira.....</i>	<i>138</i>
<i>TABELA 7.7 – Indicadores de Regime Hidrológico da UHE Moxotó/Paulo Afonso 4.....</i>	<i>141</i>
<i>TABELA 7.8 – Indicadores de Regime Hidrológico da UHE Santa Branca.....</i>	<i>143</i>
<i>TABELA 7.9 – Indicadores de Regime Hidrológico da UHE Sobradinho</i>	<i>146</i>
<i>TABELA 7.10 – Indicadores de Regime Hidrológico da UHE Três Marias.....</i>	<i>148</i>
<i>TABELA 7.11 – Valores calculados para o volume útil dos reservatórios em operação utilizando Rippl com regularização total.....</i>	<i>150</i>
<i>TABELA 7.12– Valores calculados para o volume útil dos reservatórios em operação utilizando Rippl com TAS e Vazão de consumo</i>	<i>151</i>
<i>TABELA 7.13 – Valores calculados para o volume útil dos reservatórios em operação utilizando Conti-Varlet.....</i>	<i>152</i>
<i>TABELA 7.14 – Períodos de operação dos aproveitamentos analisados.....</i>	<i>153</i>
<i>TABELA 7.15 – Cotas do Nível d’água normal de operação dos aproveitamentos analisados</i>	<i>154</i>
<i>TABELA 7.16 – Quedas líquidas dos aproveitamentos analisados.....</i>	<i>154</i>
<i>TABELA 7.17– Potência calculada dos aproveitamentos analisados.....</i>	<i>155</i>
<i>TABELA 7.18 – Potência média gerada pelos aproveitamentos analisados.....</i>	<i>156</i>
<i>TABELA 7.19– Valores monetários referentes à influencia do comprometimento hidrológico do volume útil dos aproveitamentos analisados.....</i>	<i>157</i>

RESUMO

Ferreira, A. C. (2007). Modelo de Avaliação da Economia Hídrica de Reservatórios em Operação. Itajubá, 2007. 323p. Dissertação de Mestrado – Engenharia da Energia, Universidade Federal de Itajubá.

Conceituou-se bacia hidrográfica quanto ao aspecto de deterioração hidrológica e suas influências nos sistemas de recursos hídricos. Para tal faz-se uma análise da evolução da ocupação da bacia ao longo do tempo, concluindo que esta ocupação altera as características próprias da bacia, a ponto de influenciar o ciclo hidrológico, comprometendo as suas disponibilidades hídricas. Propõem-se indicadores hidrológicos para análise deste comprometimento hidrológico de bacias degradadas. Realçou-se a importância da água nos processos antrópicos, contrapondo esta importância com as tendências de carência hídrica das bacias degradadas. Descreveu-se os métodos estruturais e não estruturais de correção do regime hidrológico de bacias degradadas. Faz-se uma comparação destas metodologias, tomando por referência critérios hidráulicos, ambientais, construtivos, econômicos e sociais. A pesquisa no seu Estado da Arte analisa as influências energéticas – econômicas da deterioração no regime hídrico das bacias degradadas dos Aproveitamentos Hidrelétricos em Operação. Fez-se a validação da pesquisa analisando o balanço hidro – energético de reservatórios (10) hidrelétricos em operação localizados nas regiões S, SE, e NE. Concluiu-se a Pesquisa realçando a importância dos estudos da economia hídrica de bacias degradadas como subsídio de tomada de decisão para recuperação energética e financeira de reservatórios hidrelétricos em operação.

Palavras-chave:

Geração Hidrelétrica, Volume Útil, Deterioração Hidrológica, Indicadores de Regime Hidrológico de Bacias Degradadas, Perdas Energéticas – Financeiras de Reservatórios Hidrelétricos em Operação.

ABSTRACT

Ferreira, A. C. (2007). Modelo de Avaliação da Economia Hídrica de Reservatórios em Operação. Itajubá, 2007. 323p. Dissertação de Mestrado – Engenharia da Energia, Universidade Federal de Itajubá.

Appraise watershed how much to the aspect of hydrologic deterioration and its influence in the systems of hydric resources. For such an analysis of the evolution of the occupation of the watershed throughout the time becomes, concluding that this occupation modifies the proper characteristics of the watershed, the point to influence the hydrologic cycle, compromising its hydric availabilities. Indicating hydrologic for analysis of this hydrologic compromising of degraded watershed are considered. Enhance the importance of the water in the antrópicas processes, opposing this importance with the trends of hydric lack of the degraded watershed. Describe the structural and not structural methods of correction of the hydrologic regimen of degraded watershed. A comparison of these methodologies becomes, taking for reference hydraulical, ambient, constructive, economic and social criteria. The research in its State of the Art analyzes influences them energy - economic of deterioration in the hydric regimen of the degraded watershed of the Hydroelectric Exploitations in Operation. Make the validation of the research analyzing the rocking hidro - energy of reservoirs (10) hidroelectric in operation located in regions S, SE, and NE. Conclude the Research enhancing the importance of the studies of the hydric economy of degraded watershed as subsidy of taking of decision for energy and financial recovery of hidroelectric reservoirs in operation.

KEY WORDS:

Hydroelectric generation, Useful Volume, Hydrologic Deterioration, Pointers of Regimen Hydrologic of Degraded Watershed, Energy Losses - Financial of Hidroelectric Reservoirs in Operation.

I APRESENTAÇÃO

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

Tomando-se por referência o Modelo Energético Brasileiro, o mesmo tem nos Recursos Hídricos a sua principal matriz energética (cerca de 70% da energia elétrica total gerada). Este modelo iniciou o seu planejamento no século passado, a partir da década de 50 (médias e grandes centrais hidrelétricas), sendo o ano de 1952, através do governo Getúlio Vargas, o ano em que entrou em operação a primeira usina de médio porte de potência gerada, a Usina Hidrelétrica de Três Marias (CEMIG; P = 388 MW) no rio São Francisco. As décadas de 1960 até 1990 representaram o marco para os Projeto e Construção das Centrais Hidrelétricas de grande e médio porte: Furnas, Estreito, Porto Colômbia, Tucuruí, Itaipu, etc.

Os projetos hidráulicos dos reservatórios das centrais hidrelétricas a época baseavam-se em dados hidrológicos pretéritos, em que as condições e uso do solo das bacias eram representados por florestas, ou bacias com uso rural (agropastoral) disperso e matas nas áreas mais aclivosas. Este cenário de uso do solo da bacia facilitava o balanço hídrico entre as infiltrações (I) e o escoamento superficial (ES), sendo $I \gg ES$. Os processos erosivos e de perda do solo das bacias acompanhavam este equilíbrio entre (I) e (ES).

Como consequência, o nível d'água do lençol freático destas bacias estava sendo constantemente repleto, o que favorecia também a elevação do nível dos rios, os escoamentos superficiais das enchentes ocorriam com baixa frequência; os processos erosivos e de perda de solo limitavam às áreas isoladas iniciais desprotegidas das bacias; e os índices de turbidez da água dos rios que drenam as bacias apresentavam valores menores de sedimentos, compatíveis com os níveis de erosão e lixiviação do solo da bacia.

Neste cenário hidrológico e sedimentológico das bacias, o regime hídrico dos cursos d'água que drenam as bacias era estável, as perdas de água mínima e o rendimento em água maximizado. Para os projetos hidráulicos dos reservatórios e barramentos daquele período (1966 a 1999), selecionavam-se os períodos de anos secos (TAS) da série hidrológica disponível das bacias com essas condições hidrológicas. Os barramentos e reservatórios das usinas hidrelétricas de

regularização das centrais hidrelétricas foram implantados segundo essas condições de disponibilidades hídricas das bacias.

Considerando-se um intervalo de tempo futuro ($t = n$; $20 = n = 30$ anos) após o início de operação destas centrais hidrelétricas, as bacias onde foram implantadas sofreram pressões de ocupação: intensificação dos desmatamentos, aceleração dos processos agro-pastoris, incremento dos processos de urbanização das cidades, incentivos à agro-indústria, etc. Todos estes usos do solo sem um planejamento adequado, que levasse em conta um Plano Diretor Municipal compatível com as condições limites de controle homeostático das bacias. Sendo assim, as bacias, que nas condições passadas (de projeto) tinham um cenário de uso do solo do tipo florestada ou rural, nas condições futuras de $t = n$, foram modificadas para uso do solo do tipo rural-urbano.

Acrescido a este fator (antropismo nas bacias), as mudanças climáticas mundiais também se deterioraram, principalmente a partir da metade do século passado com o advento da Revolução Industrial, que catalisou os processos de lançamento de derivados do carbono a partir dos combustíveis fósseis (CO_2 , CO , etc.), como consequência dos aumentos das emissões atmosféricas oriundas dos processos antrópicos globais (indústrias, queimadas, veículos automotores). Este material particulado e gasoso lançado na atmosfera foi sendo gradativamente acumulado, no nível da altitude da Troposfera, criando uma camada espessa que dificultava que a irradiação solar refletida da superfície da terra fosse transferida às altitudes maiores que a Troposfera. Pelo contrário, ela ficava confinada às altitudes da Troposfera, o que facilitava o maior aquecimento do ar atmosférico neste nível. Este fenômeno, do “Efeito Estufa” ou “Aquecimento Global”, trás como consequências imediatas as mudanças climáticas mundiais e repercute no aumento da temperatura média da atmosfera, no derretimento de geleiras, no aumento do nível dos oceanos, no aumento das ocorrências dos efeitos climáticos extremos (cheias e estiagens), nas mudanças dos regimes pluviométricos, e no aumento da ocorrência dos ciclones. Todas essas alterações estão relacionadas aos recursos hídricos, conforme amplamente divulgado na mídia.

O fenômeno El-Niño e La-Niña, oriundo, respectivamente, do aquecimento e resfriamento das águas do oceano Pacífico, também é considerado um fenômeno climático que provoca modificações nos padrões climáticos mundiais, ocasionando condições climáticas críticas (secas e enchentes) quando o fenômeno se manifesta. SOUZA, D.J.R., na sua Tese de Livre Docência (EE/UFRJ; 1974) faz a seguinte

análise sobre os anos secos e úmidos de uma série hidrológica longa: “geralmente os anos secos ou úmidos não se dispõem isoladamente mais sim em seqüência, os chamados “Trens” de anos secos ou úmidos.

Muitas hipóteses têm sido levantadas sobre ciclos mais extensos que configurariam a tendência sistemática de recorrência de grandes enchentes ou estiagens, isto é, de anos ou trens de anos excepcionalmente úmidos ou secos.

A verificação dessas hipóteses é difícil e, apesar das inúmeras pesquisas que têm sido feitas, não há um consenso sobre sua veracidade.

A influência das manchas solares, que se ativam à intervalos regulares de 11 anos e outras causas terrestres ou extra-terrestres, têm sido estudadas, sem conduzir, até o momento, à conclusões objetivas”.

Na verdade, o que a Hidrologia à época (década de 70) considerava, estava relacionado ao fenômeno do El Niño e La Niña, que, pelo descrito, já vinha ocorrendo há bastante tempo. Em finais nos anos 80 é que as pesquisas identificam o fenômeno e hoje já se tem uma estatística de ocorrência para o El Niño e La Niña, que quando se manifestam, apresentam ciclos médios de 2 a 7 anos, que corresponde aos períodos de anos secos e úmidos adotados nos estudos hidrológicos. Pesquisas atuais apontam que o aquecimento global (Efeito Estufa) tendem a intensificar, em freqüência e intensidade, o fenômeno e mais uma vez estas alterações estão relacionadas aos recursos hídricos.

A conjugação dos cenários de uso do solo das bacias onde estão implantados reservatórios hidrelétricos de uso múltiplo, para $t = n$ (bacias do tipo rural-urbana; maiores condições de impermeabilização) com as mudanças climáticas mundiais oriundas do efeito estufa e do El Niño/La Niña justifica o que vem ocorrendo atualmente com o regime hidrológico e sedimentológico destas unidades de gestão: maior intensificação dos escoamentos superficiais de encostas/planície/calha fluvial, favorecendo a ocorrência de enchentes freqüentes e críticas ($ES \gg I$); aumento do processo erosivo do solo de encosta/planície, favorecendo a perda de solo produtivo, assim como o aumento da carga de sedimentos nos cursos d'água; deterioração da qualidade da água dos cursos d'água por lançamento de efluentes industriais, agrotóxicos em geral e esgotos domésticos; redução das vazões escoadas na calha fluvial nos períodos de estiagem, na medida que foram desperdiçadas (perdas d'água) no período chuvoso do ano hidrológico pelo aumento do escoamento superficial mais intenso (redução

da produtividade hídrica); períodos mais críticos de trens de anos secos e úmidos; etc.

As centrais hidrelétricas com reservatórios de uso múltiplo implantadas em bacias degradadas (estas centrais hidrelétricas interligadas ao Sistema Interligado Nacional - SIN) tal como acima referido, são influenciadas pelas condições de deterioração hidrológica dos rios que drenam tais bacias. O setor elétrico procura gerenciar esta problemática estimulando a gestão do SIN pelo ONS. Neste sentido a operação destas usinas é realizada segundo restrições hidráulicas operativas coordenadas pelo ONS: Volume de Espera, Curva de Aversão ao Risco, Cotas Fluviométricas Controladas a Montante e a Jusante dos Reservatórios, etc.

A presente Dissertação, portanto, se justifica, na medida que será realizada uma análise das disponibilidades hídricas de bacias degradadas, onde estão implantados reservatórios hidrelétricos, com cenários de uso do solo semelhantes à abordagem acima referida (bacias rurais-urbanas), comparando as disponibilidades hídricas das bacias degradadas para os períodos de projeto (condições pretéritas) e de operação (condições atuais) dos empreendimentos hidrelétricos, de modo a se avaliar, ao final, o comprometimento hidrológico do volume útil (destes reservatórios hidrelétricos) plurianuais destas usinas para estes dois períodos, face as condições de degradação ambiental das bacias e as influências das mudanças climáticas globais, sendo avaliado, também, as perdas energéticas-econômicas decorrentes destas deteriorações hidrológica-ambiental nestas bacias. Pretende-se validar a pesquisa fazendo-se a simulação em alguns reservatórios hidrelétricos em operação.

1.2 Importância do assunto

Levando-se em conta:

- a) Que o recurso água é um fator propulsor ao progresso e bem-estar das comunidades;
- b) Que a água nas bacias degradadas tem mostrado ser é um recurso natural limitado não renovável, face as condições de deterioração ambiental destas unidades de Gestão;
- c) Que esta degradação ambiental tem ocasionado o aumento na ocorrência de flutuações hidrológicas críticas (enchentes/estiagens) destas bacias

hidrográficas, o que acaba por afetar a sua biodiversidade e os usuários nela implantados;

- d) Que a análise da relação oferta de água (baixa e comprometida) versus a demanda de água (alta, com usos múltiplos em processos antrópicos) gera incertezas nos usuários das bacias;
- e) A importância do parque gerador hidrelétrico para o crescimento da economia brasileira, sendo a água o principal insumo da matriz energética;
- f) O aumento da demanda energética em contraponto com a falta de investimentos do mercado na energia hídrica por parte das empresas do setor, conclui-se pela importância do assunto tratado na Dissertação no cenário nacional atual, na medida que os resultados obtidos passam contribuir para o desenvolvimento de metodologia que oriente à soluções dos problemas listados anteriormente, os quais tendem no futuro a se tornarem mais críticos.

1.3 Objetivos

- O objetivo geral deste trabalho é propor uma metodologia de análise do comprometimento hidrológico – energético – financeiro do volume útil de reservatórios hidrelétricos de usinas em operação implantados em bacias hidrográficas degradadas.
- Os objetivos específicos deste trabalho são:
 - Propor a análise de indicadores hidrológicos que demonstrem o grau de deterioração hídrica das bacias hidrográficas;
 - Realçar a importância da água útil para os aproveitamentos implantados em bacias degradadas e que a sua flutuação (enchentes e carência hídrica) acaba por trazer incertezas aos usuários;
 - Comparar metodologias de correção do regime hidrológico de bacias degradadas tendo por referência critérios hidráulicos, de custo, ambientais, econômicos e sociais;
 - Analisar as perdas hidrológicas do volume útil dos reservatórios em operação a partir de diferentes métodos;

- Analisar as perdas enérgicas – financeiras decorrentes do comprometimento hidrológico do volume útil de reservatórios hidrelétricos em operação;
- Validar a metodologia através de uma simulação em reservatórios hidrelétricos de usinas em operação implantados em bacias hidrográficas do S, SE e NE.

1.4 Contribuições do estudo

O presente estudo pode contribuir com a sociedade proporcionando uma maior reflexão sobre as causas e efeitos da degradação ambiental nas regiões hidrográficas brasileiras, vinculando a influência desta degradação a um processo produtivo muito importante, no caso a geração de energia elétrica, podendo neste caso calcular valores monetários e assim quantificar o custo desta degradação para este empreendimento.

A metodologia adotada pode vir a ser aplicada para outros aproveitamentos hidrelétricos que possuam reservatórios de regularização de vazões, como meio de determinar a sua possível degradação e a partir dos valores monetários calculados, justificar possíveis intervenções de recuperação na bacia hidrográfica em que o aproveitamento está inserido.

A idéia abordada pelo estudo também pode vir a ser utilizada para a determinação da degradação e ou quantificação de valores monetários para outros setores produtivos da economia implantados na bacia que utilizem como insumo de grande importância o recurso água, ampliando assim ainda mais a reflexão citada anteriormente.

1.5 Originalidade

Tem-se verificado que os atuais reservatórios hidrelétricos de uso múltiplo estão vulneráveis às questões hidrológicas (volume de espera; altos níveis de deplecionamento do nível d'água; restrições operativas hidráulicas) por conta dos aspectos climáticos e ambientais das bacias. Tais incertezas hidrológicas, acabam por afetar as condições operacionais destes reservatórios, provocando perdas energéticas – financeiras ao empreendedor, conforme as restrições hidráulicas

operativas usadas pelo Operador Nacional do Sistema – ONS para gerenciar os reservatórios hidrelétricos pertencentes ao Sistema Interligado – SI.

Portanto, a originalidade vinculada à pesquisa se refere à análise do comprometimento hidrológico do volume útil de reservatórios hidrelétricos em operação como subsídio, a partir da determinação do volume deteriorado, pela realização de intervenções de recuperação ambiental – hidrológica da bacia degradada, de modo que a mesma, gradativamente, recupere as suas condições de disponibilidades hídricas pretéritas, quando a bacia funcionava com menos flutuações hidrológicas, minimizando assim perdas energéticas e financeiras ao empreendedor.

2 METODOLOGIA

A metodologia adotada na Dissertação baseou-se em:

- a) Descrever sobre bacia hidrográfica e as tendências de evolução gradativas na ocupação do seu espaço físico, destacando que esta ocupação feita sem um planejamento, altera o equilíbrio homeostático da bacia a partir das modificações nas suas paisagens, que por conseqüência tende a influir no balanço hídrico do ciclo hidrológico nas fases de infiltração (I) e escoamento superficial (ES) para um mesmo evento pluviométrico, ou seja, para uma bacia degradada ES tende com o tempo a ser muito maior que I. Este balanço hídrico se repercute numa deterioração do regime hidrológico da bacia, quando associamos também as mudanças climáticas mundiais;
- b) Propor indicadores do regime hidrológico que avaliarão o grau de ocupação da bacia e que reflitam as suas tendências às estiagens e enchentes decorrentes das mudanças no balanço hídrico do ciclo hidrológico da bacia degradada e das mudanças climáticas mundiais;
- c) Caracterizar o recurso natural, representado pela água útil da bacia degradada, como fator limitante ao seu desenvolvimento assim como dos empreendimentos nela implantados;
- d) Descrever e comparar as metodologias estruturais (mais usuais) e não estruturais para a correção do regime hídrico alterado de uma bacia degradada;
- e) Criar uma metodologia que analise a influência das modificações no regime hidrológico alterado de uma bacia degradada, tendo por referência a análise do volume útil dos reservatórios hidrelétricos de usos múltiplos das centrais hidrelétricas em operação, comprometendo os ganhos energéticos e financeiros dos empreendimentos em operação;
- f) Realização de um estudo de caso em dez reservatórios hidrelétricos em operação, a partir da metodologia referida no item (e), mostrando as perdas energéticas e financeiras decorrentes da degradação hidrológica do volume útil dos reservatórios destes empreendimentos.

Para o desenvolvimento da seqüência metodológica referida será pesquisado:

- g) No item (a), conceituou-se a bacia hidrográfica; mostrou-se que as suas características de atratividade de recursos em geral notabiliza esta unidade de Gestão para o desenvolvimento de atividades antrópicas (antropismo), o que acaba por alterar, ao longo do tempo, as suas condições naturais de equilíbrio homeostático, a ponto de deteriorar o balanço hídrico do ciclo hidrológico entre o escoamento superficial (ES) e a infiltração (I), ou seja com o tempo $ES \gg I$; mostramos também as influências no regime pluviométrico da bacia a partir dos efeitos climáticos mundiais (efeito estufa, El Niño e La Niña) e também a partir de efeitos regionais de aproveitamentos que facilitam o aumento dos processos evaporativos. Estas influências associadas ao antropismo, é que justificam a deterioração das disponibilidades hídricas da bacia degradada;
- h) No item (b) descreveu-se que a deterioração do balanço hídrico do ciclo hidrológico, associado às mudanças climáticas mundiais e regionais, tende a alterar o regime hídrico da bacia e esta alteração fica evidenciada a partir dos eventos de enchente e estiagem, que tornam-se mais críticos e repetitivos na bacia degradada, sendo propostos indicadores de regime hidrológico para auxiliar na análise destas tendências às enchentes e estiagens para a análise do grau de comprometimento do regime hídrico da bacia degradada (avaliação das disponibilidades hídricas úteis da bacia);
- i) No item (c) descreveu-se a importância da água da bacia degradada nos processos antrópicos nela implantados. Destacou-se a degradação do regime hidrológico como incertezas para os aproveitamentos implantados na bacia degradada;
- j) No item (d) são descritas as metodologias de regularização de vazão convencional (mais usual) e não convencional, aplicadas às bacias degradadas. Comparou-se as duas metodologias a partir dos critérios hidráulicos, construtivos, ambientais, econômicos e sociais;
- k) No item (e), tendo por referência um reservatório plurianual de uso múltiplo de uma central hidrelétrica implantada em uma bacia degradada, propôs-se uma metodologia de análise da deterioração hidrológica do volume útil. Enfatizou-se as perdas energéticas e financeiras do empreendedor para justificar esta análise;
- l) No item (f) simulou-se a metodologia em dez aproveitamentos hidrelétricos em operação localizados nas regiões S, SE e NE mostrando ao final os

resultados das perdas energética – financeiras para os empreendimentos simulados.

II – Revisão Bibliográfica

3 REGIME HIDROLÓGICO NATURAL DOS CURSOS D'ÁGUA

3.1 Introdução

O regime hidrológico de um curso d'água depende de fatores inerentes a bacia em que está inserido. São as características físicas, bióticas e antrópicas da bacia (B) que transformam os deflúvios de um evento pluvial (clima da bacia) em escoamento fluvial deflúvio de calha (DF) segundo:

$$DP \times B \approx DF \quad 3.1.1$$

3.2 Bacia Hidrográfica

A Bacia Hidrográfica é uma unidade natural continental que contém disponibilidades hídricas próprias e renováveis, graças ao ciclo hidrológico. Todas as reservas de água doce do planeta são analisadas de acordo com as disponibilidades hídricas das bacias hidrológicas, e estas variam em função das suas características próprias como por exemplo: clima, relevo, geologia, cobertura florística, dentre outros. Portanto, é nas bacias hidrográficas que os empreendimentos antrópicos são implantados graças as suas disponibilidades hídricas, esta caracterizada como água útil para os processos antrópicos em geral.

A delimitação de uma bacia hidrográfica ocorre em função do traçado do divisor de águas principal (linha de cumiada ou dos pontos altos), que delimita a rede de drenagem de um curso d'água desta bacia delimitada.

A desembocadura ou foz do curso d'água é o exutório final da bacia hidrográfica. Neste local a área da bacia é máxima como também as disponibilidades hídricas. O rio que drena a bacia é abastecido pelo escoamento superficial de encosta e fundo de vale nos períodos chuvosos (TC) do ano hidrológico e pelo escoamento subterrâneo dos lençóis tributários da bacia hidrográfica nos períodos de estiagem (TE) do ano hidrológico. Na figura 3.1 apresentamos croquis das bacias hidrográficas e hidrogeológica.

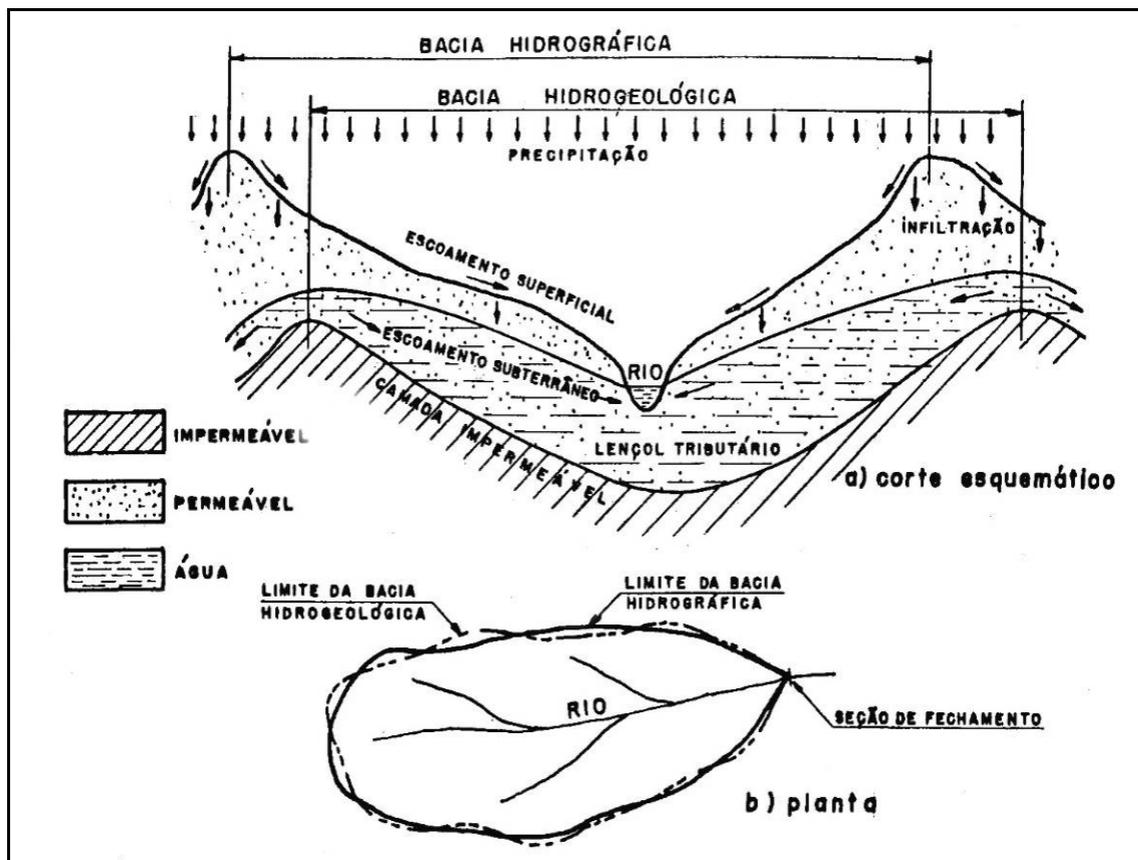


FIGURA 3.1 – Bacia Hidrográfica e Hidro-Geológica.(Fonte: OTTONI 2007, “Planejamento dos Sistemas de Recursos Hídricos”, Apostila do Curso de Especialização em Recursos Hídricos e Meio Ambiente, UNIFEI, Itajubá – MG)

Devido ao grande número de variáveis próprias das bacias (B), estas unidades de gestão podem ser classificadas de varias formas, fato que torna a bacia hidrográfica um ecossistema único, existindo assim parâmetros que possibilitam estabelecer semelhanças entre duas ou mais bacias.

3.2.1 Classificação das Bacias Hidrográficas

As bacias hidrográficas podem ser classificadas das seguintes formas em função das suas características.

a) Características climáticas (DP):

O clima da bacia define o seu regime pluviométrico. Este sofre influência de fatores locais (existência de reservatórios, grau de coberturas florísticas, relevo,

coordenadas de localização) e globais (El-Nino/La Nina; efeito Estufa), ambos atuando nos índices de evapo-transpiração e de umidade da bacia. De uma forma geral, se o índice de umidade da bacia decorrente das suas condições de evapo-transpiração for alto, o regime de chuva é favorável. No Brasil são identificados os seguintes regimes pluviométricos anual médios: no NE (semi-árido): 500 mm; no NE (litoral): 1500mm; Centro-Sul-SE: 1400mm; N: 2000mm. O clima da bacia é também definido pelos seus períodos chuvosos (TC) e de estiagem (TE) do ano hidrológico. No Brasil, as Regiões Centro-Sul-SE, TC = OUT-MARÇO e TE ABRIL-SET. A distribuição das chuvas das Regiões NE e N em geral obedecem estes períodos, ou defasam alguns meses. Para definição do clima da bacia, considerando uma série pluviométrica longa ($T = 30$ anos), defini-se também os períodos de anos secos (TAS) e úmidos (TAU). Estes são decorrentes das influências dos fatores globais (El-Nino/La-Nina) no clima local da bacia, que originam os períodos críticos adotados em projetos das obras hidráulicas de escassez hídrica e inundações dos sistemas de recursos hídricos. Numa série pluviométrica estes períodos podem variar em média de 2 a 5 anos;

b) Quanto a sua área de drenagem total (A):

Quanto ao porte da área de drenagem, as bacias são classificadas em:

- ? Grandes Bacias Hidrográficas (GBH) $A > 10000 \text{ km}^2$;
- ? Médias Bacias Hidrográficas (MBH) $1000 < A < 9999 \text{ km}^2$;
- ? Pequenas Bacias Hidrográficas (PBH) $100 < A < 999 \text{ km}^2$;
- ? Mini Bacias Hidrográficas (mBH) $10 < A < 99 \text{ km}^2$;
- ? Micro Bacias hidrográficas (μ BH) $1 < A < 9 \text{ km}^2$;

Quanto maior for a área de drenagem da bacia (A) maiores serão as suas tendências aos deflúvios fluviais de calha (DF) (disponibilidades hídricas);

c) Características topográficas (T_o):

O relevo (T_o) é utilizado em grande parte dos estudos hidráulicos do movimento das águas em uma bacia hidrográfica. O relevo descreve a superfície sobre a qual ocorrem as ações do ciclo hidrológico que disponibilizam a água continental e sobre a qual estão instalados os usuários e as atividades dos aproveitamentos hídricos. O parâmetro fundamental do ponto de vista hidrológico no estudo do relevo é a declividade e sua variação.

O resultado dos estudos de relevo de uma bacia é o seu zoneamento hidrogenético (conforme figura 3.2), que define as seguintes áreas de escoamento na bacia:

- ? A zona de recarga de umidade, região mais elevada da bacia.
- ? A zona hidrodinâmica, região de menor altitude e maior declividade.
- ? A zona de contribuição inicial, região de mais baixa altitude e baixa declividade.

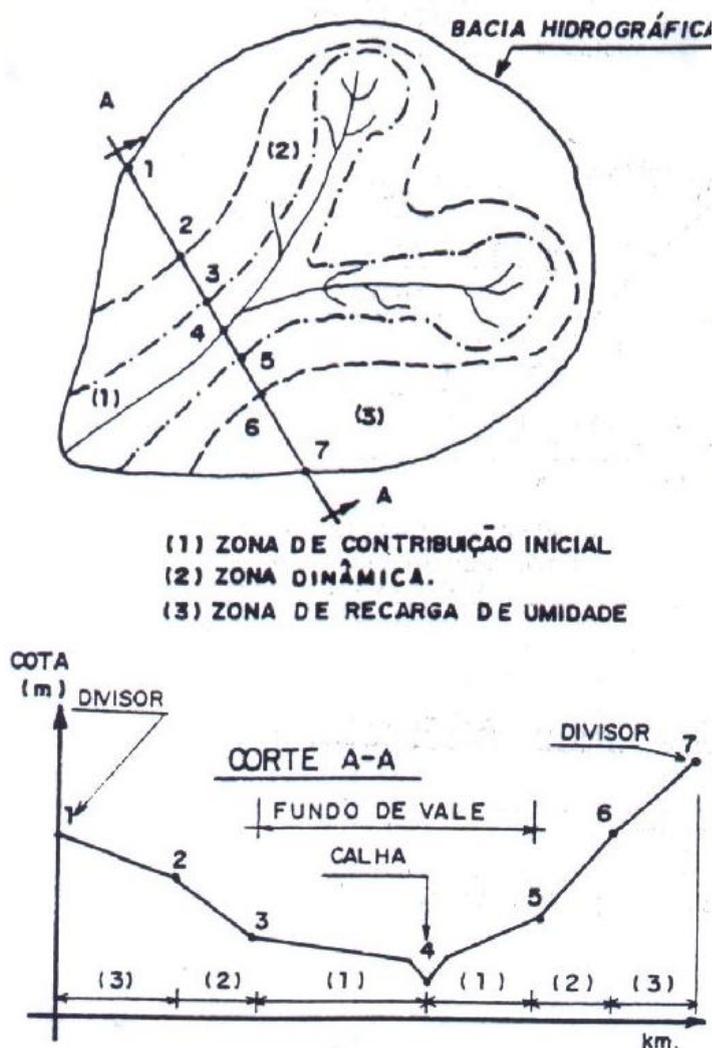


FIGURA 3.2 – Estudo do Relevo de uma Bacia: Zoneamento Hidrogenético..(Fonte: OTTONI 2007, “Planejamento dos Sistemas de Recursos Hídricos”, Apostila do Curso de Especialização em Recursos Hídricos e Meio Ambiente, UNIFEI, Itajubá – MG)

Em uma bacia que possui uma maior densidade de áreas na Zona de Contribuição Inicial tem uma tendência à maior disponibilidade hídrica, uma vez que

a zona de menor declividade facilita a infiltração e reduz o escoamento superficial contribuindo para o abastecimento do lençol freático. A ocupação de uma bacia hidrográfica ocorre principalmente a partir das Zonas de Contribuição Inicial e Hidrodinâmica. As áreas de várzea de APP (I) e estão localizadas na Zona de Contribuição Inicial;

d) Características Pedológicas (S):

As características pedológicas (S) são bastante peculiares em uma bacia hidrográfica, pois o tipo de solo influencia na sua capacidade de infiltração. A granulométrica e a disposição do solo ao longo do perfil sub-solo da bacia, define a amplitude das zonas insaturada e saturada. Quanto maior for a dimensão dos grãos e menor seu grau de compactação, mais intenso será o processo de infiltração da água. Como a composição do solo é bastante heterogênea ao longo da bacia e do perfil do sub-solo, a infiltração da bacia é variável em função do tipo de solo, do grau de compactação (uso do solo), e do índice de umidade do solo. Solos arenosos tendem à velocidades de infiltração maiores que os argilosos, sendo o hidrograma da bacia com solo arenoso mais regular;

e) Características geológicas (G):

Os rios de bacias rochosas menos permeáveis apresentam maiores pontos de enchentes em TC e escassez hídrica em TE;

f) Forma de contorno da bacia (CB):

As bacias, de acordo com o seu formato, são classificadas em arredondadas, alongadas, e ramificadas. As bacias alongadas são as que apresentam maior defasagem e menor concentração dos escoamentos;

g) Rede de drenagem (RD) e Declividade do cursos d'água (I):

As características geológicas da bacia, associado aos agentes modificadores de sua morfologia, estes representados pelos agentes endógenos (movimentos tectônicos, vulcanismo, etc.) e exógenos (erosão e intemperismo), definem o tipo de rede de drenagem. A forma e distribuição da rede de drenagem da bacia é visualizada pela sua ramificação. Bacias com rede de drenagem ramificada tendem a defasar as contribuições superficiais e atenuar cheias.

A declividade do rio principal é variável ao longo de sua extensão. Esta grandeza interfere na velocidade do escoamento da calha. Através do perfil longitudinal do rio principal calculam-se as suas declividades bruta total e média. Os rios com alta declividade concentram mais rapidamente o escoamento;

h) Coberturas florísticas (V):

As plantas no seu ciclo de vida deixam depositados no solo resíduos de seu organismo que se decompõem formando uma camada superficial rica em matéria orgânica, o húmus. Em paralelo, as suas raízes ao se desenvolverem penetram e abrem novos caminhos e fissuras que desagregam o solo, tornando-o mais poroso. Este trabalho das raízes no sub-solo da bacia assim como a presença do húmus na camada superficial, faz com que os solos das áreas florestadas apresentem uma grande capacidade de absorver água, aumentando a infiltração (I) e reduzindo o escoamento superficial (ES) para chuvas duráveis que são as de maior relevância para o aumento das disponibilidades hídricas de uma bacia, ou seja, $I \gg ES$;

i) Características ocupacionais, antropismo (A):

Segundo OTTONI (2001), sob o ponto de vista ocupacional (antropismo – A), uma bacia hidrográfica pode ser classificada em:

- ? Bacias Naturais (Florestadas): são bacias onde ocorre um índice de ocupação muito baixo. Nestas bacias as atuações antrópicas são reduzidas, com baixa intensidade de áreas desmatadas, a partir de pequenas áreas com ocupação agrícola. O solo, assim como a capacidade de infiltração das águas pluviais encontram-se inalteradas, tendo assim a bacia o seu máximo rendimento hidrológico.
- ? Bacias Rurais: são bacias caracterizadas por ocupação de grandes áreas tomadas por uso agrícola (atividades agro-pastoris), possuindo em função disso possui pouca densidade de vegetação nativa, esta restrita às matas de topo em cotas mais elevadas. Podem ocorrer nestas bacias pequenas atuações industriais, porém o uso do solo é predominantemente rural. Neste caso, já ocorre uma pequena alteração (compactação) decorrente do uso do solo, afetando a infiltração das águas precipitadas.
- ? Bacias Residencial (Rural – Urbana): são bacias que se encontram em um estado intermediário de ocupação, não podendo assim serem classificadas nem como Bacias Rurais e nem como Urbanas. Caracterizam-se por

possuírem pequenos ou mesmo médios núcleos urbanos decorrentes da evolução urbana da área, com uma grande parcela de área ainda tomada por ocupação agrícola. Estas bacias, por possuírem uma alteração maior das condições do solo (impermeabilização, compactação, agricultura), já torna-se visível as alterações da capacidade de infiltração das água de chuva e o aumento do escoamento superficial proveniente dos eventos pluviais.

- ? Bacias Industrial (Urbano – Industrial): são bacias que se caracterizam pela predominância da ocupação humana (ação antrópica). Possuem elevados índices de impermeabilização dos solos, poluição dos recursos hídricos, poluição do ar. Se caracterizam por possuírem pequenas porções de áreas florestadas (restritas a matas de topo) e de reduzidas áreas ocupadas com atividades agrícolas. A impermeabilização do solo da bacia a partir do processo intensivo da urbanização contribui para a diminuição da infiltração e o aumento dos escoamentos superficiais provenientes dos eventos pluviométricos, resultando em grandes enchentes e inundações danosas.

Para melhor compreensão das características ocupacionais apresentadas anteriormente, será apresentado a seguir a FIGURA 3.3.

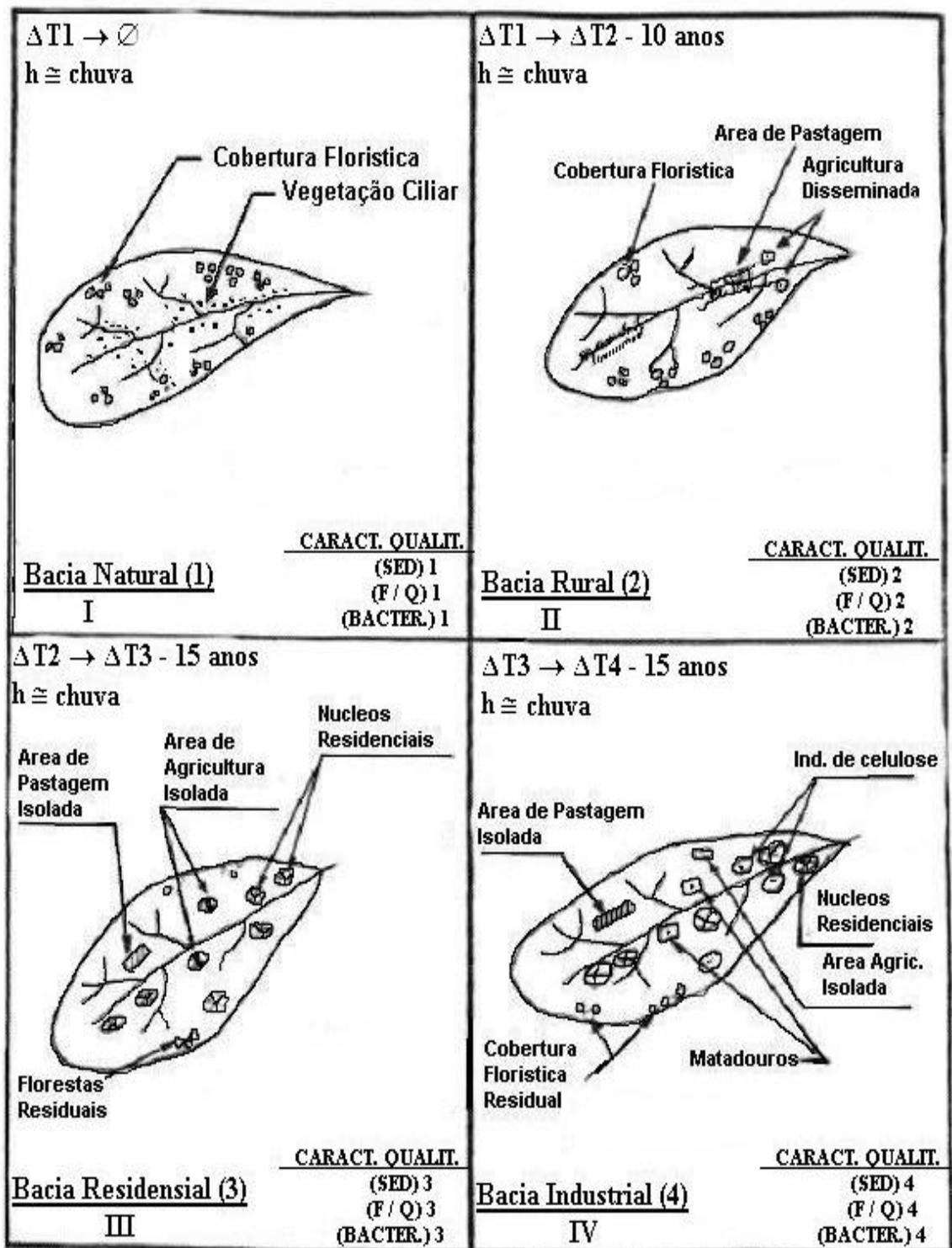


FIGURA 3.3 – Tendências da Evolução Ocupacional de uma Bacia Hidrográfica (Fonte: Classificação Ambiental de Cursos D'água; OTTONI, A. B; Exame de Pré-Qualificação de Doutorado; COPPE/UFRJ; Rio de Janeiro; 2001).

3.3 Ciclo Hidrológico

A Hidrologia Clássica conceitua o Ciclo Hidrológico como sendo o “percurso que a água realiza, em seus diversos estados físicos, no sub-solo (profundidade de até 4 km) na superfície terrestre, e na atmosfera (altitudes de 10 a 12 km; Troposfera)”. Configurando um circuito fechado. Desta forma o equilíbrio das fases do ciclo hidrológico se repercute na manutenção das disponibilidades hídricas de uma bacia.

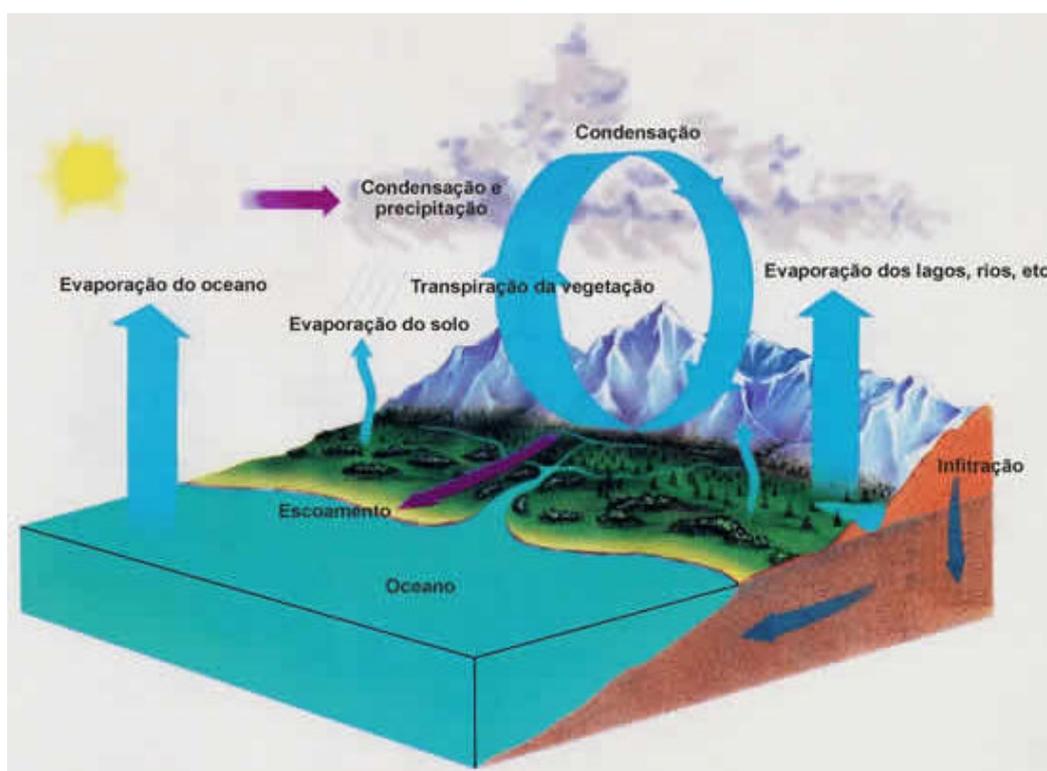


FIGURA 3.4 – Ciclo Hidrológico. (Fonte: Instituto de Geociências da USP – IGC, disponível em http://www.igc.usp.br/geologia/aguas_subterraneas.php , acessado em 05/2007)

Segundo a Hidrologia Ambiental, o Ciclo Hidrológico na bacia hidrográfica é representado pela análise do sistema:

$$I \times B \sim O \quad 3.3.1$$

onde:

I = INPUT = deflúvio pluvial (DP) da bacia definido a partir do seu clima;

\tilde{B} = são os condicionantes e fatores que caracterizam a bacia, conforme referido no item 3.2;

O = corresponde às disponibilidades hídricas (água útil) da bacia (DF de calha).

Analisando o sistema, conclui-se:

a) que (I) da bacia, que caracteriza o índice de chuva, varia em função das mudanças climáticas globais (Efeito Estufa e El-Nino/La Nina) e locais;

b) quanto a (\tilde{B}), o antropismo (ocupação no tempo da bacia sem planos a partir dos empreendimentos) representa o principal fator que tende à alteração. Ou seja, a partir do antropismo, as condições ambientais relacionadas às coberturas florísticas se modificam, as fases do escoamento superficial (ES) e da infiltração (I) do ciclo hidrológico se alteram, com aumento do (ES) e redução de (I), ou seja, $ES \gg I$;

c) a partir da relação de (I) em (B) e, como consequência das intervenções e consequentes modificações de (B), (O) gradativamente tende:

i) ao rebaixamento no nível do lençóis freático e, por consequência, a vazão e nível d'água do rio que drena a bacia em TE vai também deplecionar;

ii) o excesso e água que se escoam superficialmente (ES) em TC tende a promover ocorrência de enchentes repetitivas e críticas;

iii) a água escoada superficialmente em TC proveniente do ES é considerado perda, pois ela vai fazer falta em TE no ano hidrológico em que houve o evento pluviométrico (DP).

A Hidrologia Ambiental utiliza os conceitos das Mesetas Homeostáticas para caracterizar o nível de equilíbrio homeostático da bacia de acordo com as pressões de ocupação que ocorrem no seu espaço físico ao longo do tempo (?t), conforme FIGURA 3.5.

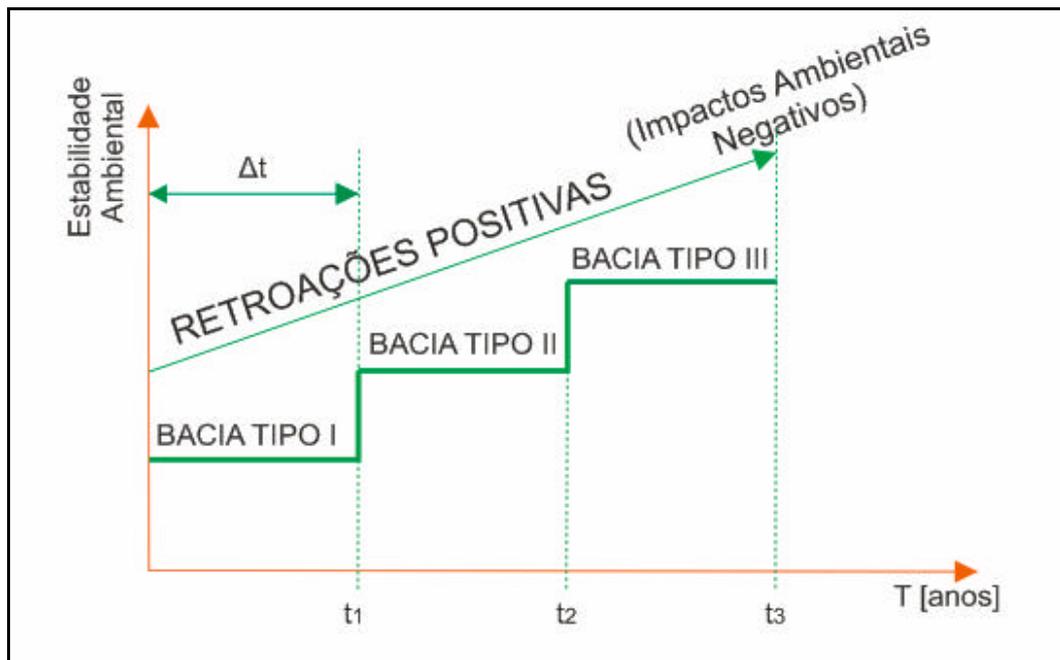


FIGURA 3.5 – Mesetas Homeostáticas (Fonte:Planejamento dos Sistemas de Recursos Hídricos, Apostila do Curso de Especialização em Recursos Hídricos e Meio Ambiente, IRN/UNIFEI, 2007,Itajubá – MG)

Os patamares de cada equilíbrio homeostático se referem aos diferentes cenários da bacia ao longo da sua ocupação no tempo (t). Em cada patamar, o regime hidrológico da bacia é bem definido, conforme FIGURA 3.6 onde se verifica os hidrogramas representativos para cada cenário da bacia para o mesmo evento de chuva.

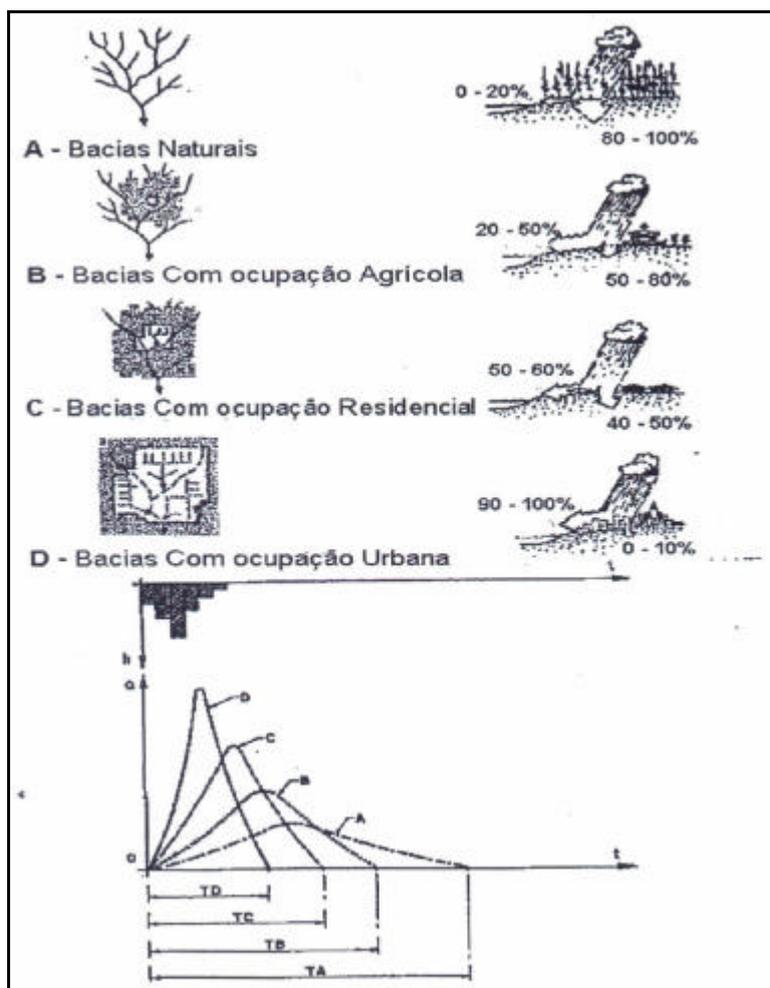


Figura 3.6 – Regime Hidrológico característico da Ocupação no tempo de uma Bacia Hidrográfica. (Fonte: Planejamento dos Sistemas de Recursos Hídricos, Apostila do Curso de Especialização em Recursos Hídricos e Meio Ambiente, IRN/UNIFEI, 2007, Itajubá – MG)

Observa-se assim que, para o mesmo evento pluviométrico (?P), as condições de disponibilidades hídricas referidas ao balanço hídrico entre ES e I tendem também à alteração, sendo o estágio de bacia urbano industrial o cenário ambiental em que as condições de disponibilidades hídricas são mais críticas, ou seja, ES=90-100% e I=0-10%.

Nestas condições, as enchentes e escassez hídricas xxx e o regime hidrológico e irregular (flutuações hidrológicas). Xxxx, para bacias naturais, ES=0-20% e I=80-100%. Nestas bacias o regime hidrológico é estável.

Na TABELA 3.1 analisamos as condições extremas dos parâmetros da bacia definidos no item 3.2 simulado em uma bacia urbano – industrial e natural, onde ES/I são distintas, válido para quaisquer eventos pluviométricos, sinalizando

condições à economia hídrica da bacia, conforme análise do seu regime hidrológico.

TABELA 3.1 – Condições Ambientais para Análise da Economia Hídrica de uma Bacia Hidrográfica

Características da bacia	Condições Ambientais	
	Bacia 1 (ES>>I)	Bacia 2 (I>>ES)
Relevo (T)	Acidentado	Plano
Geologia (G)	Solo rochoso próximo a superfície	Rocha profunda
Rede de Drenagem (RD)	Pouco ramificada	Muito ramificada
Declividade do Talvegue (I)	Acentuada	Baixa
Contorno da Bacia (CB)	Arredondada	Alongada
Estrutura do Solo (S)	Argila	Areia
Antropismo (A)	Rural Urbana	Natural
Cobertura vegetal (V)	Matas de Topo	Floresta
Área de Drenagem (Ad)	Pequena	Grande

3.4 Indicadores de Regime Hidrológico

O regime hidrológico de um curso d'água em uma dada seção da bacia é a sucessão de estágios de seus níveis d'água e vazões ao longo do tempo. Ele resulta da ação dos eventos pluviométricos (DP) nas condições próprias da bacia (B). Desta ação, ou seja, DP x B, resulta o regime do rio, este sendo caracterizado pelas disponibilidades hídricas de calha fluvial (DF). As curvas cronológicas de Níveis D'Água e Vazão obtidas em uma seção fluviométrica representam o regime fluviométrico do rio que drena a bacia.

Conforme referido em 3.3, o antropismo (A), comprometendo ao longo do tempo as condições naturais das coberturas florísticas (V), representa o principal fator de alteração de B, que acaba por comprometer as suas disponibilidades hídricas (F). Ou seja, com o tempo os resultados das vazões drenadas na calha fluvial se alteram, e o Hidrograma tende a ficar pontuado, conforme FIGURA 3.6 anterior, com a predominância do ES em relação a I, para quaisquer eventos de chuva.

Para um ano hidrológico qualquer nas condições em que $ES \gg I$ (bacia rural-urbana), a bacia perde água dos deflúvios pluviais (DP) ocorridos em TC, e as vazões de calha em TE tendem a redução, uma vez que o lençol freático foi pouco reabastecido. Com o tempo, a economia hídrica da bacia degradada está comprometida. Os resultados deste comprometimento são as ocorrências

freqüentes das água nocivas das enchentes em TC e das carências hídricas nas estiagem (TE). A situação hidrológica crítica se dá quando o clima da bacia está sob influência dos fenômenos climatológicos globais do El-Nino/La-Nina. Estes fenômenos justificam os Períodos de Anos Secos (TAS) e úmidos (TAU), conforme referido em 3.3. Nestas condições o regime hidrológico da bacia é crítico, com a ocorrência das maiores secas e enchentes, dependendo da localização da bacia. Dentro de uma série hidrológica longa, o projeto das obras hidráulicas dos sistemas de recursos hídricos adotam os dados hidrológicos destas séries críticas de TAU e TAS para seus dimensionamentos.

Os indicadores de regime hidrológico relacionam as vazões características extremas de enchente (Q5%) e de estiagem (Q95%) com a vazão média do rio. Portanto, para obtê-los deve-se dispor de uma curva de Permanência de Vazões Decrescentes de uma série hidrológica levantada em um Posto Fluviométrico. Esta curva representa a freqüência de ocorrência dos eventos de calha fluvial (níveis d'água e vazões).

Os indicadores, ou coeficientes de perenidade, refletem as condições da bacia aos eventos extremos de enchente, estiagem, e de amplitude conforme abaixo:

- ? O Coeficiente de perenidade de enchente “P”, que é a relação entre as vazões máxima e média;

$$P = \frac{Q_{máxima}}{Q_{média}} \quad 3.4.1$$

- ? O Coeficiente de perenidade de estiagem “p”, que é a relação entre as vazões mínima e média;

$$p = \frac{Q_{média}}{Q_{mínima}} \quad 3.4.2$$

- ? O Coeficiente de amplitude máxima de vazões “m”, que é o produto dos coeficientes “P” e “p”, que resulta da relação das vazões máxima e mínima;

$$m = P \cdot p = \frac{Q_{máxima}}{Q_{mínima}} \quad 3.4.3$$

- ? A relação entre a vazão média e a vazão modal (Q50%) também é considerado como um indicador de regime hidrológico (Razão)

$$R = \frac{\bar{Q}}{Q_{50}}$$

Quanto mais regular for o regime hidrológico do curso d'água (bacia natural), mais próximo das unidades são os resultados dos indicadores P, p, m e R, ou seja, as vazões extremas de estiagem (Q95%), de enchente (Q5%) e Q50 são mais próximas da vazão média. Portanto, para os rios perenes, seus regimes serão mais uniformes quanto mais próximo da unidade forem os coeficientes referidos. Nos rios com regime intermitente, caso da maior parte dos rios do NE, a vazão mínima pode se tornar nula durante parte do ano hidrológico. Nestas condições, p e m são iguais ao infinito, e P será bastante afastado da unidade. Estes rios apresentam portanto o regime hidrológico totalmente irregular.

Na medida que uma bacia ao longo do tempo vai sendo ocupada, com modificação nas suas condições ambientais, de acordo com a FIGURA 3.3, ES tende a prevalecer sobre I, para quaisquer eventos pluviométricos, conforme FIGURA 3.6. Conforme referido, a bacia vai gradativamente perdendo água, e seus indicadores hídricos tendem a se afastar da unidade. Portanto, a análise dos indicadores hidrológicos da bacia P, p, m .

Refletem, não são as suscetibilidades da bacia à ocorrência de enchentes e estiagem, como também o grau de comprometimento da sua economia hídrica na medida que os fenômenos hidrológicos críticos (enchentes e estiagem) passam a ser freqüentes, caracterizando uma deterioração das suas disponibilidades hídricas, a ponto de comprometer as obras hidráulicas dos Sistemas de Recursos Hídricos implantados na bacia degradada.

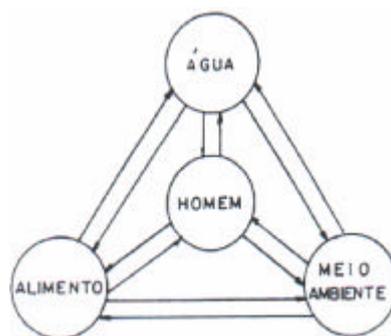


FIGURA 3.7 – Relacionamento do Homem no Ecossistema Continental–Tetraedro Vital. (Fonte: Planejamento dos Sistemas de Recursos Hídricos, Apostila do Curso de Especialização em Recursos Hídricos e Meio Ambiente, IRN/UNIFEI, 2007, Itajubá – MG)

Observa-se que:

- a) o Homem se encontra situado no vértice superior do tetraedro simbólico;
- b) ele se apóia no triângulo logístico à vida, representado pela água, meio-ambiente e alimento, com constantes trocas de energia física e biológica entre cada segmento do sistema;
- c) a troca de energia referida em (b) representa o suporte energético do Homem, de modo a atender suas necessidades de saúde, bem estar e felicidade;
- d) de acordo com os padrões sócio-econômicos, as forças energéticas e biológicas do Universo por ele ocupado serão mais ou menos diversificados e complexos, em função do seu padrão de vida (desenvolvimento de processos industriais, uso da irrigação para o incremento da produtividade agrícola, etc);
- e) em função da diversidade e complexidade das atuações do homem (agressões), pode ocorrer uma queda do equilíbrio energético harmônico do sistema - bacia hidrográfica (impactos ambientais). Estes impactos justificam, posteriormente a ocorrência das águas nocivas (enchentes, poluição) assim como as carências hídricas;
- f) a água participa dos quatro vértices do tetraedro. É, portanto, fator limitante à estabilidade do sistema, sendo também parte ativa deste.

4 A Importância da Água nos Processos Antrópicos

4.1 Introdução

A água é essencial para vida humana: o corpo humano é composto por cerca de 60% de água; a grande maioria das atividades antrópicas usa água nos seus processos; etc.

O planeta Terra, como exemplificado exhaustivamente pelos meios de comunicação, é formado por apenas 30% de terra firme, sendo os 70% restantes da sua superfície composta de água. Porém nem toda essa água está disponível para uso humano: 97,5% são águas salgadas e apenas 2,85% são doces, distribuídas: 2,1% nas calotas polares e 0,70% constituem as águas dos rios, lagos, lençóis aquíferos, umidade do solo e da atmosfera. A FIGURA 4.1 abaixo mostra a distribuição de água doce e salgada do Planeta. Fica fácil compreender que, mesmo sendo o Globo terrestre formado preponderadamente de água, no entanto, esta, na maior parte, é de difícil utilização.

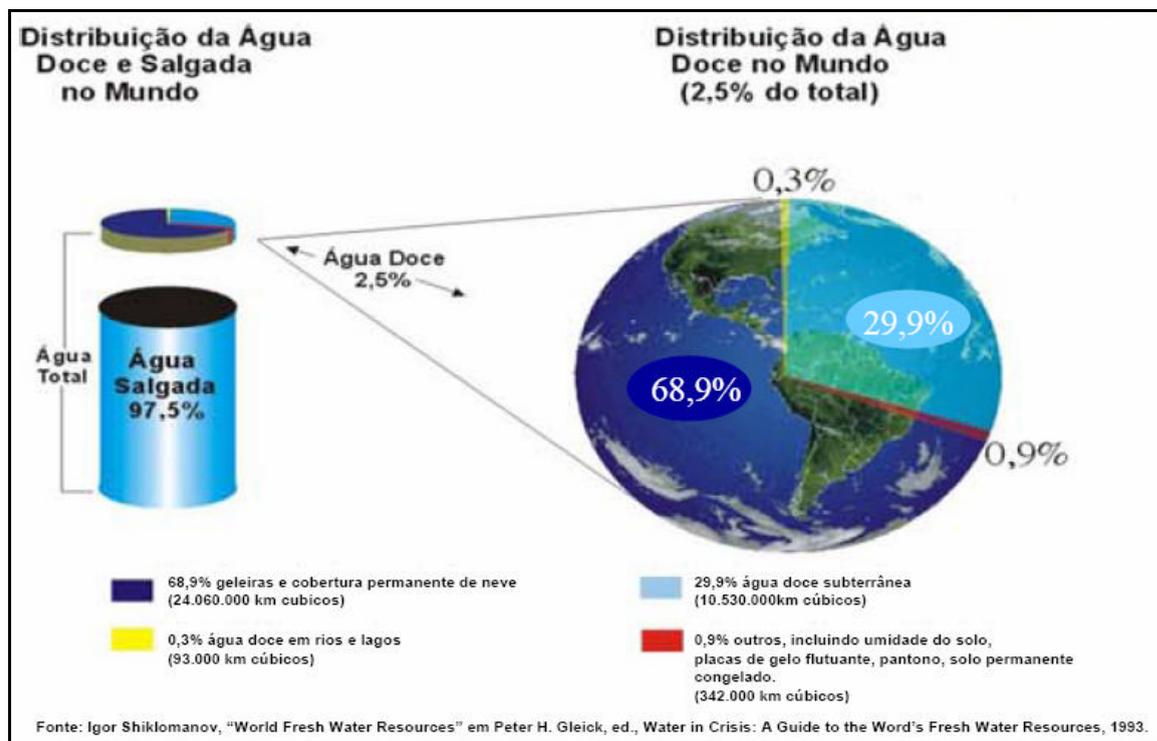


FIGURA 4.1 – Distribuição da água no mundo (Fonte: ANA (2006), "A água no Brasil e no Mundo")

Segundo dados da ANA (2006), o Brasil possui 13,7% da água doce superficial do mundo, sendo que 70% da água disponível está localizada na Região Amazônica e os 30% restantes distribuem-se desigualmente pelo País, para atender a 93% da população.

Na FIGURA 4.2 abaixo, fica claro que o Brasil é um país privilegiado em relação aos recursos hídricos. O país detém o maior rio do mundo em relação à descarga líquida (vazão). Na FIGURA 4.3 apresentamos um gráfico comparativo com outros grandes rios do mundo.



FIGURA 4.2 – Distribuição da água doce superficial no mundo (Fonte: ANA (2006), “A água no Brasil e no Mundo”)

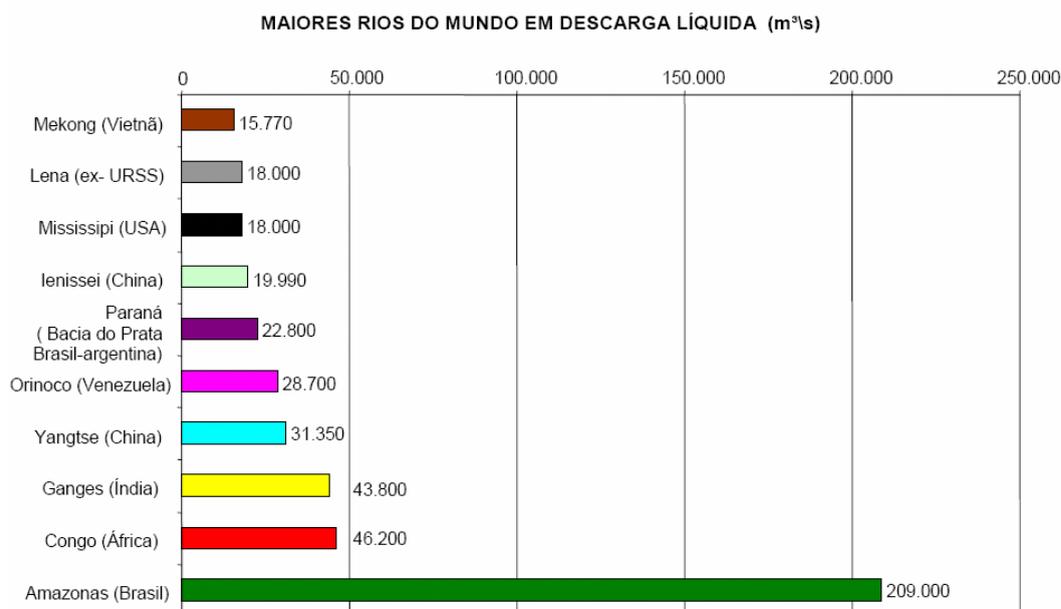


FIGURA 4.3 – Maiores rios do mundo em descarga líquida (Fonte: ANA (2006), “A água no Brasil e no Mundo”)

Para efeito ilustrativo, a FIGURA 4.4 mostra a distribuição da água no continente Americano.

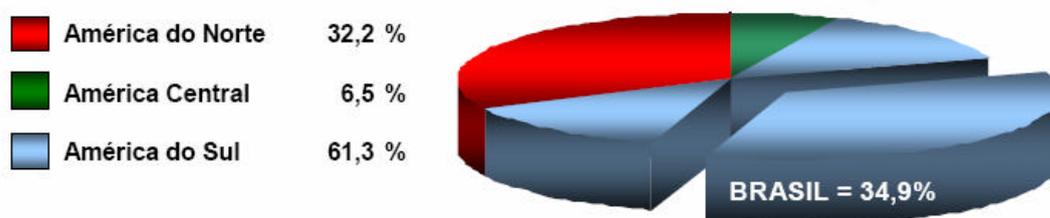


FIGURA 4.4 – Distribuição da água no continente americano (Fonte: ANA (2006), “A água no Brasil e no Mundo”)

O Brasil é o maior país da América do sul ocupando um pouco menos da metade de sua área total. Sendo assim, ele possui muitas variações de clima, relevo, diversidade biológica, etc. na sua área geográfica. Esta diversidade também é verificada na sua disponibilidade hídrica, onde a região Amazônica possui a maior concentração deste recurso natural. Porém esse fato pode se agravar quando analisa-se as disponibilidades hídricas em relação ao número de habitantes situados nas regiões, como pode ser verificado na FIGURA 4.5 a abaixo.

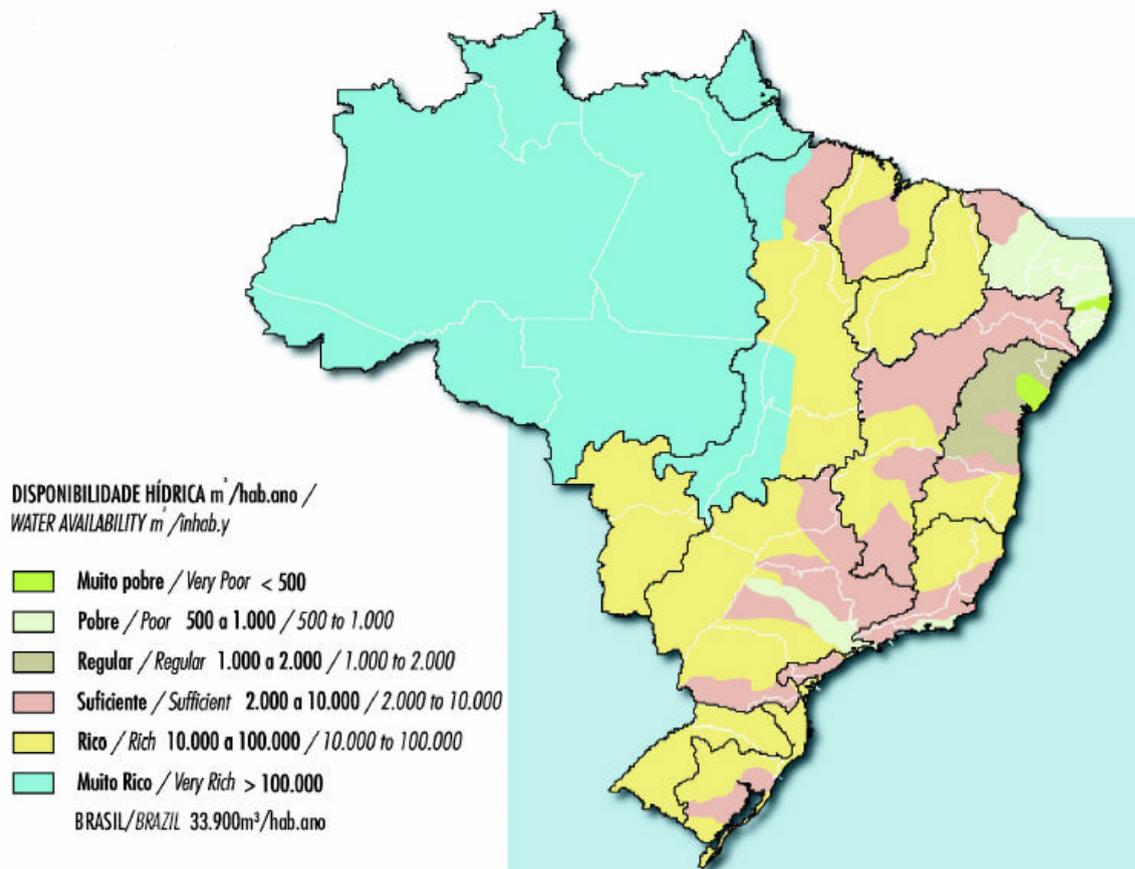


FIGURA 4.5 – Disponibilidade hídrica por habitante (Fonte: “A evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil”, Agência Nacional de Água – ANA, Março 2002)

Ao analisar a FIGURA 4.5 conclui-se que as disponibilidades hídricas em relação a população regional estão chegando a valores preocupantes em Regiões de intenso desenvolvimento (maior concentração populacional). Por exemplo, uma grande parcela do Estado de São Paulo, conforme FIGURA 4.5, está caracterizada como uma região pobre do ponto de vista de suas disponibilidades hídricas. Como a água é um insumo indispensável para o desenvolvimento econômico, estas áreas já estão sendo prejudicadas, pois não poderão realizar a instalação de novos empreendimentos. Analisando-se a água como fator limitante ao desenvolvimento, o Estado de São Paulo corre o risco assim de sofrer a fuga de investimentos para outras regiões do país com maior disponibilidade hídrica. Quando se analisa a importância do recurso água tem - se que verificar os principais processos que utilizam este recurso (em larga escala). As demandas hídricas do Brasil por setor consumidor da sociedade podem ser observadas na FIGURA 4.6 a seguir.

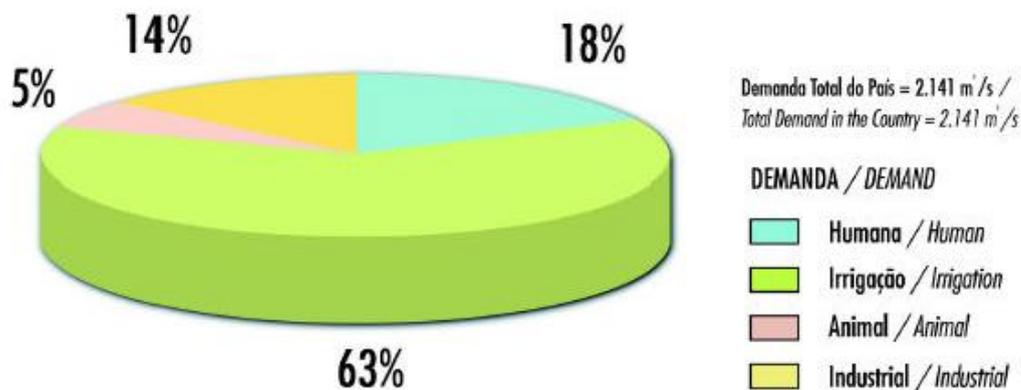


FIGURA 4.6 – Demanda hídrica por setor consumidor do Brasil (Fonte: “A evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil”, Agência Nacional de Água – ANA, Março 2002)

A bacia hidrográfica é o espaço físico onde as atividades antrópicas se implantam. O uso da água da bacia (água útil) se dá a partir das técnicas de dimensionamento dos Sistemas de Recursos Hídricos, este composto pelo abastecimento d’água, irrigação, navegação fluvial, piscicultura, aproveitamento hidrelétrico e turismo/lazer. A bacia se enquadra, portanto, para o aproveitamento de usos múltiplos da água. As características multi-objetivas naturais da bacia e suas relações com os Sistemas de Recursos Hídricos de uso múltiplo enfatiza a importância da gestão adequada da água da bacia. Os problemas apresentados pela Administração Pública, população local e empreendedores em geral (concessionárias, irrigantes, etc.) se encontram em situações conflitantes, sendo caracterizados pela “necessidade de alocar recursos limitantes para um conjunto de atividades em áreas tão dispersas em que estão presentes e que devem ser ponderados vários objetivos, muitas vezes conflitantes entre si, o que faz com que, nesses casos, a chamada Tomada de Decisão Multiobjetiva seja relevante” (Mello, 2003).

Justifica-se assim a unidade de gestão representada da bacia hidrográfica como de uso múltiplo em que, os comitês/agências da bacia, fazem a gestão dos recursos hídricos e dos conflitos ocorridos a partir deste recurso natural.

4.2 Utilização da água na agricultura

A agricultura é o setor responsável pela maioria da oferta dos alimentos existentes, não havendo alternativa para o futuro senão continuar cultivando. No

entanto, a agricultura é também o maior consumidor de água doce, sendo responsável por mais de 60% das demanda hídricas do Brasil, esta água é 60% consultiva, ou seja, não retorna ao sistema (bacia hidrográfica). Segundo UNESCO (2001), se a população aumentar em 65% nos próximos cinquenta anos, como é virtualmente certo, cerca de 70% dos habitantes do planeta enfrentarão deficiências no suprimento de água, e 16% deles não terão água bastante para produzir sua alimentação básica. Será necessário um grande aumento da área cultivada para poder suprir a demanda de alimentos, e este aumento não será possível sem o aumento do consumo do recurso água.

Grande parte do consumo de água na agricultura no Brasil é atribuído à práticas pouco eficientes de irrigação, devido à ilusão de que os recursos hídricos existentes em nosso país são infinitos. Em termos estritamente econômicos, a agricultura é considerada de modo geral um consumidor de água de pouco valor relativo, pois outros consumidores podem acrescentar mais valor à água utilizada. Porém, a possível transferência de recurso hídrico para outros setores, pode em um primeiro momento inflacionar o preço final de produtos agrícolas básicos à alimentação, aumentando assim o valor agregado ao produto agrícola, além de por a prova a capacidade do setor agrícola de desenvolver técnicas mais eficientes de irrigação e cultivo, pois, como mencionado anteriormente, a demanda de alimentos tende a subir.

De acordo com a Agencia Nacional de Águas (2004), a agricultura consome 70% dos recursos hídricos utilizados no mundo enquanto a atividade industrial utiliza apenas 23% e o uso doméstico 7%. Atualmente a área irrigada global é de cerca de 260 milhões de hectares, representando 17% da área total cultivada, porém contribui com 40% da produção de alimentos. Em termos de aumento de produtividade, o Brasil possui uma área potencialmente agricultável de 120 milhões de hectares. Destas, 29 milhões de hectares já estão com uso agrícola, sendo que 3 milhões de hectares são irrigadas. A área irrigada brasileira está distribuída da seguinte forma pelas regiões do país:

- ? Norte - 3%
- ? Nordeste - 19%
- ? Sudeste - 30%
- ? Sul - 41%
- ? Centro-Oeste - 7%



FIGURA 4.7 – Distribuição da irrigação no Brasil em 2001 (Fonte: ITABORAHY, [et al.], “Agricultura irrigada e o uso racional da água”, Agência Nacional de Águas – ANA, Brasília, 2004.)

O desenvolvimento da irrigação é recente no Brasil. Por volta de 1970, havia menos de 800 mil hectares irrigados, usados, em sua grande maioria, para o cultivo do arroz por inundação no Rio Grande do Sul e, em menor intensidade, em alguns perímetros de irrigação pública no Nordeste. O crescimento da irrigação no Brasil ocorreu a partir da implementação de políticas públicas de investimento em infraestrutura hidráulica para irrigação, em transmissão e distribuição de energia, de crédito para compra de equipamentos e custeio.

De acordo com SANTOS apud ANA (2004), a área irrigada no Brasil representa cerca de 5% da área total cultivada, mas contribui com 16% da produção agrícola e representa 35% do valor total dessa produção. Portanto, pode-se concluir que cada hectare irrigado equivale a três hectares de sequeiro, em produtividade física, e a sete hectares de sequeiro, em produtividade econômica.

Com isso verifica-se que a irrigação para a agricultura é imprescindível e dessa forma torna-se um grande consumidor de água, apresentando assim grandes problemas de desperdício tanto de água quanto de energia. Onde os principais são:

- ? Baixa taxa de utilização de técnicas de manejo de irrigação;
- ? Utilização por um grande número de irrigantes de sistemas de produção e de tecnologias desenvolvidas para a agricultura de sequeiro;
- ? Escolha do método sistema de irrigação inadequado para suas condições ou

culturas;

- ? Dimensionamento do sistema e equipamentos realizados sem critérios.

Entretanto, além desses problemas tecnológicos, existem outros entraves de ordem socioeconômica e até mesmo cultural. Hoje, com o acirramento da competitividade pelo uso da água nos diversos setores e atividades, e devido a maior aplicabilidade dos instrumentos de gestão de recursos hídricos introduzidos pela lei 9.433/97 e as correspondentes leis estaduais, é necessário um maior grau de organização do setor agrícola para se ajustar aos novos paradigmas e às exigências da sociedade com relação aos aspectos ambientais e de sustentabilidade.

4.3 Utilização da água no setor industrial

A água é um componente vital da cadeia de qualquer produção industrial, sendo usada para processar, lavar e resfriar o maquinário manufaturador. Alguns dos principais grupos industriais respondem pela maior parte da água utilizada, entre eles:

- ? Fabricantes de alimentos e produtos associados;
- ? Fabricantes de papel e produtos associados;
- ? Fabricantes de substâncias químicas e produtos associados;
- ? Indústrias de refinação de petróleo e similares;
- ? Produtores básicos de metais.

Segundo a FIESP/CIESP (2004), pode-se caracterizar de maneira genérica que a água encontra as seguintes aplicações na indústria:

- ? Para consumo humano: água utilizada em ambientes sanitários, vestiários, cozinhas e etc, ou em qualquer atividade doméstica com contato humano direto;
- ? Para matéria Prima: quando incorporada ao produto final, como ocorre, por exemplo, nas indústrias de cervejas, refrigerantes, de produtos de higiene pessoal e etc;
- ? Para uso como fluido auxiliar: é utilizada em diversas atividades, destacando-se a preparação de suspensões e soluções químicas, compostos intermediários, reagentes químicos, veículo, ou ainda, para as operações de lavagem;

- ? Para uso de geração de energia: utilizadas nas Hidrelétricas ou termelétricas;
- ? Para uso como fluido de aquecimento e/ou resfriamento: utilizada como fluido de transporte de calor para remoção do calor de misturas reativas ou outros dispositivos que necessitem de resfriamento devido à geração de calor, ou então, devido às condições de operação estabelecida;
- ? Para outros usos: Utilização de água para combate à incêndio, rega de áreas verdes ou incorporação em diversos subprodutos gerados nos processos industriais, e etc.

De modo geral, a quantidade e a qualidade da água necessária ao desenvolvimento das diversas atividades consumidoras em uma indústria é muito variada, dependendo dos insumos, produto, tecnologia e nível de reciclagem. Uma tonelada de aço pode ser produzida com 5 ou 190 m³ de água e uma tonelada de papel com consumos entre 57 ou 340 m³.

De acordo com o Caderno Indústria e Turismo e Recursos Hídricos (SRH/BID, 2005^a * apud ANA (2006)), informações precisas sobre a relação água e indústria são de difícil obtenção. Tal dificuldade se prende, especialmente, à identificação das tendências de crescimento econômico regional versus as disponibilidades hídricas. As dificuldades de informação também esbarram nas limitações do processo de outorga pelo uso de recursos hídricos, ainda em fase de implantação, o que dificulta a identificação dos usuários de água dos diversos setores.

Como característica geral, o parque industrial nacional é bastante diverso. As indústrias de pequeno e médio porte representam mais de 90% desse parque, onde estas, em sua maioria, utilizam mais de 60% da água proveniente das redes públicas, tanto para captação quanto para o lançamento de seus efluentes.

Entretanto, as grandes empresas utilizam de modo geral a captação e lançamento direto nos corpos de água, e com isso algumas, têm implementado, em suas unidades operacionais, sistemas de reuso de água e tratamento de seus efluentes, pois dispõem de condições técnicas e financeiras para tanto, atendendo a racionalização no uso dos recursos hídricos de acordo com a lei 9433. Já as micro e pequenas empresas, necessitam de apoio e orientação para adotarem tais sistemas em suas unidades produtivas.

No que se refere ao uso racional da água nas plantas industriais, será preciso investir em pesquisa e desenvolvimento tecnológico, na implantação de sistemas de tratamento avançado de efluentes, em sistemas de conservação, em redução de

perdas e no reuso da água. Isto levará à significativos ganhos ambientais, sociais e econômicos.

Como o objetivo do uso ético da água pela indústria é impedir a degradação da natureza e a disseminação de seus efeitos adversos, a responsabilidade cabe às empresas, aos indivíduos e, mais ainda, aos governos. Como a poluição da água acompanha muitas vezes o seu uso, qualquer impacto no processo do ciclo hidrológico se propaga a jusante da fonte poluidora, que nem sempre pode ser identificada.

Por isso, a indústria tem a responsabilidade de economizar água, e utilizá-la com eficiência, para evitar o esgotamento de água contaminada. A água é um bem tão precioso que no longo prazo seu grau de poluição deveria aproximar-se de zero. Em conseqüência, os produtos industriais poderão tornar-se um pouco mais caros, porém o consumidor se beneficiará com um ambiente mais sadio. O mercado internacional atualmente nega o acesso aos produtos que não têm um o selo verde em seus processos, como uma disciplina ambiental.

4.4 Utilização da água no abastecimento humano

A utilização da água para o abastecimento humano pode ser considerada o uso mais nobre para o recurso. A utilização domestica implica no consumo direto para beber e cozinhar, no consumo para limpeza e higiene pessoal e no consumo para lavagens de objetos diversos.

O Brasil apesar de possuir um índice baixo de municípios sem qualquer tipo de rede de abastecimento de água (em área urbana) em torno de 2%, quando se analisa condições de tratamento, eficiência, numero de domicílios atendidos, a situação fica preocupante, isto sem contar o tratamento dos esgotos domésticos, que no Brasil apresenta índices muito baixos.

O aumento do numero de pessoas atendidas pela rede de abastecimento de água deveria ser encarada como prioridade, principalmente nas regiões Norte e Nordeste onde os índices de pessoas não atendidas são maiores. Outro fato que não se pode esquecer é o investimento em programas de combate à perdas de água na rede, que em termos nacional é muito alto, em torno de 45%. O alto índice de perdas de água na rede de distribuição se deve basicamente a dois fatores, o primeiro é o fato de que a maioria das empresas que prestam o serviço de

abastecimento de água são de domínio público, e o outro é o baixo valor da água para as empresas do setor.

A TABELA 4.1 apresenta os valores totais de abastecimento doméstico de unidades ligadas aos sistemas públicos de abastecimento, por Estado e região, junto com outros indicadores.

A FIGURA 4.8 mostra o consumo de água médio mensal por unidades domiciliares, onde, verifica-se que os valores variam entre 16 m³ (Alagoas) e 97 m³ (Rio de Janeiro), com média brasileira de 34 m³/mês. Como geralmente moram 4 pessoas em cada unidade habitacional, o consumo diário por habitante fica entre 131 litros (Alagoas) e 795 litros (Rio de Janeiro), com média nacional de 279 l/per capita/dia.

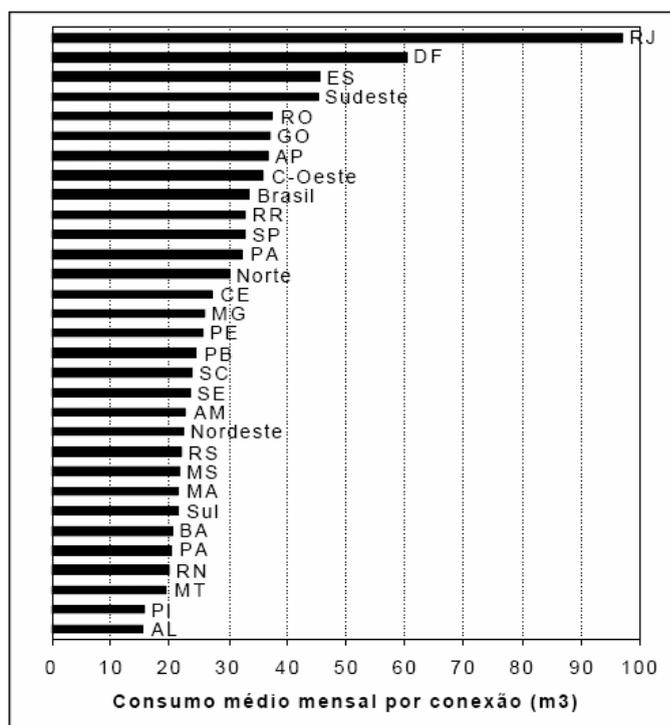


FIGURA 4.8 – Consumo de água para uso doméstico no Brasil, em unidades por sistemas públicos (Fonte: Lanna, A. E. Economia dos Recursos Hídricos. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental IPH/UFRGS, Texto de referência da disciplina HIDP-04 Economia dos Recursos Hídricos. Rio Grande do Sul, 2001.)

TABELA 4.1 – Cobertura de serviços de abastecimento de água e de coleta de esgotos domésticos no Brasil (Fonte: Lanna, A. E. Economia dos Recursos Hídricos. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental IPH/UFRGS, Texto de referência da disciplina HIDP-04 Economia dos Recursos Hídricos. Rio Grande do Sul, 2001.)

Estado	Empresa	Número de conexões (*mil)		Conexões	Conexões de	Per-	Consumo mé
		Água	Esgotos	esgo-	água com hi-	das	dio/conexão
				tos/água	drometria	(%)	(m ³ /mês)
				(%)	(%)		
Região Norte		671	48	7	39	48	30
Acre	SANACRE	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Amapá	CAESA	26	2	8	82	30	37
Amazonas	COSAMA	206	7	3	53	53	23
Pará	COSANPA	354	17	5	24	50	32
Rondônia	CAERD	64	20	31	23	37	37
Roraima	CAER	21	2	10	56	28	33
Região Nordeste		3536	454	13	56	43	22
Alagoas	CASAL	215	21	10	94	42	16
Bahia	EMBASA	858	74	9	53	44	20
Ceará	CAGECE	360	53	15	22	35	27
Maranhão	CAEMA	234	57	24	29	57	22
Paraíba	CAGEPA	349	83	24	75	43	24
Pernambuco	COMPESA	801	119	15	53	43	26
Piauí	AGESPISA	262	2	1	70	49	16
Rio Grande Norte	CAERN	274	32	12	63	46	20
Sergipe	DESO	183	14	8	72	30	24
Região Centro-Oeste		1104	336	30	61	28	36
Distrito Federal	CAESB	178	159	89	88	20	60
Goiás	SANEAGO	419	123	29	74	28	37
Mato Grosso	SANEMAT	234	28	12	69	51	19
Mato Grosso do Sul	SANESUL	273	26	10	67	36	22
Região Sudeste		6301	3092	49	80	36	45
Espírito Santo	CESAN	239	25	10	44	34	45
Minas Gerais	COPASA	137	453	331	93	30	26
Rio de Janeiro	CEDAE	1306	569	44	22	45	97
São Paulo	SABESP	3386	2045	60	100	29	33
Região Sul		2627	385	15	76	35	22
Paraná	SANEPAR	1130	266	24	99	20	20
Rio Grande do Sul	CORSAN	1018	96	9	51	45	22
Santa Catarina	CASAN	479	23	5	76	45	24
BRASIL		14239	4315	30	70	37	34

4.5 Utilização da água no Setor Energético

Uma das primeiras formas de substituição do trabalho animal pelo mecânico foi o uso da energia hidráulica, particularmente para bombeamento de água e moagem de grãos.

As principais vantagens que a energia hidráulica oferecia eram: uma grande disponibilidade de recursos, grande facilidade de aproveitamento e o caráter renovador garantido pelo ciclo hidrológico.

Esta forma de energia representa uma parcela significativa da matriz energética mundial e possui tecnologias de aproveitamento devidamente consolidadas. Atualmente, é a principal fonte geradora de energia elétrica para diversos países e responde por cerca de 16% de toda a eletricidade gerada no mundo, conforme o gráfico da FIGURA 4.9 que se segue.

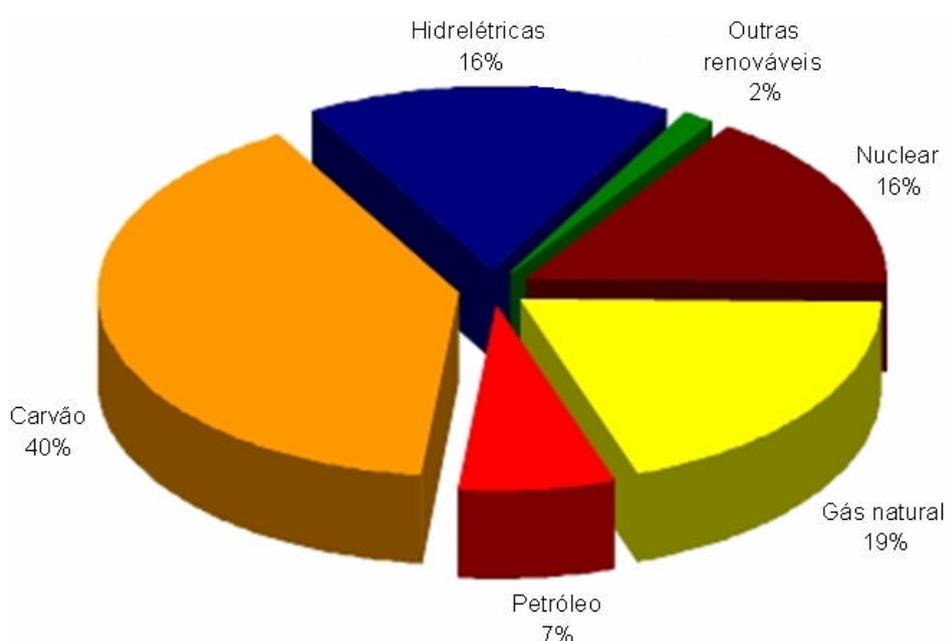


FIGURA 4.9 – Oferta mundial de energia em 2003. (Fonte: Ministério de Minas e Energia – MME, 2006, “Apresentação PROINFRA resultados e estágios de desenvolvimento”.)

A capacidade instalada para a geração de hidroeletricidade no mundo pode ser vista na FIGURA 4.10 a seguir, que mostra a liderança do Brasil, dos Estados Unidos, do Canadá e da China neste setor, além do grande potencial de crescimento desta fonte de geração de eletricidade por todo o mundo.

FIGURA 4.8

Capacidade instalada em usinas hidrelétricas no mundo – 1999

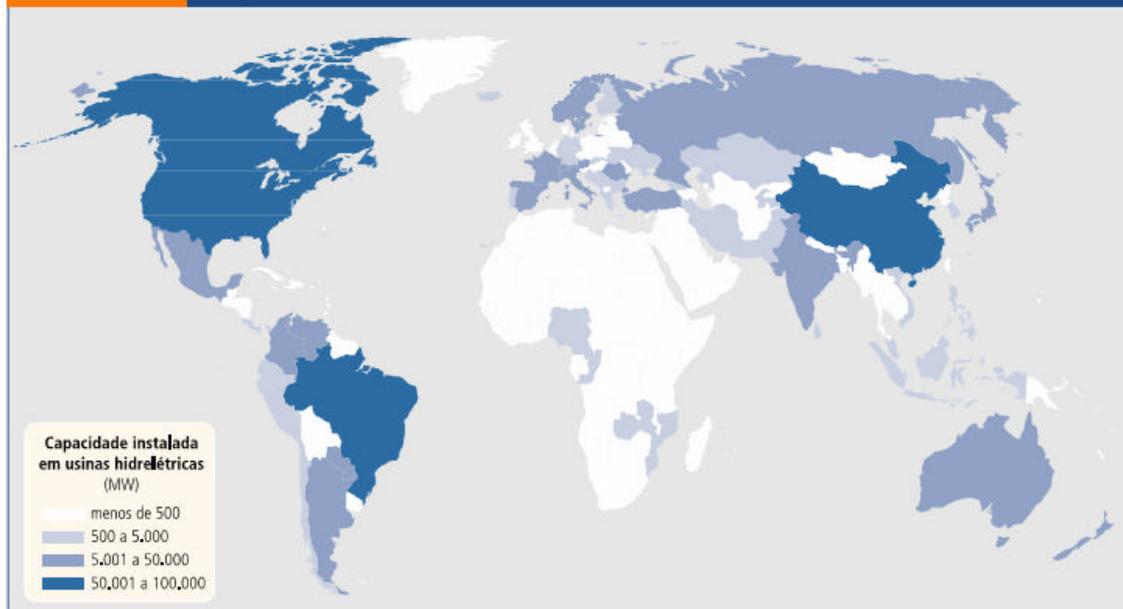


FIGURA 4.10 – Capacidades Instaladas em Usinas Hidrelétricas no Mundo (1999).
(Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2005), “Atlas da Energia Elétrica do Brasil”, Disponível em: <http://www.eletrobras.gov.br/>.)

A contribuição da energia hidráulica ao desenvolvimento econômico do Brasil tem sido expressiva, atendendo às diversas demandas da economia, representadas pelo uso múltiplo das águas de reservatórios e principalmente à geração de energia elétrica.

Segundo o Balanço Energético Nacional (2003), a contribuição da energia hidráulica na matriz energética nacional é da ordem de 14%, participando com quase 83% de toda a energia elétrica gerada no País. Apesar da tendência de aumento de outras fontes, devido a restrições socioeconômicas e ambientais de projetos hidrelétricos e aos avanços tecnológicos no aproveitamento de fontes não-convencionais, tudo indica que a energia hidráulica continuará sendo, por muitos anos, a principal fonte geradora de energia elétrica do Brasil. (ANEEL, 2003)

O potencial hidrelétrico brasileiro situa-se ao redor de 260 GW. Contudo apenas 68% desse potencial foi inventariado. Entre as bacias com maior potencial destacam-se as do Rio Amazonas e do Rio Paraná.

A TABELA 4.2. apresenta o Potencial Hidrelétrico inventariado e estimado desta rede de drenagem, bem como a capacidade instalada das bacias brasileiras (SIPOT – Eletrobrás / 2005).

Os Índices de Aproveitamento do Potencial Hidráulico por bacia (SIPOT – Eletrobrás / 2005) são apresentados na TABELA 4.3 abaixo.

TABELA 4.2 – Potencial Hidrelétrico por Bacia (março de 2003) (Fonte: CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS (Eletrobrás). (jul/2005). Potencial Hidrelétrico Brasileiro (SIPOT – Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro). Disponível em <http://www.eletobras.gov.br>.)

Bacia	Código	Inventariado (MW) [a]	Inventariado + Estimado (MW) [b]	Capacidade Instalada (MW) [c]
Bacia do Rio Amazonas	1	40.883,07	105.047,56	667,30
Bacia do Rio Tocantins	2	24.620,65	26.639,45	7.729,65
Bacia do Atlântico Norte/Nordeste	3	2.127,85	3.198,35	300,92
Bacia do Rio São Francisco	4	24.299,84	26.217,12	10.289,64
Bacia do Atlântico Leste	5	12.759,81	14.539,01	2.589,00
Bacia do Rio Paraná	6	53.783,42	60.902,71	39.262,81
Bacia do Rio Uruguai	7	11.664,16	12.815,86	2.859,59
Bacia do Atlântico Sudeste	8	7.296,77	9.465,93	2.519,32
Brasil	-	177.435,57	258.825,99	66.218,23

Fonte: CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS – ELETROBRAS. Sistema de informação do potencial hidrelétrico brasileiro – SIPOT. Rio de Janeiro, abr. 2003.

TABELA 4.3 – Índices de Aproveitamento por Bacia (março de 2003) (Fonte: CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS (Eletrobrás). (jul/2005). Potencial Hidrelétrico Brasileiro (SIPOT – Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro). Disponível em <http://www.eletobras.gov.br>.)

Bacia	Código	Índices de aproveitamento [c/a]	Índices de aproveitamento [c/b]
Bacia do Rio Amazonas	1	1,6%	0,6%
Bacia do Rio Tocantins	2	31,4%	29,0%
Bacia do Atlântico Norte/Nordeste	3	14,1%	9,4%
Bacia do Rio São Francisco	4	42,3%	39,2%
Bacia do Atlântico Leste	5	20,3%	17,8%
Bacia do Rio Paraná	6	73,0%	64,5%
Bacia do Rio Uruguai	7	24,5%	22,3%
Bacia do Atlântico Sudeste	8	34,5%	26,6%
Brasil	-	37,3%	25,6%

Fonte: CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS – ELETROBRAS. Sistema de informação do potencial hidrelétrico brasileiro – SIPOT. Rio de Janeiro, abr. 2003.

Estes índices levantados pelo SIPOT identificam quais as bacias com maior e menor índice de aproveitamento, ou seja, em que bacias há maior e menor exploração de recursos hídricos para fins de geração hidráulica. Vale observar que

a potência instalada (coluna c; TABELA 4.2) leva em consideração aproveitamentos com potências instaladas superiores a 10 MW, não incluindo, portanto, boa parte das pequenas centrais hidrelétricas – PCH's ($1 < P = 30$ MW), e cem por cento das mini ($100 < P = 1000$ KW) e micro ($P = 100$ KW) centrais.

Na TABELA 4.3 apresenta-se a enorme possibilidade da expansão da geração de energia hidrelétrica por bacia hidrográfica, sendo que a maior parte dos aproveitamentos Inventariados, constantes do Atlas de Energia Elétrica da Eletrobrás (2005), não condizem com o paradigma atual do desenvolvimento sustentável, ou seja, geração hídrica com impactos ambientais mínimos ou desprezíveis.

As políticas de estímulo à geração descentralizada de energia elétrica, como o PROINFA, promovem uma crescente participação de fontes alternativas na matriz energética nacional, e nesse contexto, as pequenas, micro e mini centrais hidrelétricas terão, certamente um, importante papel à desempenhar.

As centrais hidrelétricas geram, como todo empreendimento energético, impactos ambientais, como o alagamento das áreas vizinhas, aumento no nível dos rios, em algumas vezes pode mudar o curso do rio represado, podendo, ou não, prejudicar a fauna e a flora da região. Todavia, a hidroeletricidade produzida a partir de centrais de baixa queda é ainda um tipo de energia mais barata e menos agressiva ambientalmente do que outras como a energia nuclear, a do petróleo ou a do carvão.

O arranjo típico de aproveitamentos hidroelétricos implantados nas décadas de 1960 e 1970 atendia ao critério da maximização do volume útil de armazenamento, dando origem as grandes hidroelétricas como, por exemplo, Balbina, Itaipu, Furnas e Sobradinho, dentre outras, sendo este modelo muito questionado atualmente em virtude dos grandes impactos ambientais decorrentes.

O modelo de geração de eletricidade a partir da energia hidráulica constituiu o principal elemento alavancador das atuais políticas de recursos hídricos a partir da década de 1980, quando se intensificaram as atenções em torno dos usos múltiplos das águas dos reservatórios.

O diagnóstico apresentado e o planejamento já estabelecido no Plano Decenal de Expansão do Setor Elétrico 2003/2012 que, em princípio, indica a expansão da geração de energia de fonte hidrelétrica até o ano de 2012, mostra claramente a tendência da expansão do aproveitamento do potencial hidrelétrico de

regiões hidrográficas com grande potencial ainda não explorado ou em início de exploração: Regiões Hidrográficas Amazônica e Tocantins-Araguaia.

4.6 Transporte Hidroviário: Navegação Fluvial

O transporte hidroviário tem sido usado desde a antiguidade. Com custo operacional baixo, é utilizado no transporte de grandes distâncias, de massas volumosas de produtos de baixo valor em relação ao peso, como por exemplo os minérios.

O uso adequado de uma rede hidroviária exige a construção de uma infraestrutura de vulto que envolve, entre outras medidas :

- ? Abertura de canais para ligação das vias fluviais naturais;
- ? Adaptação dos leitos dos rios para a profundidade necessária ao calado das embarcações;
- ? Correção do curso fluvial;
- ? Vias de conexão com outras redes, como a ferroviária ou rodoviária;
- ? Complexo sistema de conservação de todo o conjunto.

Mas os custos dos investimentos e manutenção da infra-estrutura, são rapidamente recuperados pela ampla rentabilidade desse modo de transporte, existente em todos os países de economia avançada.

O Brasil conta com cerca de 40.000 km de rede hidroviária, da qual 14.000 km apresentam boa condição de navegabilidade. As principais hidrovias são:

- ? Hidrovias da Bacia Amazônica - formadas pelo trecho Ocidental, navegável por embarcações marítimas, pela hidrovia do Solimões e pela hidrovia do Rio Madeira;
- ? Hidrovia do Tocantins e Araguaia;
- ? Hidrovia do Rio São Francisco;
- ? Hidrovia do Rio Paraguai;
- ? Hidrovia Paraná-Tietê, onde se destaca o tramo norte formado pelo reservatório de ilha Solteira e o Tietê;
- ? Hidrovias do Sul, formadas pelos rios Jacuí e Taquari;
- ? Hidrovias do Nordeste, de menor porte no cenário nacional, compostas pelos rios Parnaíba, Mearim e outros.

Uma singularidade natural condicionou o desenvolvimento do transporte aquaviário interior no Brasil: as regiões mais desenvolvidas não são servidas por rios que possam levar a navegação diretamente aos portos marítimos. É o que

ocorre, por exemplo, nas Regiões Metropolitanas de São Paulo e Belo Horizonte, dentre outras. Essa situação condicionou por muito tempo o desenvolvimento da navegação interior e, de certa forma, contribuiu para a implantação da política rodoviarista que tem prevalecido nas últimas décadas, mas de acordo com o Plano Nacional de Recursos Hídricos (2006), o setor encontra-se em expansão no país, não só em face das condições críticas do modal rodoviário, como também pelo aumento da produção para exportação, principalmente de grãos, na Região Centro-Oeste.

A FIGURA 4.11 mostra a movimentação de cargas no período de 2000 a 2002 na hidrovia Tietê – Paraná.

TIPO DE CARGA	2.000		2.001		CRESCIMENTO %	
	CARGA (T)	TKU	CARGA (T)	TKU	CARGA (T)	TKU
SOJA	543.976	334.078.045	679.876	432.552.206	25	29
FARELO DE SOJA	254.955	191.589.296	286.885	207.479.125	13	8
ÓLEO VEGETAL	25.912	19.537.769	35.787	21.959.363	38	12
TOTAL LONGA DISTÂNCIA	824.843	545.205.110	1.002.548	661.990.694	22	21
CANA	593.665	29.446.222	631.465	31.668.011	6	8
SUBTOTAL MÉDIA DISTÂNCIA	593.665	29.446.222	631.465	31.668.011	6	8
TOTAL LONGA E MÉDIA DISTÂNCIA	1.418.508	574.651.332	1.634.012	693.658.705	15	21

TIPO DE CARGA	2.001		2.002		CRESCIMENTO %	
	CARGA (T)	TKU	CARGA (T)	TKU	CARGA (T)	TKU
SOJA	679.876	432.552.206	589.213	400.319.265	-13	-7
FARELO DE SOJA	286.885	207.479.125	361.938	245.991.779	26	19
ÓLEO VEGETAL	35.787	21.959.363	14.548	10.029.273	-59	-54
AÇÚCAR	-	-	2.965	2.125.898	-	-
TOTAL LONGA DISTÂNCIA	1.002.548	661.990.694	968.664	658.466.214	-3	-1
CANA	631.465	31.668.011	640.977	35.562.429	2	12
SUBTOTAL MÉDIA DISTÂNCIA	631.465	31.668.011	640.977	35.562.429	2	12
TOTAL LONGA E MÉDIA DISTÂNCIA	1.634.012	693.658.705	1.609.641	694.028.643	-1	0

FIGURA 4.11 – Movimentação de Cargas de Longas Distâncias (Fonte: Secretaria de Estado dos transportes, Departamento Hidroviário. Apresentação visita técnica, 2006)

A Figura 4.12 abaixo mostra os principais terminais e barragens com eclusas, inseridos na hidrovia Tietê – Paraná.

forma que, em 2000, o Brasil produziu cerca de 150.000 toneladas de pescado via cultivo. Em 2001, estima-se que a produção tenha ultrapassado as 200.000 toneladas.

Nos últimos cinco anos a aqüicultura brasileira vem apresentando taxas de crescimento anual superiores a 25 %. Alguns setores, como o da carcinicultura marinha e o da ostreicultura, chegaram a ampliar suas produções em mais de 50 % de 2000 para 2001.

A realidade mostra que hoje os pescadores estão se afastando cada vez mais da costa litorânea, pela carência dos estoques pesqueiros na região costeira. A aqüicultura, tanto em água doce como marinha, tem um potencial significativo no Brasil que pode e deve ser desenvolvido, atuando com sistema de produção alternativo e de complemento à oferta de pescado no mercado nacional e internacional. Porém, seu desenvolvimento deve ser realizado com cuidado, evitando repetir os erros cometidos por outros países que geraram um passivo ambiental enorme e acabaram por comprometer a própria sustentabilidade da atividade.

A captura comercial de pescado no Brasil é estimada em 700 mil toneladas anuais. Desse total, cerca de 220 mil toneladas são provenientes das pescarias em águas continentais (IBAMA, 1996).

O Brasil apresenta condições favoráveis ao desenvolvimento das diversas modalidades de aqüicultura, ou seja, grande potencial hídrico (rios, lagos e reservatórios); diversidade de espécies aquáticas nativas e aclimatadas às condições ambientais do País; mercado com demanda insatisfeita interna e externamente; infra-estrutura de apoio disponível (centros de pesquisa e estações de aqüicultura); clima e áreas adequadas. No entanto, a aqüicultura em águas interiores ainda é incipiente em algumas regiões do país (Regiões Hidrográficas do Amazonas e Tocantins), mas já é importante nas Regiões Hidrográficas Costeiras do Nordeste Ocidental e Nordeste Oriental, assim como nas regiões hidrográficas costeiras do Sudeste e Sul, particularmente nos Estados de São Paulo, Paraná, e Santa Catarina.

Apesar da acentuada alta do setor nos últimos anos, existe ainda um grande potencial de crescimento, condicionado, entretanto, a um planejamento para o setor integrado ao PNRH – Plano Nacional de Recursos Hídricos. A sustentabilidade e o potencial de geração de renda e inclusão social da atividade dependem, dentre outros fatores, do acesso à água com qualidade adequada para o crescimento e

posterior consumo dos organismos cultivados. Para isso, é fundamental definir e respeitar a capacidade de suporte das áreas autorizadas para a implantação de cultivos.

4.8 Turismo e Lazer

Segundo ANA (2004), este setor, associado aos recursos hídricos, pode ser agrupado em três segmentos principais: o turismo e lazer no imenso litoral brasileiro, com cerca de 8.000 km de costa; o turismo ecológico e a pesca em alguns biomas como o Pantanal e a Floresta Amazônica; e o ainda incipiente, mas de grande potencial, turismo e lazer nos lagos e reservatórios interiores. No primeiro segmento, os problemas mais significativos residem nas deficiências de infra-estrutura urbana e, mais especificamente, na falta ou baixa eficiência dos sistemas de esgotos sanitários. No segundo segmento, considerando que o ecoturismo já representa 5% do turismo mundial e, ainda, que é cada vez maior a conscientização global e nacional com relação à preservação ambiental, configurando assim um grande potencial a ser desenvolvido. Para o terceiro segmento, resta o estabelecimento de política e estratégia de uso racional dos lagos dos reservatórios como instrumento de ofertar lazer de baixo custo à sociedade.

Ainda com relação ao turismo nos reservatórios, é importante ressaltar o conflito de interesses entre o seu desenvolvimento e as concessionárias de geração de energia que possuem seus reservatórios pertencentes ao SIN. As concessionárias consideram o turismo um setor secundário neste caso, não sendo muitas vezes considerado na operação dos reservatórios, fato esse, que prejudica o desenvolvimento de empreendimentos ribeirinhos aos reservatórios. Segunda a ANEEL já existe uma conscientização por parte do Setor e estudos de usos múltiplos em reservatórios de usinas hidrelétricas que contemplam o Setor do Turismo, porém ainda demorará muito tempo para que seja definida uma política de operação que agrade todas as partes.

4.9 Demandas Hídricas e Alterações do Regime Hidrológico da Bacia

Quando contrapõe-se as demandas hídricas de uso múltiplo da bacia às suas ofertas de calha (disponibilidades hídricas), verifica-se atualmente que, como

as bacias hidrográficas brasileiras, em geral, apresentam cenário ambiental de bacias Rural-Urbanas, suas carências hídricas na estiagem e enchentes nos períodos chuvosos tornam-se freqüentes. Nos períodos hidro-meteorológicos críticos representados pelo El Nino/La Nina, as condições do regime hidrológico da bacia se agravaram.

Diante desta condição hidrológica e ambiental, os usos múltiplos da bacia apresentam quadro de comprometimento e incerteza, tornando-se necessário atuações de manejo hídrico com o objetivo de maximizar os disponibilidades hídricas da bacia degradada.

5 REGULARIZAÇÃO DO REGIME DE CALHA FLUVIAL DA BACIA HIDROGRÁFICA: MANEJO HÍDRICO PONTUAL E ESPACIAL DE VAZÕES

5.1 Importância

Levando-se em conta que as bacias hidrográficas brasileiras tendem à deterioração das suas disponibilidades hídricas e que esta degradação hidrológica já vem trazendo incertezas quanto ao uso da água da bacia degradada, torna-se relevante a correção do seu regime hidrológico, considerando-se torná-lo, gradativamente, mais próximo às condições ambientais-hidrológicas de tempos pretéritos.

Esta correção é feita através do manejo hídrico da bacia degradada, que consiste normalmente na realização de atuações impostas em seu regime hidro-sedimentológico capazes de alterar seus aspectos ambientais; atuações estas realizadas em uma seção da calha fluvial (obras locais), ou então através de obras disseminadas na bacia (obras espaciais).

5.2 Manejo Pontual: Reservatório de Estiagem

5.2.1 Conceituação do Reservatório de Estiagem

As obras de regularização local (Pontual), através dos reservatórios de regularização do regime fluvial, impõem a utilização das barragens tradicionais com maiores alturas, formando uma bacia hidráulica, por efeito de acumulação hídrica de calha local (bacia hidráulica do reservatório).

Quando esta acumulação hídrica se dá apenas no controle do regime dos níveis d'água do rio, a barragem opera a fio d'água; quando a acumulação hídrica ocorre com o controle do regime dos níveis d'água e vazões do rio, a barragem opera com regularização (ou acumulação). A primeira e a segunda barragens em geral caracterizam os Aproveitamentos de baixa queda ($10 = h = 20$ m) e média/alta quedas ($20 = h = 100$ m) respectivamente (OTTONI 2005). No Brasil, prevalecem os Aproveitamentos de regularização de média e alta queda, os chamados Reservatórios de Estiagem de Uso Múltiplo.

Nos Reservatórios de Estiagem, a acumulação hídrica realizada permite transformar o hidrograma natural afluente à seção do empreendimento em um hidrograma regularizado efluente, este menor que a vazão média do curso d'água e tanto menor quando maiores forem as perdas d'água de natureza evaporativa. Portanto, quando $Q_{\text{MIN Rio}} = Q_{\text{Consumo}} = Q_{\text{Médio Rio}}$, justifica-se a utilização da acumulação hídrica pelo Reservatório de Estiagem.

Esta acumulação hídrica provocada pelo barramento se dá principalmente nos períodos chuvosos (TC) do ano hidrológico, favorecendo o reforço das disponibilidades hídricas acumuladas a serem utilizadas pelos usos múltiplos (Q_{Consumo}) na área de influência do Aproveitamento nos períodos de estiagem (TE). Portanto, nos Reservatórios de Estiagem determina-se um volume compatível ao atendimento das demandas hídricas múltiplas, conceituado como Volume Útil do Reservatório.

5.2.2 Metodologias de Dimensionamento do Volume Útil

Volume útil corresponde ao deflúvio acumulado destinado às operações previstas para o reservatório, devendo ele apresentar capacidade de suprir as demandas hídricas no decorrer de todo o ano, principalmente no período de estiagem. Quanto a geração hidroelétrica, o volume útil pode ser entendido como sendo a reserva de energia elétrica para a Usina. Neste caso, uma das demandas que o volume útil deve atender durante todo o ano é a vazão turbinada de projeto, além do fato de que o nível do volume útil influi diretamente na geração de energia, uma vez que a sua variação influencia na queda líquida da Usina.

Existem muitos métodos de dimensionamento para o volume útil de um Aproveitamento hidrelétrico (Reservatório de Estiagem), dos quais podem-se citar o método do Diagrama de Rippl, considerada metodologia clássica de dimensionamento; o método das Diferenças Totalizadas, que pode ser entendido como uma variação do método do diagrama de Rippl; o método de Conti – Varlet, mais utilizado quando existem restrições de área ou volume para o dimensionamento do Aproveitamento ou ainda para o cálculo da vazão regularizada ótima. Existem ainda métodos baseados em simulações e modelos de otimizações utilizados para o dimensionamento do volume útil, porém neste trabalho convencionou-se fazer a apresentação e utilização apenas das três primeiras metodologias citadas.

5.2.2.1 Método do Diagrama de RIPPL

O método do diagrama de Rippl pode ser considerado a metodologia mais clássica de dimensionamento do volume útil de reservatórios. Segundo SOUZA (1974), este método foi originado no fim do século retrasado (1880). Ele permite o dimensionamento do volume útil de reservatórios a partir de cálculos gráficos lógicos e simples. Até hoje esse método é válido e utilizado para projeto de barragens e reservatórios.

O método de Rippl, ou “Diagrama de Rippl”, utiliza a curva dos deflúvios acumulados das vazões naturais do rio na seção selecionada para o barramento e a compara com a curva dos deflúvios acumulados de consumo, de acordo com as demandas hídricas previstas para o reservatório, sendo esta mais comumente uma reta, quando a vazão média de captação (consumo) é considerada constante.

A “curva de deflúvios acumulados”- CDA, também chamada “curva de massas”, é construída a partir dos dados históricos de vazões. São calculados os deflúvios, em intervalos “ Δt ” pré-estabelecidos, e somados cumulativamente, plotando-se os valores correspondentes de deflúvios acumulados X tempos em um par de eixos ortogonais.

As vazões naturais da CDA são correspondentes ao Período de Anos Secos (TAS) da série hidrológica, sendo as de consumo as previstas para o uso múltiplo do reservatório para as demandas compatíveis com a vida útil do Aproveitamento. Na FIGURA 5.1 é apresentado a CDA.

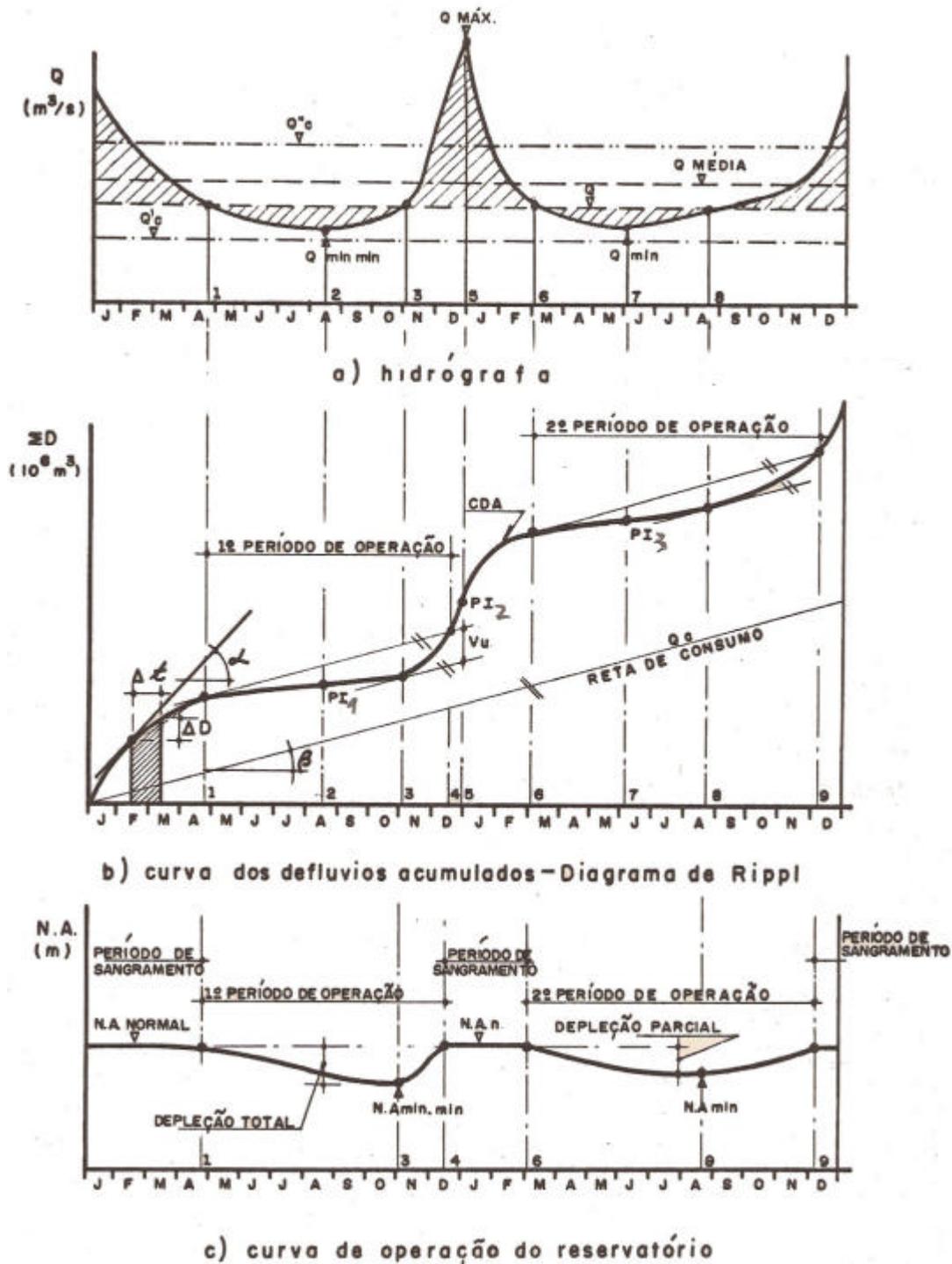


FIGURA 5.1 – Dimensionamento e Operação de Reservatório de Estiagem (Fonte: Adaptado de Apostila de Hidrotécnica Continental - SOUZA 1974)

Verifica-se:

$$D = Q_{\text{mín}} \cdot t \quad (5.1)$$

sendo Δt constante

$$D = \int_0^t Q dt \quad (5.2)$$

SOUZA (1999) define de forma simplificada que a curva de deflúvios acumulados – CDA nada mais é do que a curva integral do fluviograma, com as áreas do fluviograma (da origem até o tempo determinado) representando as ordenadas e o tempo a abscissa.

De posse da curva de deflúvios acumulados – CDA é realizado um balanço, em cada instante, entre as vazões de consumo (Q_c) e as vazões naturais do rio (FIGURA 5.1); aquela representada no diagrama de Rippl pelo coeficiente angular ($\tan \beta$) da “curva de consumo” (usos múltiplos) e estas pelas tangentes ($\tan \alpha$) aos pontos da CDA, com valores diferentes em cada instante do eixo das abscissas, em função do regime do rio.

Quando as tangentes a CDA têm inclinações superiores à curva de consumo significa que existe oferta excedente de recurso hídrico e o reservatório enche; quando as tangentes são paralelas à CDA, significa que o reservatório está cheio e o nível corresponde ao Nível d’Água Normal Operacional. No caso das inclinações das tangentes à CDA apresentarem inclinações inferiores à CDA, indica que o reservatório está esvaziando. Ao se observar a FIGURA 5.1, fica visível o enchimento e esvaziamento do reservatório, assim como o ponto em que ele se encontra cheio. O período de tempo que delimita o esvaziamento e posterior enchimento do reservatório é definido como sendo o Período de Operação do reservatório, como ilustrado na FIGURA 5.2.

Dentro de cada período de operação, pode-se determinar em qualquer instante o volume disponível no reservatório e a parcela que está faltando em relação ao volume correspondente ao nível d’água normal, ou volume útil, conforme FIGURA 5.2.

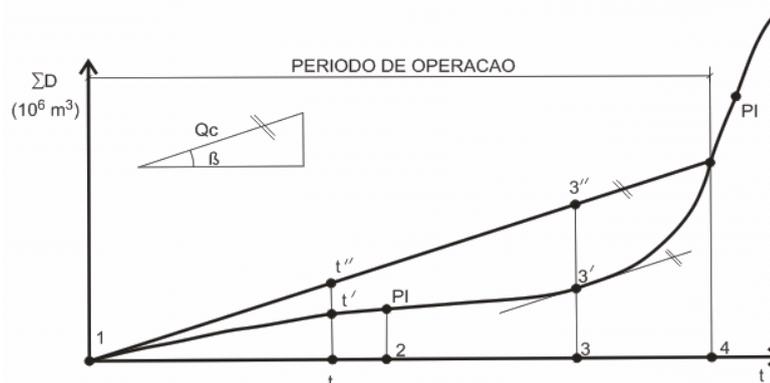


FIGURA 5.2 – Período de Operação de um Reservatório (Fonte: Adaptado de Apostila de Hidrotécnica Continental - SOUZA 1974)

Pode-se assim realizar o balanço hídrico entre oferta e demanda de água em cada instante. O Volume Útil a ser adotado será definido como sendo aquele com maior diferença do balanço hídrico entre oferta e demanda, que no caso da FIGURA 5.2 seria o instante 3.

Os períodos de operação podem-se caracterizar em cada estiagem anual, ou, nos chamados “reservatórios de operação plurianual”, englobando assim vários anos consecutivos, do “período de anos secos” (TAS), uma vez que, para projetos de reservatórios de estiagens, trabalha-se com anos críticos de vazões (déficit hídrico da bacia). Na FIGURA 5.3 está ilustrada a aplicação do diagrama de Rippl a um rio, cuja CDA é conhecida, para duas alternativas diferentes de regularização, correspondentes às vazões Q_1 e Q_2 , sendo $Q_2 > Q_1$.

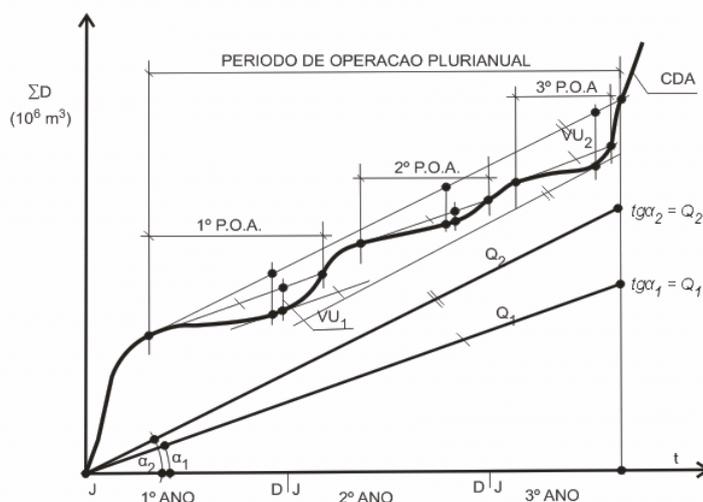


FIGURA 5.3 – Reservatório de Operação Anual e Plurianual (Fonte: Adaptado de Apostila de Hidrotécnica Continental - SOUZA 1974)

Analisando-se a FIGURA 5.3 apresentada acima, verifica-se que o reservatório pode ser de operação anual ($tg a_1 = Q_1$), ou com operação plurianual ($tg a_2 = Q_2$). Sendo $Q_2 > Q_1$, conclui-se que o balanço entre oferta e demanda hídrica, para o TAS, é quem vai definir o Período de Operação do Reservatório.

Após determinar o volume útil para o Aproveitamento utilizando o diagrama de Rippl, tem-se que executar a correção da evaporação e outras perdas, pois ao se criar um reservatório mudam-se todas as características regionais anteriores, criando-se novas possibilidades de perdas de água, as quais devem ser consideradas em projeto. As perdas mais comuns são as perdas por infiltração, as nos aparelhos de manobra e as devido a evaporação na bacia hidráulica do reservatório. Levando-se em conta que as perdas por evaporação sejam as mais facilmente calculadas, usualmente adotam-se critérios mais conservadores para o seu cálculo de modo ao valor obtido compreenda as outras perdas.

Para o cálculo das perdas d'água devido a evaporação, é necessário que seja levantada a curva Cota X Área X Volume da bacia hidráulica do reservatório. Esta curva relaciona os valores de cota do terreno aos respectivos valores de volume e área alagada pelo reservatório, conforme FIGURA 5.4.

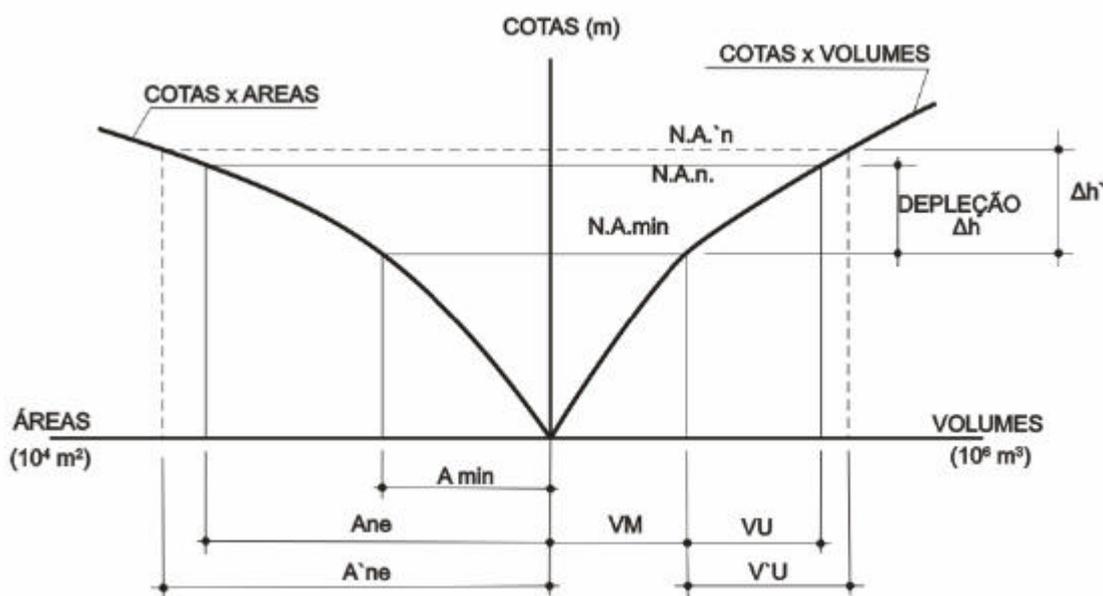


FIGURA 5.4 – Curva Cota X Área X Volume da Bacia Hidráulica do Reservatório (Fonte: Adaptado de Apostila de Hidrotécnica Continental - SOUZA 1974)

Para o cálculo da evaporação, adota-se a área do espelho d'água normal, que ocorre com o reservatório cheio. Multiplicando-se esta área pela altura de evaporação característica da região onde o Aproveitamento estará inserido, e somando-as na extensão do tempo representado na CDA, tem-se a curva dos deflúvios de evaporação semelhante à curva de consumo. Como a evaporação é uma perda de água, soma-se à curva de consumo os deflúvios de evaporação, obtendo-se assim uma nova curva de consumo mais crítica. Entra-se na CDA com esta nova curva de consumo e obtém-se outro volume útil, que agora considera a mais o consumo de evaporação. A FIGURA 5.5 exemplifica o processo.

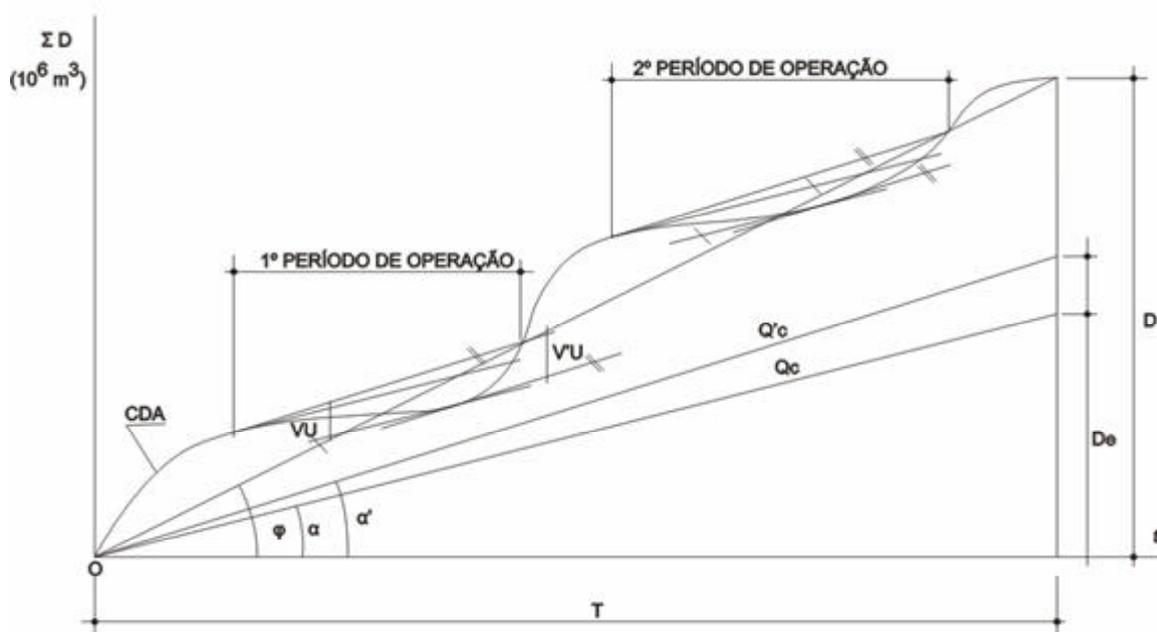


FIGURA 5.5 – Cálculo do Volume Útil com Correção de Evaporação (Fonte: Adaptado de Apostila de Hidrotécnica Continental - SOUZA 1974)

Segundo SOUZA (1974), como a correção da evaporação é um cálculo executado pelo processo de interação, o mesmo tem que ser repetido até que a diferença entre os valores da área do espelho d'água normal para as condições antes e depois do cálculo da correção de evaporação sejam inferiores a 5%. Nesta condição, $VU_{Projeto} = VU_{Final}$.

5.2.2.2 Método das Diferenças Totalizadas (RIPPL Modificado)

O método das Diferenças Totalizadas é uma adaptação do método do Diagrama de Rippl para dimensionamento de reservatórios de estiagem

(regularização de vazões). O objetivo da transformação é facilitar a visualização e o manuseio gráfico dos dados, acabando com a inclinação do gráfico, que passa a ser horizontal. Segundo SOUZA (1974), a modificação consiste em se fazer uma projeção, sobre o eixo dos tempos, da reta que une a origem dos eixos à extremidade superior da curva, reta essa representativa da vazão média Q_m , marcando em cada abscissa (t) a diferença, positiva ou negativa, entre a ordenada da CDA e a ordenada da reta, ou seja, basta subtrair, ponto a ponto da CDA (vazão natural do rio) os valores relativos dos deflúvios provenientes da vazão média $- Q_m$. A construção da curva das diferenças totalizadas $- CDT$ está ilustrada na FIGURA 5.6.

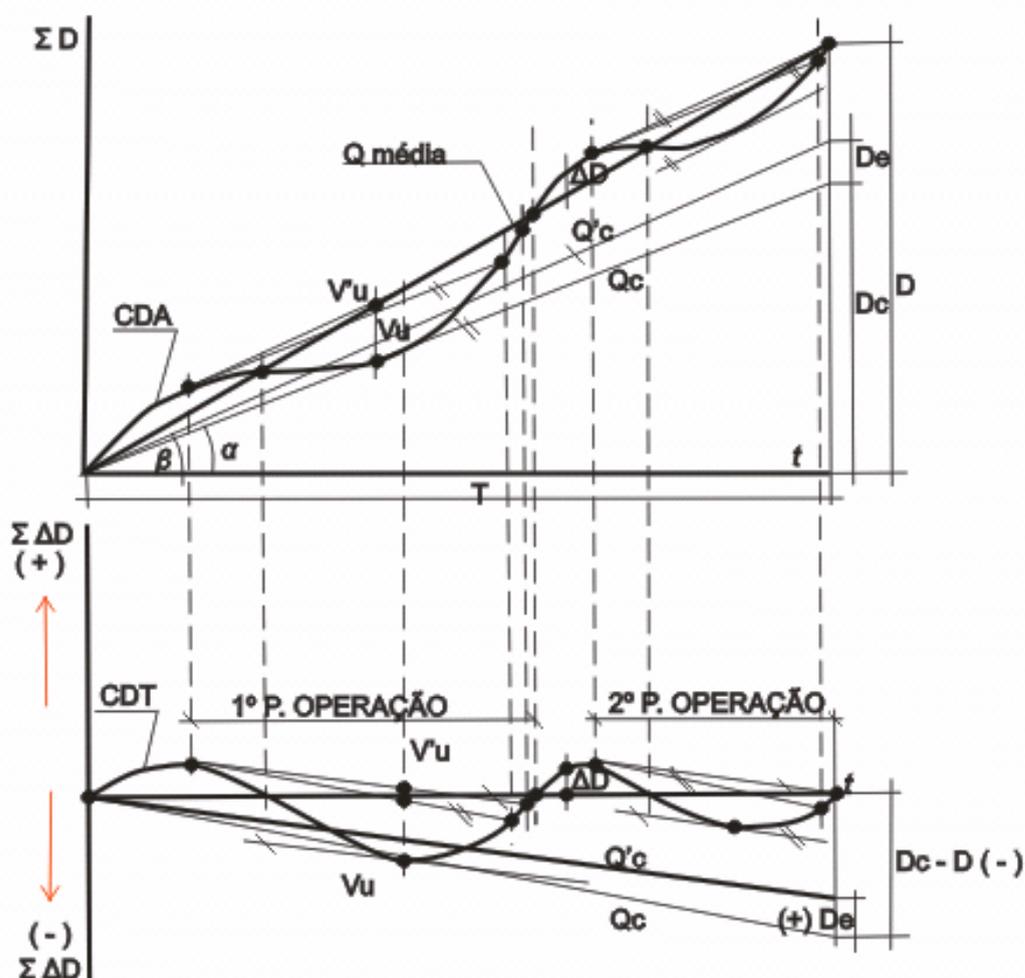


FIGURA 5.6 – Determinação do volume útil para regularização de uma dada vazão – correção da evaporação – Métodos de Rippl e Rippl Modificado (Fonte: Adaptado de Apostila de Hidrotécnica Continental - SOUZA 1974)

A curva das diferenças totalizadas – CDT, que, conforme mencionado, é apenas uma variação da CDA para a vazão média do período, toma o aspecto apresentado na FIGURA, podendo suas ordenadas ΔD terem sinal positivo (+) ou negativo (-), de acordo com o balanço hídrico entre as ofertas e demandas.

Como é fato, a igualdade entre as duas curvas (CDA e CDT), uma vez que a CDT nada mais é do que a CDA transposta horizontalmente, desta forma, existe uma correspondência entre pontos de tangência e igualdade das distâncias verticais entre tangentes homólogas.

Traça-se a reta de consumo Q_c a partir da origem dos eixos até a ordenada negativa $D_c - D$, na extremidade do tempo total. As tangentes à CDT, paralelas à reta de consumo Q_c , definem períodos de operação e volumes úteis, dos quais se escolherá o maior, análogo caso do método de Rippl clássico. A partir do volume útil escolhido, determina-se o deflúvio de evaporação D_e no tempo, de acordo com a metodologia apresentada no item anterior, sendo o valor D_e somado algebricamente, com sinal positivo (+), ao deflúvio de consumo $D_c - D$. A vazão de consumo fictícia Q_c estabelecerá novas tangentes e novos volumes úteis, que poderão ser os definitivos se for atendida a condição conhecida, de ser a diferença das áreas de evaporação menor do que 5% de área de espelho d'água normal, conforme condição anteriormente apresentada para a metodologia do diagrama de Rippl clássico.

5.2.2.3 Método do Diagrama de Conti-Varlet

A ocupação da bacia ao longo do tempo tende a promover a aumento das suas demandas hídricas (capítulo 4). Estes aumentos refletem a “importância” do recurso água, assim como as condições da bacia.

Devido a restrições de uso de recurso hídrico, ou mesmo restrições ambientais, muitas vezes não é possível construir um reservatório com o volume útil projetado por um dos dois métodos anteriores. Nestas condições usa-se a metodologia de Conti-Varlet, que visa determinar, para um dado volume útil inicial (volume de restrição), as vazões regularizadas ideais, onde estas variam com o tempo, e, para cada instante, em função desta vazão regularizada ideal, é dado um volume útil de regularização – V_{reg} .

Utilizando a curva de deflúvios de diferenças totalizadas – CDT, apresentada anteriormente e obtida seguindo a mesma metodologia apresentada

no item anterior, rebate-se a esta curva um volume útil inicial (volume de restrição). Neste caso não é mais possível traçar, ao longo do tempo, uma reta horizontal entre as duas curvas, mas sim um conjunto de retas quebradas, como se fosse um fio distendido, por esse motivo, o diagrama resultante de Conti-Varlet também é denominado de Fio Distendido.

De forma análoga aos métodos apresentados anteriormente, os trechos com inclinação inferiores representam trechos em que a vazão é inferior à vazão média ou de consumo, e os trechos com inclinação superiores representam trechos em que a vazão é maior do que vazão média ou de consumo. As FIGURAS 5.7 a 5.8 ilustram a metodologia.

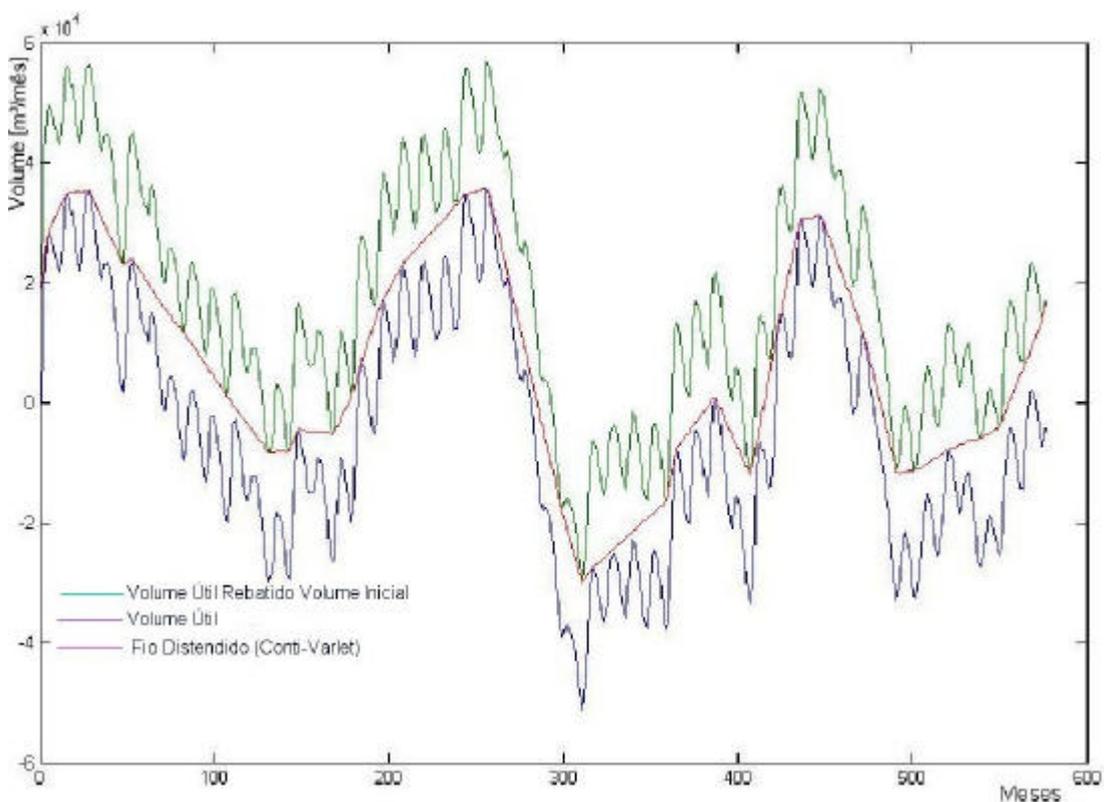


FIGURA 5.7 – Diagrama de Conti-Varlet para a UHE Ilha Solteira

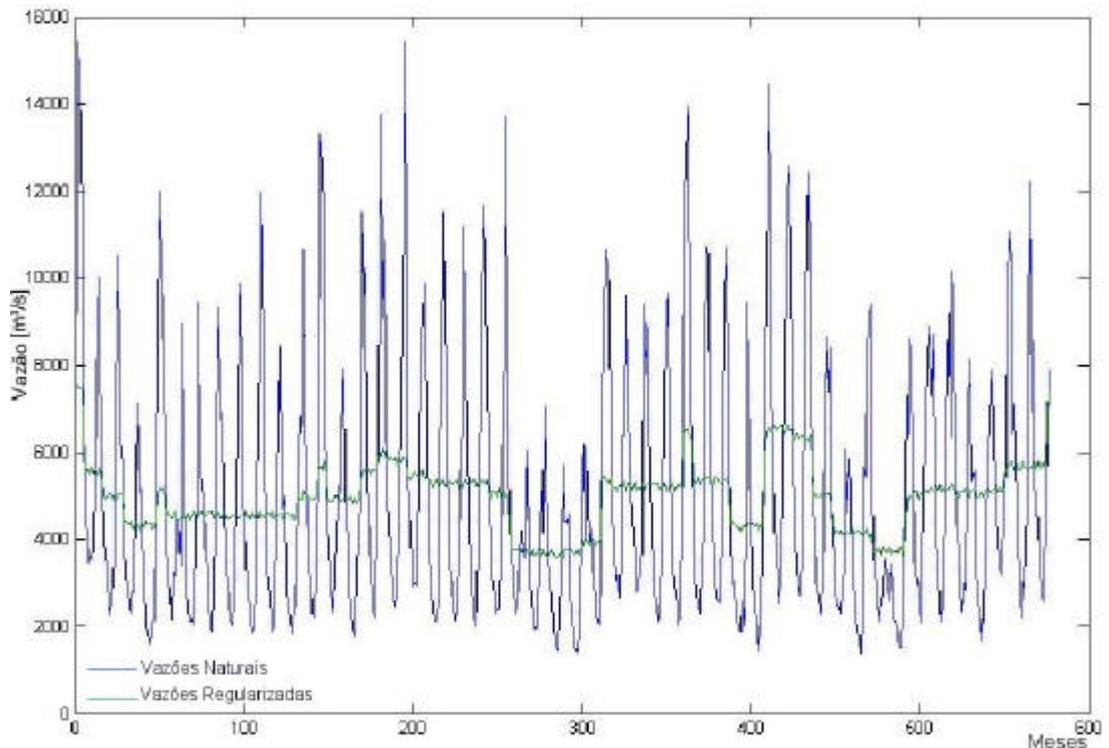


FIGURA 5.8 – Gráfico das vazões regularizadas “ideais” obtidas pelo Diagrama de Conti-Varlet para a UHE Ilha Solteira

Como por conceituação esta metodologia parte de um volume útil de restrição, os volumes úteis encontrados com esta metodologia vão sempre ser menores em valores absolutos se comparados com os determinados pelos dois métodos anteriores.

5.2.3 Operação dos Reservatórios de Estiagem

Os reservatórios de estiagem têm por finalidade acumular parte das águas do escoamento superficial de calha ocorrido no período chuvoso (TC) para compensar as carências hídricas da bacia no período de estiagem (TE). Esta acumulação é feita para atender ao volume útil compatível com as demandas hídricas múltiplas exercidas sobre o reservatório. Portanto, durante a vida útil do Aproveitamento Hidro-Energético, este opera sob condições altimétricas e de volume da sua bacia hidráulica compatíveis com o regime hidrológico da bacia hidrográfica assim como considerando as necessidades de atendimento das demandas energéticas do Sistema Interligado Nacional – SIN e as restrições

hidráulicas operativas, ambas sob gerenciamento do Operador Nacional do Sistema – ONS .

Na FIGURA 5.9 é apresentado gráfico explicativo dos esquemas operacionais dos reservatórios de estiagem.

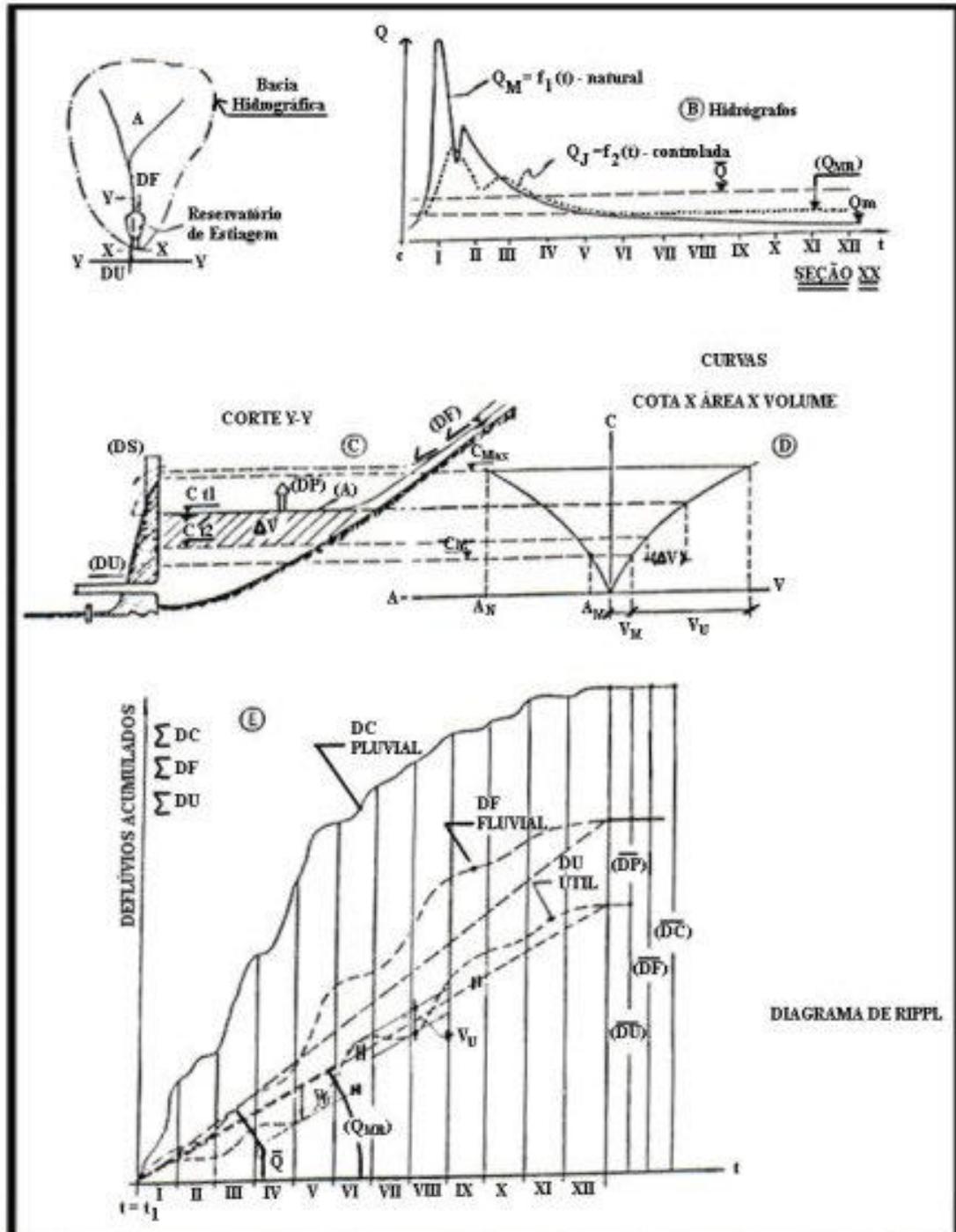


FIGURA 5.9 – Gráfico Elucidativo dos Esquemas Operacionais dos Reservatórios de Estiagem (Fonte: NETTO, T. B. O.; Manejo Hídrico em Bacias Hidrográficas; Tese de Professor Titular; EE/UFRJ; Rio de Janeiro; 1983)

Nos reservatórios de estiagem pode-se assim caracterizar os seguintes níveis e volumes:

- ? Nível mínimo operacional: o NA mínimo operacional corresponde à cota mínima necessária para a operação adequada do reservatório. Esta cota define o limite superior do volume morto e o limite inferior do volume útil do reservatório. Normalmente, o NA mínimo operacional encontra-se acima do limite superior da estrutura da tomada de água, de modo a evitar a criação de vórtices na entrada. A cota do N.A._{min} operacional é definido considerando aspectos topográficos, sedimentos e navegação fluvial;
- ? Volume morto: o volume morto corresponde à parcela do volume total do reservatório inativa, ou indisponível para fins de captação de água. Corresponde ao volume do reservatório compreendido abaixo do NA mínimo operacional;
- ? Volume útil: o volume útil de um reservatório corresponde ao volume compreendido entre os níveis de água mínimo operacional e o máximo operacional. Este é o volume destinado à operação de uso múltiplo do reservatório, ou seja, ao atendimento das diversas demandas de água. Devem-se considerar as perdas por evaporação;
- ? Volume de espera: o volume de espera, ou volume para controle de cheias, corresponde à parcela do volume útil destinado ao amortecimento das ondas de cheias, visando ao atendimento das restrições de vazão de jusante. Estas restrições são, em geral, ditadas pela capacidade de calha dos canais fluviais de jusante e pelo não comprometimento da infraestrutura existente, como pontes, rodovias ou áreas urbanas. O volume de espera é variável de acordo com a época do ano, uma vez que a probabilidade de ocorrências de precipitações intensas variam de acordo com o ano hidrológico. Este volume define o nível máximo operacional e o nível meta do reservatório, definido pelo ONS para cada reservatório;
- ? Nível Máximo maximorum: o NA máximo maximorum de um reservatório corresponde à sobrelevação máxima do nível de água, medida a partir do NA máximo operacional, disponível para passagem de ondas de cheias;
- ? Crista do barramento: a cota da crista do barramento é definida a partir de uma sobrelevação adicional do NA máximo maximorum denominada borda livre, destinadas a impedir que as ondas formadas pelo vento e maré –

meteorológica ultrapassem a crista da barragem, e ainda garantir uma segurança adicional à eventuais condições climáticas excepcionais de tempo;

- ? Nível máximo operacional: O NA máximo operacional de um reservatório corresponde à cota máxima permitida para a operação normal do reservatório. Normalmente essa cota coincide com a crista do extravasor ou com a borda superior das comportas do vertedor para os Aproveitamentos com controle de comportas. O NA Máximo operacional define a cota máxima do volume útil do reservatório;
- ? Nível de Deplecionamento Máximo do Reservatório: Define a cota mínima operacional do reservatório levando em conta atender ao volume dos usos múltiplos. Esta cota é controlada pelo ONS através da “Curva de Aversão ao Risco”, que define em um ano hidrológico percentuais de rebaixamento dos volume útil de reservatórios por região geográfica.

5.2.4 Metodologia de operação dos Reservatórios Hidrelétricos Gerenciados pelo ONS

Com a implantação dos reservatórios hidrelétricos de usos múltiplos ocorrida no passado, principalmente no período compreendido entre as décadas de 50 e 80, as paisagens locais da Área de Influência Direta – (AID) dos empreendimentos ficaram alteradas. Não obstante as desapropriações e relocações, que naquela época as Concessionárias não tinham as mesmas preocupações e cuidados ambientais como os estudos das CH's atuais, esta AID passava a servir para as cidades locais/regionais como área para exploração turística e usos da irrigação (receitas financeiras), conforme características de uso múltiplo de reservatório hidrelétrico. Desta forma, muitas cidades passaram a ter nos reservatórios hidrelétricos suas principais fontes de receita, conforme é mostrado abaixo o reservatório da UHE Furnas no ano da crise energética (2001) e no ano de 2005. De acordo com estudos do CERNE – UNIFEI (2006), nas 52 cidades ribeirinhas ao reservatório de Furnas houveram uma redução brusca de suas receitas, principalmente devido ao turismo, quando do deplecionamento do N.A. do lago ocorrido naquele ano devido a carência das bacias hidrográficas do SE, CO, NE.



FIGURA 5.10 – Reservatório de Furnas na cidade de Fama em 2001 (Fonte: CERNE – UNIFEI 2005)



FIGURA 5.11 – Reservatório de Furnas na cidade de Fama em 2003 (Fonte: CERNE – UNIFEI 2005)



FIGURA 5.12 – Reservatório de Furnas na cidade de Carmo do Rio Claro em 2001 (Fonte: CERNE – UNIFEI 2005)



FIGURA 5.13 – Reservatório de Furnas na cidade de Carmo do Rio Claro em 2003 (Fonte: CERNE – UNIFEI 2005)

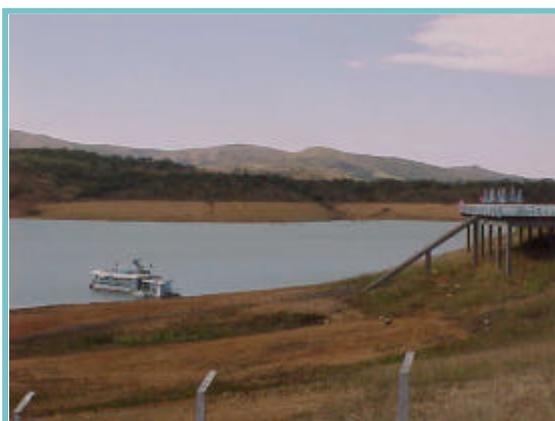


FIGURA 5.14 – Reservatório de Furnas na cidade de Capitólio em 2001 (Fonte: CERNE – UNIFEI 2005)



FIGURA 5.15 – Reservatório de Furnas na cidade de Capitólio em 2003 (Fonte: CERNE – UNIFEI 2005)

Portanto, os reservatórios hidrelétricos de acumulação representam para as comunidades locais afetadas atratividades, e, sendo assim, estas se implantam próximas ao perímetro destes lagos artificiais. Muito embora exista legislação que regulamenta esta exploração, a partir de um raio de ação, a falta de gerenciamento da orla destes lagos facilitou a sua exploração clandestina. Atualmente, estas explorações limitam a operação de reservatórios, fazendo parte das “Restrições Hidráulicas Operativas dos Reservatórios”, em todas as situações ocorridas a partir de condicionantes hidrológicas da bacia onde o Aproveitamento está implantado, notadamente para as condições hídricas críticas das enchentes e estiagens.

A operação dos reservatórios hidrelétricos plurianuais é realizada pelo ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico, a partir dos Aproveitamentos ligados ao SIN. Segundo o ONS, para garantir uma operação otimizada dos reservatórios e possibilitar a reprodução das decisões operativas exigidas pela regulamentação vigente, é utilizada uma série de modelos de otimização cujo objetivo é atender aos requisitos de carga do sistema e otimizar a operação e geração de energia elétrica produzida, sempre respeitando os usos d’água múltiplos dos reservatórios.

Para atender aos objetivos citados, o ONS criou uma série de medidas de gestão que fazem parte e auxiliam na operação dos reservatórios que compõem o SIN. Dentre estes elementos pode-se citar a criação do Volume de Espera; a criação das Restrições Hidráulicas Operativas dos Reservatórios; e a utilização da Curva de Aversão ao Risco. Devido à suas complexidades estes elementos serão abordados um a um nos subitens subsequentes.

5.2.4.1 O Volume de Espera

Os principais reservatórios de acumulação hídrica (regularização de vazões) existentes no Brasil sob operação do ONS foram construídos em áreas onde já existia ou que sofreu depois de sua construção intensa ocupação antrópica na sua bacia hidrográfica, esta ocupação ocasionou mudanças nas características das bacias onde os reservatórios estão inseridos, como referido no item 3.3. Dentre as modificações, podemos citar: a mudança nas características de vazão dos corpos hídricos; possível aumento do índice de chuva nas regiões de reservatório; mudanças físicas representadas pela instalação de empreendimentos nas margens dos reservatórios; expansão das áreas urbanas nas planícies de inundação dos rios nos trechos a jusante dos reservatórios. Estas alterações da bacia facilitaram a

ocorrência dos eventos extremos de enchentes em TC que passaram a ser controlados pelo ONS a partir do Volume de Espera dos Reservatórios em bacias onde existam UHE's.

O Volume de Espera representa uma porcentagem do volume útil do reservatório que é deplecionado com a finalidade de amortecer as ondas de cheias que chegam ao reservatório, minimizando assim o vertimento da água excedente. Essa água excedente, se chegasse a verter, poderia ocasionar enchentes a jusante do reservatório, afetando assim a população e ou empreendimentos ribeirinhos que se instalaram a jusante do barramento.

Tendo em vista que a maioria dos reservatórios de acumulação hídrica não foram projetados para a utilização no controle de cheias, o planejamento da operação procurou minimizar este conflito através de uma alocação criteriosa de “espaços vazios” (Volume de Espera) nos reservatórios, levando em conta, para tal, o gerenciamento de restrições operativas hidráulicas de vazões ou de níveis máximos a jusante, ou mesmo o abaixamento do nível a montante para não agravar restrições de vazões ou níveis máximos no reservatório devido ao seu remanso hidráulico nos períodos chuvosos.

Esta alocação de “espaços vazios” nos reservatórios é realizada por metodologias que levam em consideração condições de nível dos reservatórios do SIN, as vazões afluentes e defluentes. Estudos de hidrologia estatística e de vazões extremas de cheias para durações diárias, são algumas ferramentas utilizadas nas metodologias de determinação do Volume de Espera. Na FIGURA 5.16 é apresentado um esquema explicativo do Volume de Espera.

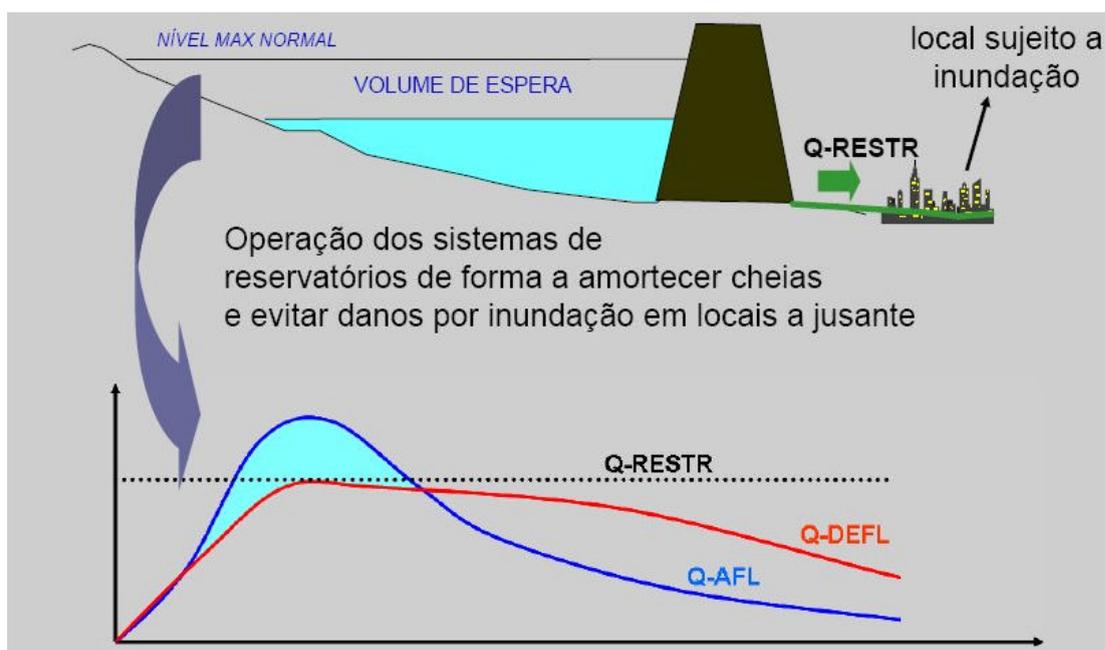


FIGURA 5.16 – Funcionamento do Volume de Espera em reservatórios do SIN (Fonte: Modificado de ARTEIRO (2006), “Influência dos Aspectos Socioambientais e de Usos Múltiplos da Água na Operação de Usina Hidrelétricas e Reflexos nas Comunidades Envolvidas”, texto apresentado no workshop: “Influência dos Aspectos Socioambientais” na Operação do Sistema Interligado Nacional, Brasília – 2006)

Independente da metodologia utilizada no cálculo do Volume de Espera utilizado pelo ONS para o controle de cheias nos reservatórios do SIN, pode-se concluir que a alocação destes volumes vazios nos empreendimentos em operação tende a gerar impactos expressivos na geração de energia, e, como consequência, refletindo em perdas financeiras para as empresas do Setor.

Segundo dados do ONS (2006) relativos ao Plano Anual de Cheias 2006/2007, o impacto da utilização dos Volumes de Espera gera um impacto da ordem de 2,6 % no custo total da geração e também no custo marginal da geração. Segundo análises do ONS, este valor apresentado pode ser considerado inexpressivo. Porém quando se transforma estas porcentagens em valores monetários, chega-se a valores de custos bem elevados no decorrer do período chuvoso. Não existe, porém, como quantificar de forma exata o preço da proteção oferecida aos empreendimentos localizados na região de influência dos reservatórios de geração com o controle de cheias, conforme comentado no subitem relativo às restrições operativas, nem mesmo analisar ou dar valores ao

grau de importância deste controle de cheias. No entanto, deve-se considerar, que este instrumento de controle de cheias tem um custo elevado que pode ser considerado como perda na geração de energia.

5.2.4.2 Restrições operativas hidráulicas em Reservatórios

A bacia hidrográfica, conforme abordado no Capítulo 3, pode ser entendida como sendo um sistema multiobjetivo, dotado de características singulares, bio – físico – antrópicas, as quais estão em interação.

Quando da época (décadas de 50 a 80) dos projetos dos grandes empreendimentos de geração hidrelétrica (construção da barragem e formação dos reservatórios de acumulação), a bacia hidrográfica em que o mesmo estava inserido apresentava uma ocupação e uso do solo relativamente baixa, pouca aglomeração em áreas próximas aos empreendimentos, e um consumo de água menor (bacia rural). Com a construção dos empreendimentos, houve a princípio uma aglomeração inicial em decorrência da operação destes empreendimentos (atividades), e, no decorrer do tempo, um aumento considerável do uso e ocupação do solo, das aglomerações urbanas nas proximidades dos empreendimentos hidrelétricos, e um aumento no consumo de água para usos múltiplos antrópicos (bacia rural-urbana). Esses aumentos podem muitas vezes ser explicados pelo incremento do desenvolvimento regional alcançado com os anos, uma vez que a maioria dos grandes empreendimentos em operação localizam-se na região Sudeste do país. Ocorreram assim o desenvolvimento nas áreas próximas aos reservatórios das Usinas de geração hidrelétrica a partir de empreendimentos ligados ao setor de turismo / recreação, podendo ser exemplificados pela construção de clubes aquáticos, ranchos de pesca, hotéis, pousadas, restaurantes, entre outros.

Toda esta ocupação e desenvolvimento das áreas próximas aos reservatórios de acumulação hídrica para geração hidrelétrica passou a gerar problemas, uma vez que começou a haver um choque de interesses entre os usuários de água. A partir deste ponto, surge a análise do uso múltiplo do recurso água e a figura das restrições operativas de Usinas Hidrelétricas.

As restrições operativas hidráulicas não são somente inerentes ao conflito por utilização do recurso água. Existem também aquelas ocasionadas por funcionamentos inadequados de equipamentos, como por exemplo no caso da UHE

Bariri pertencente a AES – Tiête. As comportas do descarregador de fundo deste Aproveitamento não podem trabalhar em posições intermediárias, pois apresentam para esta configuração problemas de vibração. Porém, a grande maioria das restrições ocorrem pelo choque de interesses entre a Empresa Geradora e os outros usuários de recurso hídrico.

A partir de dados do ONS (2006), as principais restrições operativas existentes para os empreendimentos de geração hidrelétrica ligados ao SIN relativas aos choques de interesses citados anteriormente pode-ser colocar:

- ? Nível Máximo – Este tipo de restrição se aplica à vários casos, como por exemplo: quando esta cota é atingida inunda uma ponte, ou uma estrada vicinal; atrapalha a entrada de rebocadores na câmara da eclusa devido ao gabarito previsto; prejudica ou torna inoperante captações de água a jusante ou a montante do reservatório;
- ? Nível Mínimo – o nível mínimo a jusante do empreendimento deve ser mantido de modo a garantir a eclusagem de rios navegáveis; manter a navegabilidade do corpo hídrico quando esta também existe; não prejudicar captações de água existentes tanto a montante quanto a jusante do aproveitamento; prejuízos turísticos devido ao deplecionamento do reservatório;
- ? Vazão Máxima Jusante: esta restrição tem por objetivos: evitar possíveis danos decorrentes de uma vazão muito elevada à empreendimentos a jusante; evitar o comprometimento da operação de controle de cheias para aproveitamentos em cascata; evitar inundação de áreas ribeirinhas a jusante (fazendas, fábricas, aglomerados urbanos);
- ? Vazão Mínima Jusante: a restrição da vazão mínima tem por objetivos: manter a vazão sanitária no corpo hídrico garantindo o poder de diluição e autodepuração do corpo hídrico; manter a fauna e flora aquáticas no corpo hídrico, respeitando todos os eventos e sistemas inerentes a estes organismos; manter os consumos de água a jusante do Aproveitamento;
- ? Taxa de Variação Máxima de Defluências: esta restrição funciona fixando a porcentagem de variação máxima de defluência de modo a evitar o enchimento e esvaziamento abrupto de áreas de várzeas e planícies de inundação, dando assim tempo para evacuação de

peças e animais além de diminuir os riscos às benfeitorias construídas;

- ? Volume de Espera – Controle de cheias: a alocação de volumes determinados nos Aproveitamentos do SIN, pode ser considerado uma das mais importantes restrições operativas hidráulicas aplicadas aos Aproveitamentos, como referido no subitem anterior.

Existem também no cenário das Restrições Operativas Hidráulicas utilizadas pelo ONS algumas temporárias, podendo as mesmas estarem ligadas a obras de construção ou reparo que sofram influência direta ou indireta em função da operação dos aproveitamentos do sistema interligado Nacional – SIN.

As Restrições Operativas Hidráulicas podem não ser aplicadas a área específica do aproveitamento (AID). Estas podem se dar por trechos fluviais afastados do Aproveitamento, como por exemplo, a influência do prisma de maré em bacias litorâneas onde estão inseridos UHE's em cascata..

Segundo a ONS, as Restrições Operativas Hidráulicas dos Aproveitamentos pertencentes ao sistema interligado nacional – SIN são atualizadas periodicamente a partir da interação dos agentes de geração, a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, a Agência Nacional de Águas – ANA e a entidade responsável pelo planejamento da expansão da geração. A constante análise na operação dos Aproveitamentos e as correspondentes conseqüências desta operação visam evitar e diminuir os conflitos entre os usuários do recurso água ou residentes das áreas de influencia dos aproveitamentos.

5.2.4.3 Análise da Curva de Aversão ao Risco

A partir da conhecida crise que assolou o sistema elétrico em 2001 (apagão de 2001) foi criada pelo Governo Federal a Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica, com o intuito de resolver ou mesmo minimizar os efeitos daquela crise, promovendo mudanças para que problemas semelhantes não se repetissem. A Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica criou então várias Resoluções, dentre elas a nº109 de 2002, cujo objetivo é estabelecer critérios e diretrizes para a política de operação energética e despacho de geração termelétrica nos programas mensais de operação do ONS, assim como estabelecer critérios para a formação de preços no mercado de energia elétrica.

Dentre as várias diretrizes que esta resolução em específico determina, uma das mais importantes é a Curva Bianual de Segurança ou Curva de Aversão ao Risco. Esta Curva tem por relevância gerar um limite na operação dos Aproveitamentos que compõem o SIN, determinando até que ponto eles podem gerar sem prejudicar a recuperação de seu volume útil.

Segundo conceitos apresentados pelo ONS (2002), “a Curva de Aversão ao Risco representa a evolução, ao longo de um determinado período, dos requisitos mínimos de armazenamento de energia de cada subsistema necessários ao atendimento pleno da carga, sob hipóteses pré-definidas de afluências, características de sazonalidade, intercâmbios inter-regionais de carga, com a geração térmica despachada na base, de forma a se garantir níveis mínimos operativos ao longo do período”.

Em termos metodológicos, de acordo com o ONS (2002), a determinação da Curva de Aversão ao Risco pode ser resumida assim: em primeiro lugar, estipula-se para cada ano do período as premissas de carga, oferta, intercâmbios e afluências, depois estipula-se também o nível mínimo de segurança ao final do período seco – NSPS, ao final do período em análise; determinam-se os requisitos de armazenamento, a partir do NSPS, no sentido inverso do tempo (simulação reversa), através de um balanço energético mensal com os recursos e requisitos definidos, observando ajustes que devem ser realizados à eventuais requisitos de armazenamento inferiores ao NSPS. Para um melhor entendimento a FIGURA 5.17 pode ser entendida como uma ilustração do processo descrito anteriormente.

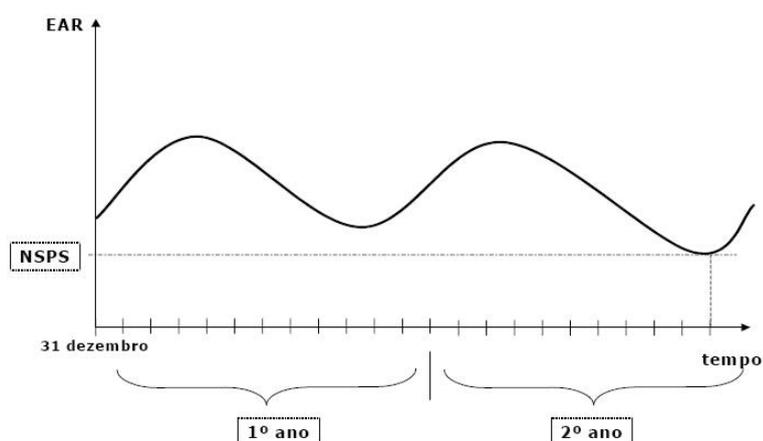


FIGURA 5.17 – Exemplo metodológico da construção de uma curva de aversão ao risco (Fonte: ONS 2002, Diretrizes e Critérios para Estudos Energéticos – submódulo 23.4; disponível em www.ons.org.br) (Obs: EAR- Energia Armazenada no Sistema em questão)

Para fins ilustrativos e demonstrativos, é mostrado na FIGURA 5.18 a Curva de Aversão ao Risco para a região Sudeste / Centro-Oeste para o período 2006-2007.

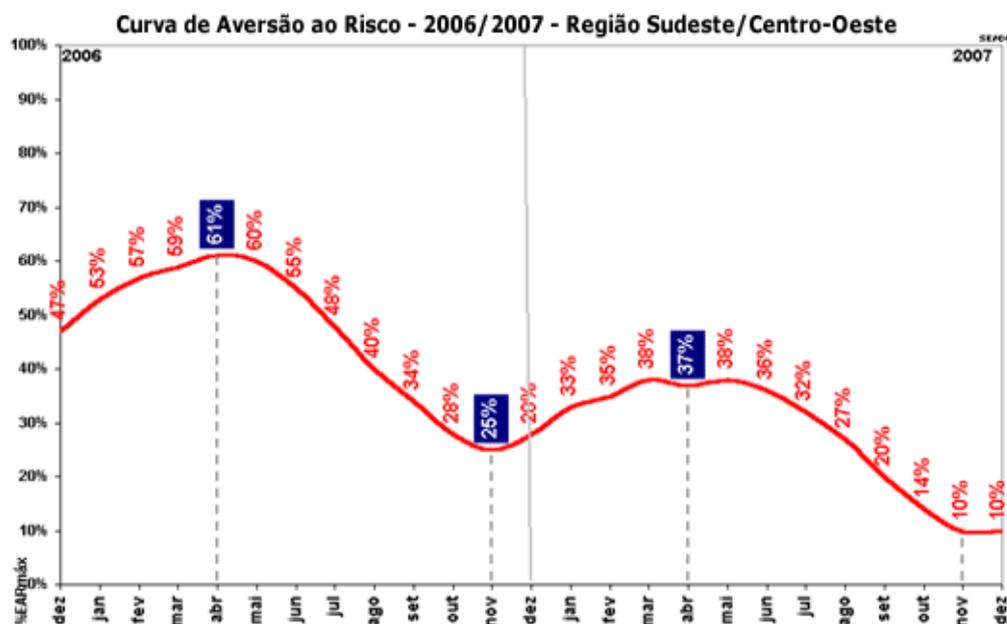


FIGURA 5.18 – Curva de aversão ao risco da região Sudeste / Centro-Oeste para o período 2006-2007. (Fonte: ONS 2007; disponível em www.ons.org.br)

Em termos práticos, o funcionamento da Curva de Aversão ao Risco é basicamente o seguinte: sempre que o volume acumulado no total dos reservatórios de um dado mercado alcançar determinado valor, que poderia comprometer o nível de armazenamento no futuro, o próprio ONS pode despachar mais térmicas no presente mercado, independentemente da estratégia de operação definida no programa de despacho ótimo.

Analisando-se o sistema de utilização da Curva de Aversão ao Risco, pode-se entender que, da mesma forma que a utilização do Volume de Espera nos Aproveitamentos do SIN representa uma perda de geração de energia no sistema, a utilização desta curva caracteriza também uma perda energética do sistema. Esta perda ocorre pois, conforme citado no parágrafo anterior, quando o volume útil de um Aproveitamento rebaixar a ponto prejudicar a sua posterior recuperação hidrológica, o ONS determina a parada da geração da UHE, e, para garantir a energia no sistema, assim como compensar a paralisação da geração da UHE, ela despacha energia proveniente de termelétricas, que ficam em “stand bay”. Este

sistema gera um custo a mais na geração, podendo ser visualizado como uma perda.

Do ponto de vista ambiental, a criação e utilização do sistema da Curva de Aversão ao Risco atesta o comprometimento ambiental das áreas sobre influência de reservatórios ou mesmo dos corpos hídricos em que estes Aproveitamentos estão inseridos, uma vez que em períodos pretéritos não ocorriam rebaixamentos deste porte nos reservatórios do SIN, salvo alguns casos isolados, não comprometendo assim a geração de energia. É de conhecimento público que houve com o passar do tempo um grande aumento da demanda de energia, porém a capacidade instalada na maioria das Usinas Hidrelétricas é a mesmas desde sua construção nas décadas de 50 a 80.

Pode-se concluir que a utilização da Curva de Aversão ao Risco é um procedimento extremamente importante atualmente, em função das características operacionais em que se encontram os Aproveitamentos do SIN. Porém, a sua utilização gera custos adicionais, custos estes que podem ser entendidos como perdas para o sistema gerador. O sistema ganha em segurança para a oferta de energia, mais esta segurança é obtida com um aumento considerável dos custos operacionais.

5.2.4.4 Estudos de Demanda Hídrica em Reservatórios

O crescimento dos empreendimentos e ocupações nas regiões de influência de reservatórios de acumulação hídrica (regularização de vazões) destinados à geração de energia elétrica intensificou os processos antrópicos de usos de água, e, por conseqüência as demandas hídricas.

De acordo com conceitos apresentados por BRANDÃO (2004), se os recursos hídricos de uma dada região hidrográfica forem menores que as demandas requisitadas pelos diferentes Setores Usuários de recurso hídrico, é necessário determinar regras para estabelecer o montante que será alocado para cada Setor. Estes valores de alocação de recursos hídricos podem ser determinados criando-se modelos de otimização de usos, baseados em estudos de demandas hídricas em horizontes de tempo pré – determinados.

Segundo KELMAN apud MALTA (2006), desde a década de cinquenta o Setor Elétrico tinha domínio onipotente das decisões sobre a construção e localização de reservatórios assim como sua operação, não levando em

consideração os outros usos de água bem como os aspectos sociais e ambientais. Com a criação da lei 9433, mais conhecida como lei dos recursos hídricos, o Setor Energético deixou de ter prioridade de uso de recurso, sendo a prioridade determinada para o abastecimento humano e dessedentação animal.

Para o Setor Elétrico, a perda da característica dominante no que diz respeito à tomada de decisões para a construção, localização, e, mais importante, quanto a operação, foi um golpe forte e muito sentido no Setor, ficando ele dependendo das características das demandas de outros Setores produtivos usuários dos recursos hídricos. Este fato pode ser verificado e visualizado quando é analisada a quantidade e diversidade das restrições operativas hidráulicas impostas aos reservatórios do SIN e apresentadas anteriormente.

Do ponto de vista econômico, ainda utilizando conceitos apresentados por BRANDÃO (2004), a água armazenada em um reservatório, ou ainda que, seguindo um histórico de vazões, a água que deveria chegar a um reservatório, está ali para a produção de um determinado bem, que por definição tem um valor a ele agregado. Para o Setor Elétrico, a alocação de recursos hídricos para outros usos pode representar uma redução de recurso entrando em seu sistema, que por consequência representa uma diminuição da produção de seu bem, que por sua vez reflete em uma diminuição de receitas monetárias para o Setor.

O fato da operação dos reservatórios ser realizada de maneira interligada pelo ONS, propicia ao Setor Hidro-Energético absorver de forma prática a alocação de recursos hídricos para outros usos e Setores. Porém, a inserção de grandes volumes de recursos ou restrições operativas hidráulicas severas para atender outros usos ou Setores, pode, dependendo da situação hidroenergética do Sistema naquele dado momento, interferir de forma considerável na formação do preço final da energia elétrica à curto prazo, uma vez que serão alterados os custos de operação, além de significar a longo prazo em um aumento nos riscos do surgimento de um déficit de energia no sistema.

Com base nestes fatos, tornou-se extremamente necessário para o Setor Elétrico a realização de estudos de demandas hídricas reais que possam influir em seus reservatórios. A ANEEL, em conjunto com a ELETROBRÁS, já determina a partir do final da década de noventa, a consideração dos usos múltiplos do recurso hídrico em reservatórios, desde a etapa de projeto dos empreendimentos. Porém, tanto para os estudos na etapa de projeto quanto para estudos em reservatórios já construídos e em operação, ocorrem grandes dificuldades para o planejamento dos

usos múltiplos. Dentre as principais dificuldades pode-se citar, baseado em MALTA (2006):

- ? Ausência de Planos Diretores das cidades localizadas na área de influência dos reservatórios;
- ? Ausência de Planos de Recursos Hídricos na Bacia onde o Aproveitamento está ou estará inserido;
- ? Ausência de planejamentos completos e detalhados em longo prazo dos demais Setores usuários de recurso hídrico na bacia em que o aproveitamento esta ou estará inserido;
- ? Propagação indiscriminada e sem planejamento de foros de debates de usuários de recurso hídrico;
- ? Limitações (de implementação de decisões e de ordem técnica) dos foros de debates de usuários de recurso hídrico;
- ? Ausência de recursos de outros Setores destinados à estudos e programas, recaindo para o Setor Elétrico o financiamento total, na maioria dos casos.

Estas dificuldades representam um entrave para o Setor Elétrico, uma vez que elas tornam praticamente impossível um planejamento completo da operação em um horizonte de tempo maior. Algumas das dificuldades apresentadas anteriormente não são aplicáveis à todos os Aproveitamentos, estando muito ligadas ao desenvolvimento de políticas estaduais. O estado de São Paulo, por exemplo, se apresenta muito adiantado na questão da implantação de Planos Diretores de Cidades e Planos de Bacias Hidrográficas, e também em outros aspectos, como planejamento de navegação, usos para o abastecimento urbano, dentre outros.

5.2.5 Limitações da Metodologia de Regularização Pontual de Vazões

Conforme mencionado no item 5.2.1, a regularização pontual promove o controle do regime fluvial dos N.A.'s e vazões, tendo, em geral, os barramentos, $10 = h = 20$ m (Usinas de baixa queda, com controle de N.A.'s) e $20 = h = 100$ m (Usinas de média e alta queda, com controle das vazões).

Em ambos os barramentos vão existir as seguintes condições adversas, tanto mais críticas quanto maior for a altura do barramento e menos inclinado for o perfil longitudinal da calha fluvial:

- ? Formação de áreas alagadas pelo represamento;

- ? Desapropriações;
- ? Relocação das populações;
- ? Corte do regime de sedimentos do rio;
- ? Alteração da ictiofauna;
- ? Mudanças da cultura local;
- ? Mudanças climáticas locais;
- ? Erosão da calha fluvial a jusante do Aproveitamento.

Na FIGURA 5.19 é apresentado a cadeia de impactos ambientais de um barramento típico.

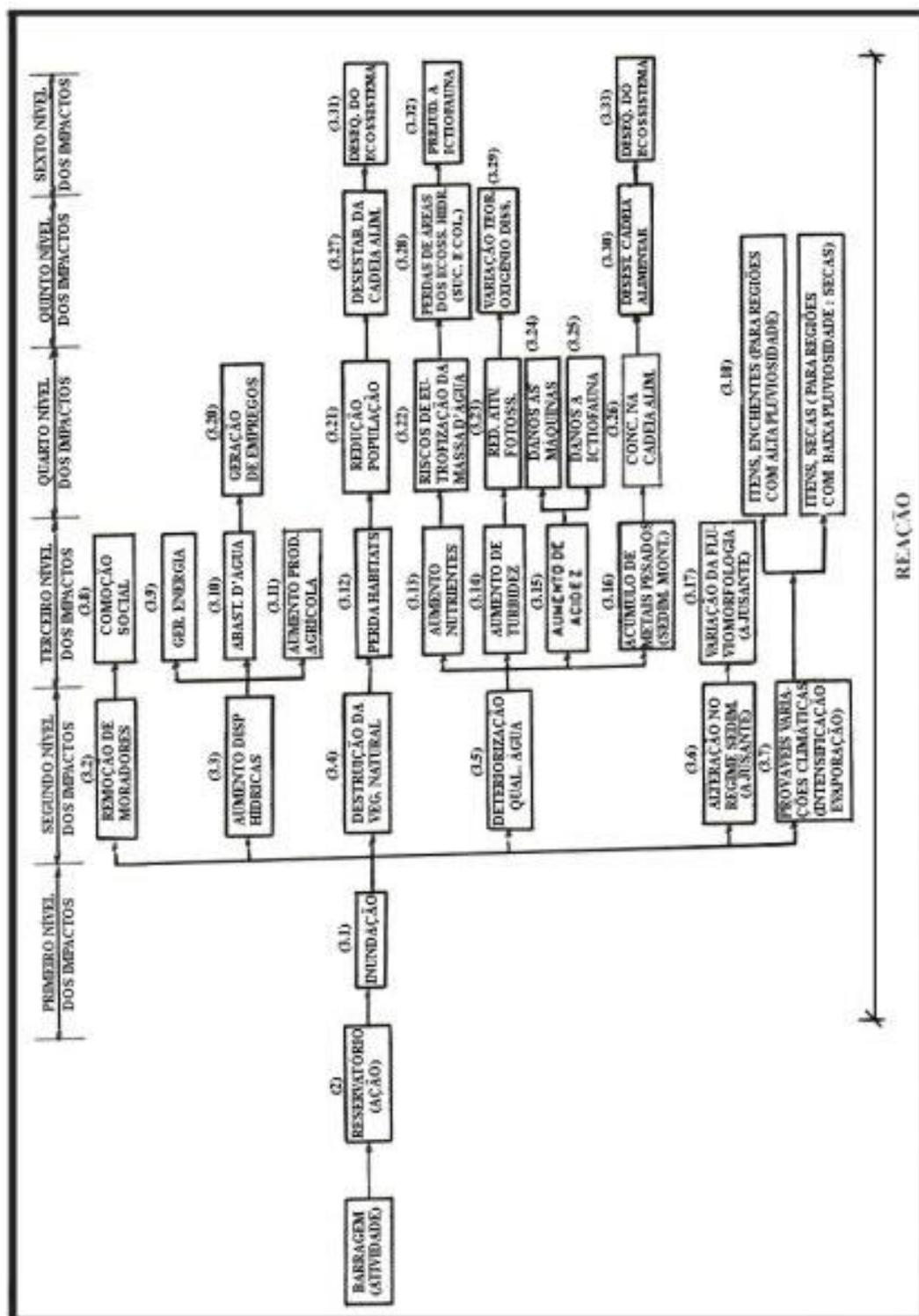


FIGURA 5.19 – Cadeia de Impactos Ambientais mais Sugestivos de um Empreendimento Hidráulico (Fonte: “Sugestões para a Classificação Ecológica de Cursos D’água a partir do Conhecimento do seu Regime Hídrico”; OTTONI A. B.; Seminário do Exame de Qualificação de Doutorado; COPPE / UFRJ; Rio de Janeiro; 2001)

Em entrevista à revista PCH Notícias (OTTONI 2005), OTTONI, A. B. responde sobre o potencial de geração de energia elétrica no Brasil a partir das centrais hidrelétricas de baixa queda. “O modelo hidroenergético implementado no Brasil notadamente a partir do início dos anos 60 até o final dos anos 80, período que se concentrou a construção das CH’s, priorizou as usinas de alta e média queda. Como exemplo, posso citar três bacias hidrográficas de relevância no setor elétrico: a do rio Grande, Tietê e São Francisco. As centrais construídas nestes rios apresentam as seguintes características:

TABELA 5.1 – Características Básicas das Centrais Hidrelétricas (Fonte: Adaptado de OTTONI 2005)

Bacia Hidrográfica	Alturas Aproximadas das Barragens (m)			Potência disponível (GW)
	Hmédio	Hmáx.	Hmín.	
Rio Grande	48	95	24	10,85
Rio Tietê	29	48	21	1,8
Rio São Francisco	69	119	30	6,2

Considerando-se que o potencia hidroenergético nacional disponível é da ordem de 260 GW, estas bacias respondem por cerca de 27% deste potencial. Nestas bacias, não se instalou nenhum Aproveitamento de baixa queda, ratificando a metodologia de geração nacional da época. A partir do início dos anos 90, quando as pressões pelo desenvolvimento sustentável devido aos impactos ambientais gerados pelos Aproveitamentos Hidroenergéticos se catalisaram, iniciou-se uma mudança interna de paradigmas na forma de geração.”

A reportagem acima retifica os seguintes aspectos:

- ? As questões ambientais atualmente são os principais limitantes aos projetos de regularização hídrica;
- ? A tendência do mercado energético atual é de priorizar os Aproveitamentos de baixa queda (10 = h = 20 m);
- ? Aproveitamentos de baixa queda são vulneráveis à hidrologia, e portanto dependem dos aspectos climáticos da bacia.

5.3 Evolução das Pesquisas de Regularização do Regime Hídrico em Bacias Hidrográficas: Regularização Espacial de Vazões - REV

5.3.1 Conceituação e Metodologia

Segundo OTTONI (1996) o Manejo Hídrico Espacial dos escoamentos da bacia foi idealizado segundo os preceitos e as fases do ciclo hidrológico, ou seja, a sua implantação em bacias degradadas tende a catalizar as fases do ciclo hidrológico, notadamente aquelas que se dão no solo superficial e subsolo.

O manejo hídrico está baseado no método da Regularização Espacial de Vazões – REV. O objetivo fundamental da regularização espacial em Bacias hidrográficas degradadas (Tipo rural a industrial) consiste na realização de atuações artificiais no mecanismo de formação de vazões e transporte sólido nos cursos d'água, visando, com o mínimo de perdas d'água, perenizar ou regularizar vazões, cotas fluviométricas e transporte sólido nas calhas fluviais que compõem a rede de drenagem da Bacia. Também relevante, será o aumento do nível d'água do lençol freático e o maior umedecimento do sub-solo. De modo gradual, à medida que as correções na Bacia forem sendo implantadas, os trechos fluviais terão seus índices de perenidade (regularidade) progressivamente melhorados, ou seja, as vazões de cheia (no período chuvoso) e de recessão (no período de estiagem) escoadas na calha fluvial, vão, gradativamente, ao longo do tempo, convergindo à vazão média.

As recargas artificiais realizadas em períodos chuvosos costumam ser implantadas em áreas estratégicas da Bacia (nas encostas, planície e calha fluvial), para isso sendo necessários estudos prévios das suas condições hidrológicas, sedimentológicas, de relevo, solo, hidro-geológico e coberturas florísticas (Diagnóstico Ambiental).

As intervenções são realizadas sempre de montante para jusante, a partir de sub-Bacias localizadas em cotas mais elevadas.

As atuações artificiais realizadas nas encostas e planícies da Bacia são planejadas para interceptar os escoamentos superficiais nos períodos chuvosos, e, ao mesmo tempo, promover a recarga artificial do lençol freático e a retenção dos sedimentos, a partir destes volumes interceptados e infiltrados nos locais mais adequados da Bacia.

A definição dos locais de implantação das obras de recarga depende do zoneamento hidrográfico da bacia (curvas de relevo) de condicionantes hidro-geológicas, pedológicas (características de infiltração), e das coberturas florísticas (características bióticas). O dimensionamento das obras hidráulicas é realizado com base em considerações hidro-geológicas da Bacia e hidráulicas, levando em

conta volume de recarga dimensionado para vazão máxima regularizada, condizente com a minimização da “água nociva” (enchentes) e maximização da “água útil”(controle das vazões de calha em período de estiagem).

5.3.2 Croquis das Obras e arranjos típicos

As obras hidráulicas de manejo dos escoamentos de encosta e planície são as Soleiras de Encosta, as Valas de Terraceamento e as Bacias de Recarga, conforme croquis esquemáticos apresentados nas figuras 5.20 a 5.22 a seguir.

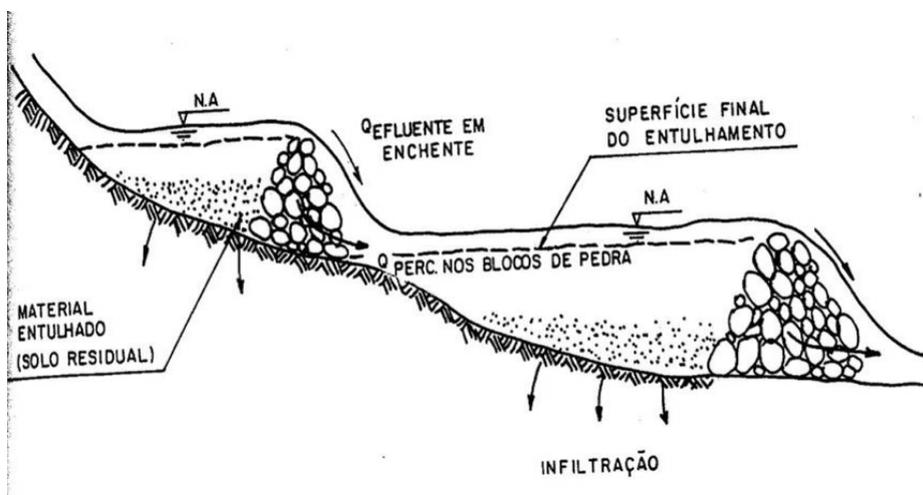


FIGURA 5.20 – Croqui esquemático das Obras de Recarga: Soleira de Encosta (Fonte: Ações Sanitárias e Ambientais em Bacias Hidrográficas; OTTONI, A. B. ; Tese de Mestrado; ENSP/FIOCRUZ; Rio de Janeiro; 1996)

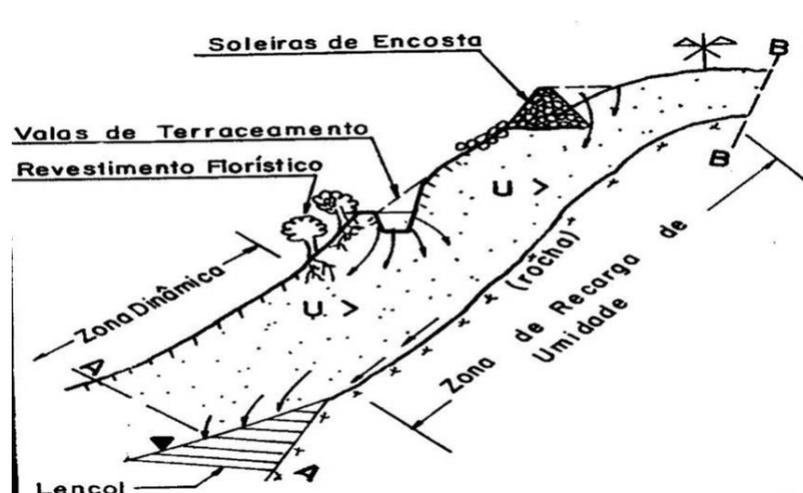


FIGURA 5.21 –Croqui esquemático das Obras de Recarga: Valas de Terraceamento (Fonte: Ações Sanitárias e Ambientais em Bacias Hidrográficas; OTTONI, A. B.; Tese de Mestrado; ENSP/FIOCRUZ; Rio de Janeiro; 1996)

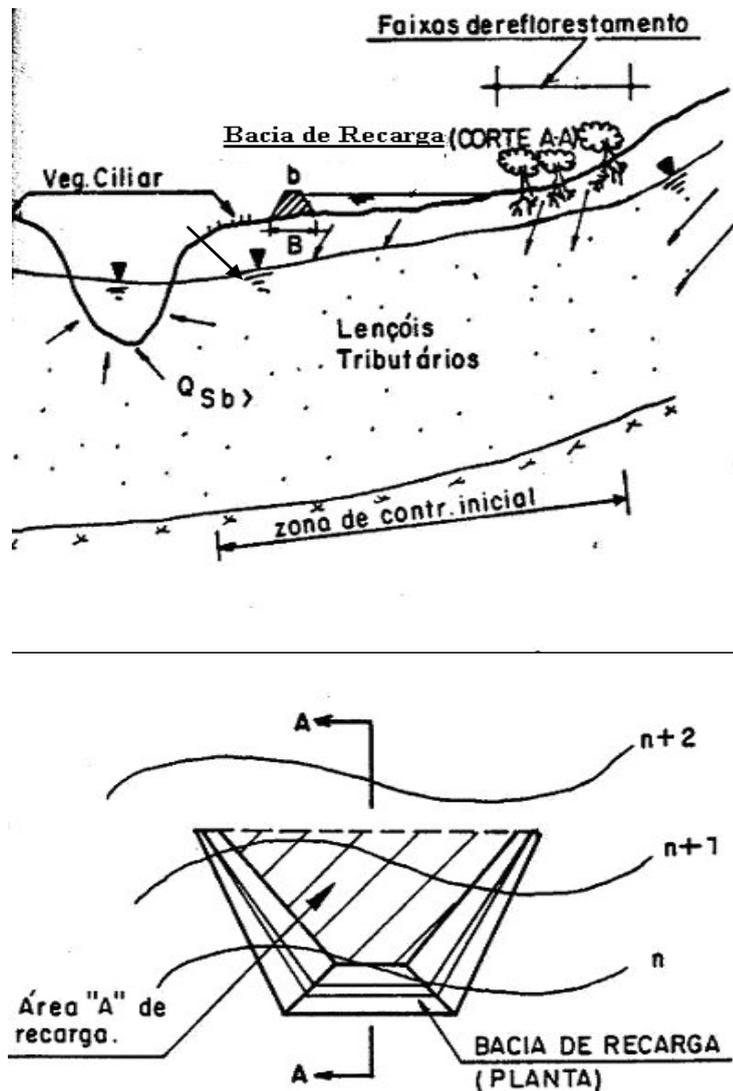


FIGURA 5.22 –Croqui esquemático das Obras de Recarga: Bacias de Recarga (Fonte: Ações Sanitárias e Ambientais em Bacias Hidrográficas; OTTONI, A. B. ; Tese de Mestrado; ENSP/FIOCRUZ; Rio de Janeiro; 1996)

As intervenções biológicas consistem em se implantar faixas de reflorestamento (módulos de reflorestamento), compondo coberturas florísticas heterogêneas, de preferência nativas e apropriadas aos locais (encosta; faixa ciliar). As faixas são estudadas e projetadas com largura de 60 a 100 metros, extensão de várias centenas de metros, intercaladas umas com as outras (disposição em xadrez), e localizadas na Bacia nos trechos de encosta e nas faixas marginais do rio (vegetação ciliar). As desvantagens do processo biótico no manejo dos

escoamentos são o tempo relativamente longo de maturação do revestimento florístico nativo, que é de, no mínimo 10 anos, dependendo da espécie.

As intervenções físicas (obras hidráulicas) e bióticas (faixas de reflorestamento) de manejo dos escoamentos de uma encosta e planície da bacia são planejadas para operarem intercaladas (em conjunto), conforme apresentada na figura 5.23 a seguir.

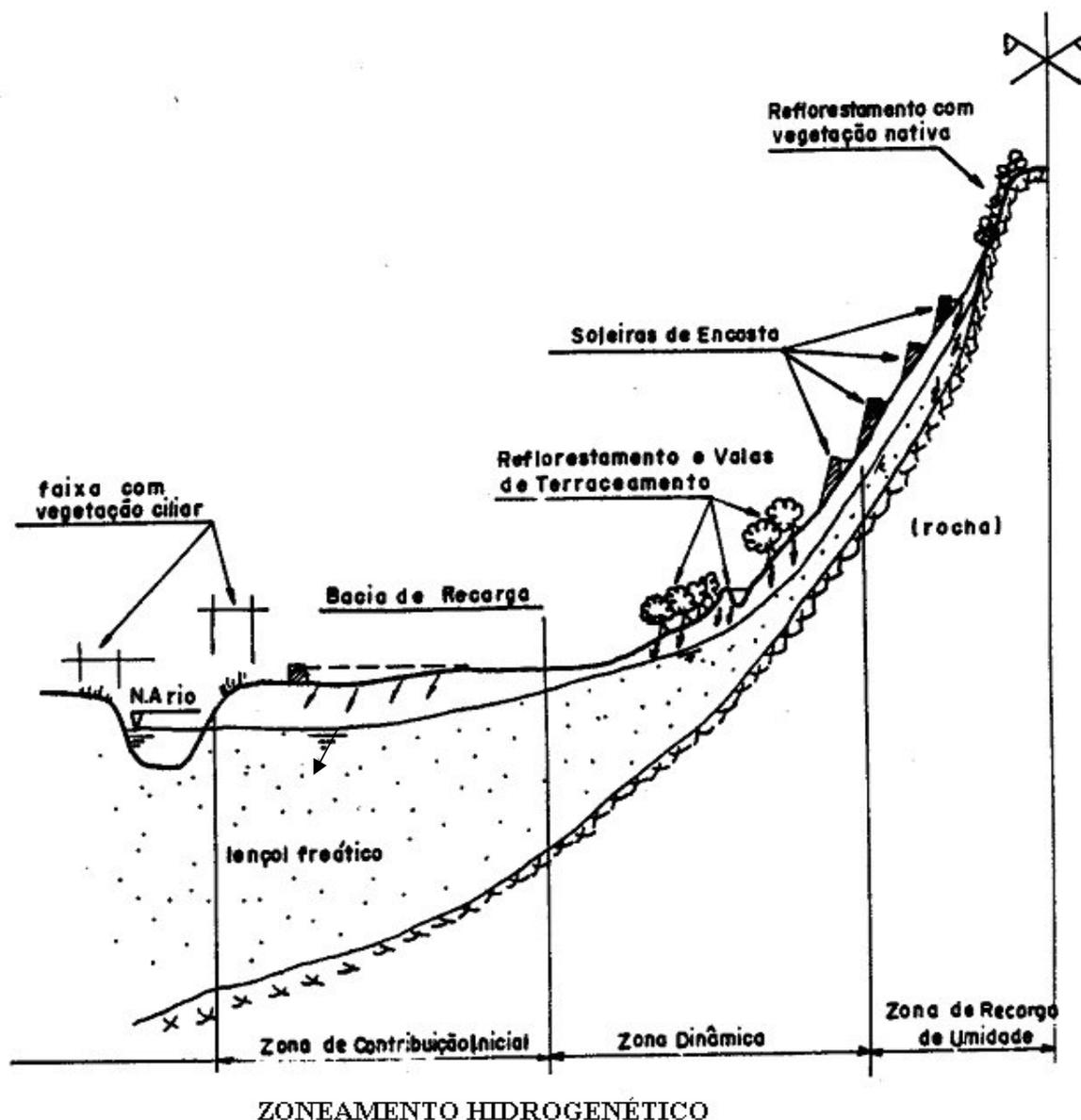


FIGURA 5.23 – Croqui da Disposição Geral das Obras e Atuações de Recarga nas Encostas e Planície de uma Bacia. (Fonte: Ações Sanitárias e Ambientais em Bacias Hidrográficas; OTTONI, A. B. ; Tese de Mestrado; ENSP/FIOCRUZ; Rio de Janeiro; 1996)

O método de regularização espacial de vazões, além do controle dos escoamentos de encostas e planícies da bacia, fundamenta-se também no manejo dos escoamentos de calha fluvial.

As intervenções de calha fluvial são constituídas por soleiras vertentes, com altura variável de 0,5 m a 4,5 m, contida no leito menor da calha fluvial do rio e implantada em série (cascata), principalmente entre os trechos fluviais do final de infância (trecho superior) e início do de juventude (trecho médio) da rede de drenagem da bacia. Seu posicionamento vai depender do perfil longitudinal do rio (Diagnóstico Ambiental). O efeito de regularização das Soleiras implantadas em série na rede de drenagem é alcançado, pois elas controlam o escoamento do trecho sob intervenção das estruturas para as vazões médias e de estiagem, que corresponde a aproximadamente 70% de frequência de ocorrência. Para as grandes enchentes, elas operam afogadas, promovendo menor efeito regularizador, não gerando, portanto, grandes áreas inundadas (escoamento contido na calha fluvial). O controle dos escoamentos em cerca de 70% do tempo faz com que a água com maior frequência fique retida na calha fluvial (tempos de acumulação de calha – TC e de propagação do escoamento – Td; fator de Admitância – $A = f[Td;TC]$), resultado que é favorável à promover a alimentação do lençol freático marginal (mantos porosos marginais) por percolação “calha fluvial – lençol freático”. Outrossim, nas épocas de enchente, elas, quando posicionadas em série (cascata), tendem à aumentar o tempo de propagação do escoamento entre os trechos fluviais inicial (a montante, 1ª Soleira) e final (a jusante; última Soleira) que está sendo manejado na calha fluvial. Na figura 5.24 a seguir é mostrada croquis de localização das Soleiras na rede de drenagem da Bacia.

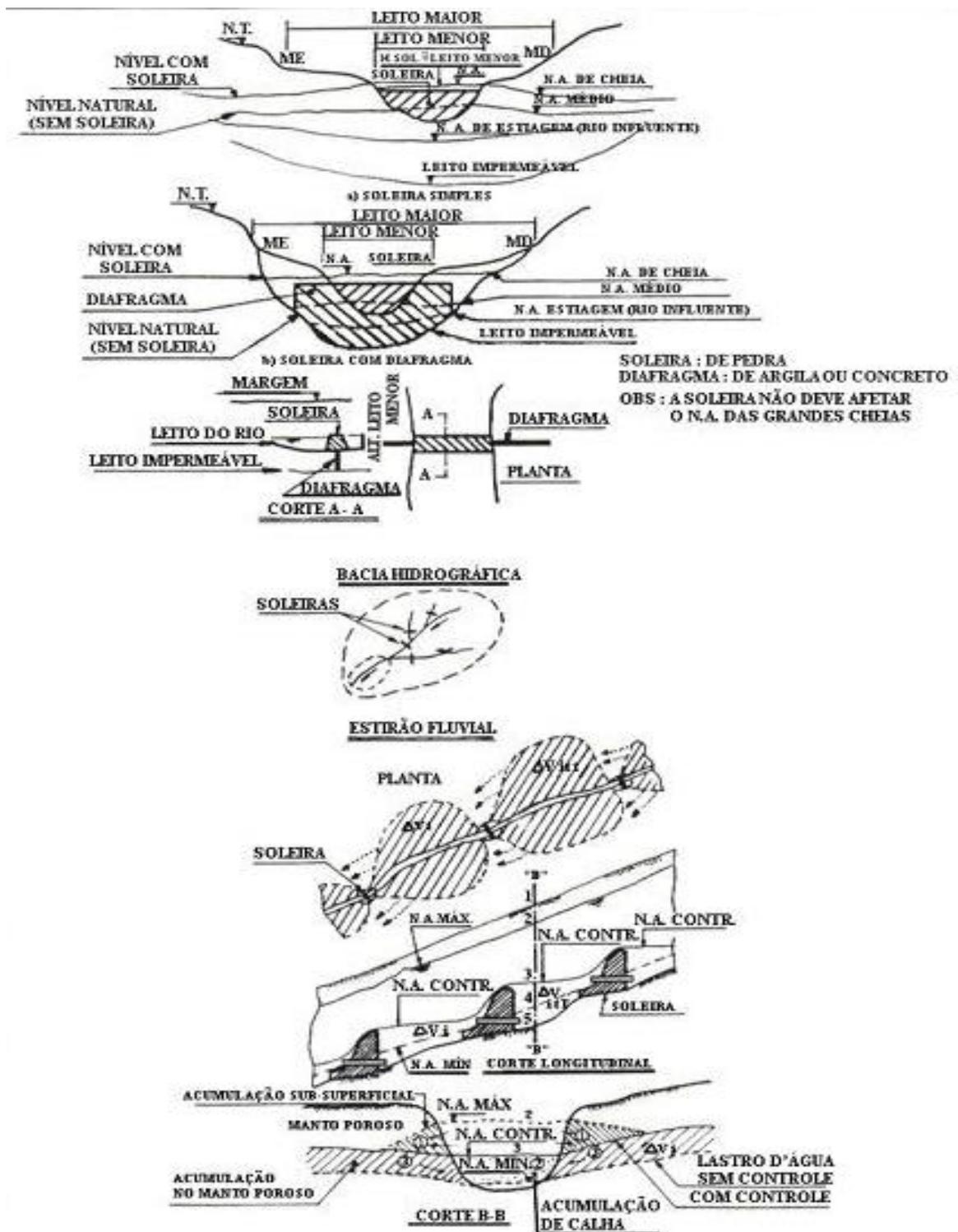


FIGURA 5.24 – Representação esquemática das Soleiras de Admitância implantada na calha fluvial em “cascata”(série) (Fonte: Ações Sanitárias e Ambientais em Bacias Hidrográficas; OTTONI, A. B. ; Tese de Mestrado; ENSP/FIOCRUZ; Rio de Janeiro; 1996)

5.3.3 Influência da Regularização Espacial de Vazões – REV em Bacias Degradadas

As intervenções espaciais na bacia baseadas na Regularização Espacial de Vazões são esquematizadas na FIGURA 5.25 a seguir que mostra os conceitos hidrológicos em que se fundamenta o método.

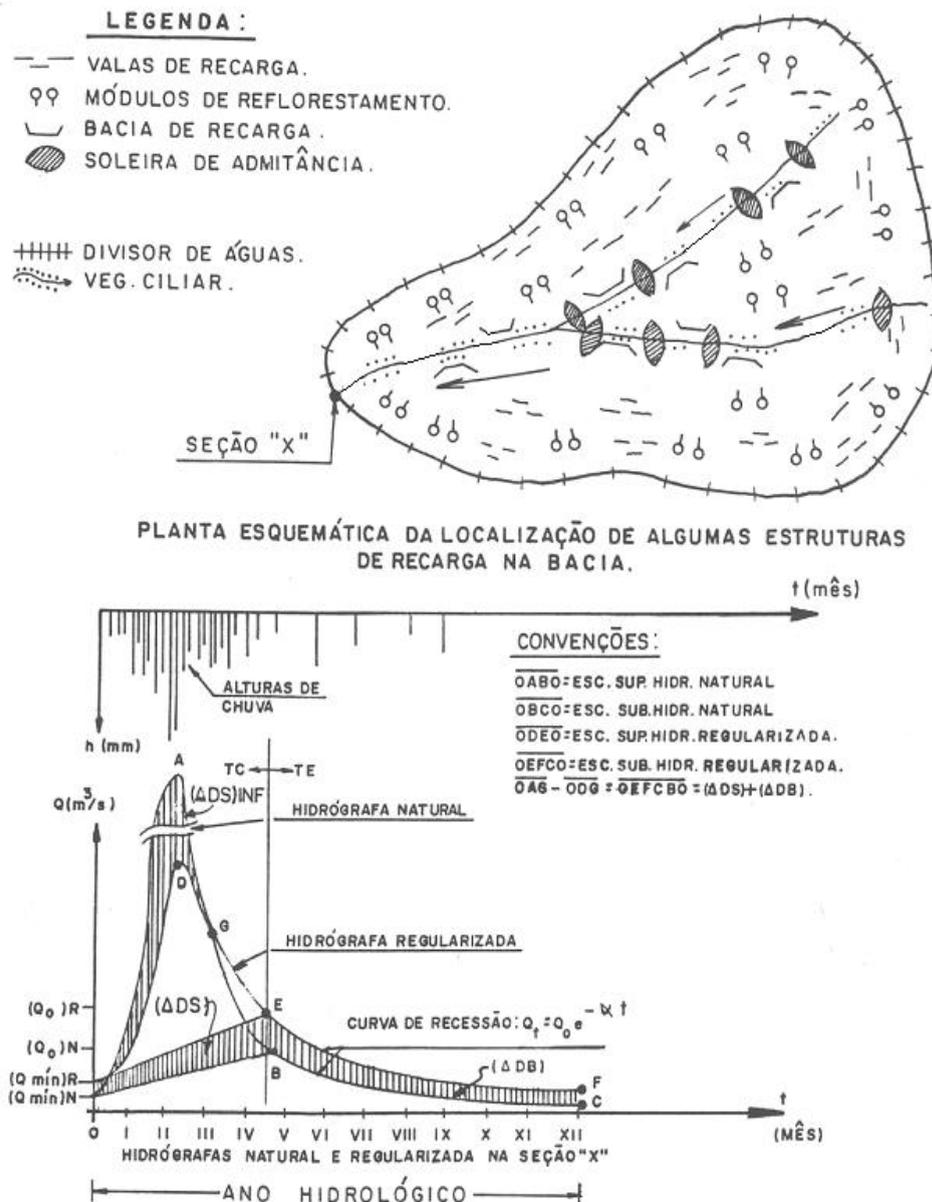


FIGURA 5.25 – Croquis da Disposição Geral das Obras e Atuações de Recarga nas Encostas e planícies de uma Bacia. Conceitos Hidrológicos do Método (Fonte: Ações Sanitárias e Ambientais em Bacias Hidrográficas; OTTONI, A. B. ; Tese de Mestrado; ENSP/FIOCRUZ; Rio de Janeiro; 1996)

Analisando a FIGURA 5.25, a hidrógrafa regularizada é mais “achatada” e com a vazão de “pico” (extrema) menor do que a hidrografia natural. Tal consequência hidrológica está ocorrendo, pois os escoamentos (e sedimentos) da Bacia no período chuvoso (TC) estão sendo captados e infiltrados, alimentando (recarregando) o lençol freático do sub-solo, que passa gradativamente a ficar “fortalecido”. Então, numa seção de medição de vazão do rio, o que se verifica (monitoramento) é que as vazões extremas de enchentes (período chuvoso - TC) escoadas na calha estão diminuindo, e as de estiagem (de recessão) (período de estiagem TE) aumentando. O que se verifica, portanto, é que o regime hidrológico do rio que drena a bacia degradada tende gradativamente à perenidade, conforme objetivos, com a minimização da “água nociva” e a maximização da “água útil”.

O processo de intercepção dos escoamentos superficiais de encostas, planície e de calha fluvial, segundo a Regularização Espacial de Vazões, acarreta as seguintes consequências na bacia degradada manejada (OTTONI 1996):

- ? Aumento do teor de umidade do solo;
- ? Facilita o crescimento espontâneo da vegetação, inclusive a ciliar marginal dos rios;
- ? Diminui o poder de erosão e de perda do solo.;
- ? Diminui a carga de sedimentos carreados no curso d’água que drena a bacia;
- ? Em cursos d’água que tenham reservatórios em operação, a taxa de assoreamento dos mesmos (redução do volume útil por sedimentos) tende à diminuir consideravelmente, aumentando portanto a vida útil do Aproveitamento e diminuindo as incertezas do empreendedor;
- ? O regime fluvial do rio que drena a bacia manejada tende gradativamente à perenidade (regularidade), sendo a mesma (perenidade) calculada a partir das características hidrogeológicas da bacia (vazão máxima regularizada). Estima-se um aumento da perenidade (redução das enchentes no período chuvoso e das secas no período da estiagem) em cerca de, no mínimo, 50% (monitoramento);
- ? Com o aumento da perenidade, por consequência, as vazões de pico (extremas) do período chuvoso diminuem, e as úteis de estiagem (de recessão) do período de seca aumentam, ambas convergindo à vazão média;

- ? O lençol freático passa à operar em cota mais elevada (maior volume de acumulação devido às recargas hídricas no período chuvoso). Com isso, as fontes de encosta existentes na área da bacia manejada tenderão à drenar com mais freqüência de tempo ao longo do ano;
- ? A Bacia, espontaneamente, se estabelece como auto-produtora de água. Por conseqüência, apresenta maiores condições de atratividades para o uso sustentável do seu espaço físico;
- ? Do ponto de vista construtivo, as obras hidráulicas de encosta, planície e calha fluvial podem ser implantadas de forma flexível, de acordo com o dimensionamento, projeto, e localização das mesmas. O dimensionamento das obras vai depender da vazão máxima regularizada da bacia (características hidro-geológicas);
- ? O custo das intervenções é baixo, pois para as obras será utilizada mão de obra local (da região- benefício social), não sendo requisitado grandes qualificações profissionais dada as características de simplicidade construtiva das obras. Outrossim, não será necessário a utilização de máquinas e equipamentos pesados;
- ? As intervenções de manejo dos escoamentos de encosta e planície da Bacia não influi no uso do solo existente (agricultura, pasto), ao contrário, tende à valorizar os cultivos, pois vai haver um aumento na umidade do solo.

As intervenções de manejo hídrico espacial implantadas na bacia são monitoradas a partir de dados hidro-sedimentológicos (sedimentos e vazões no curso d'água que drena a Bacia), hidro-geológica (nível d'água do lençol freático), da taxa de crescimento espontâneo da vegetação, e da taxa de recuperação do solo da Bacia. A partir de um Plano de Monitoramento Ambiental são selecionados os locais e parâmetros adequados para esse monitoramento, os quais deverão estar em concordância com o Diagnostico Ambiental realizado na Bacia em que se planeja implantar tal metodologia.

5.3.4 Exemplo de aplicação da Regularização Espacial de Vazões – REV em Bacias Hidrográficas

O conceito apresentado no método de Regularização Espacial de Vazões – REV, apesar de ser no Brasil uma inovação, já é utilizado em algumas partes do

mundo, como uma forma de auxílio na recuperação de bacias hidrográficas degradadas.

Na FIGURA 5.26 a seguir tem-se um exemplo de aplicação de regularização espacial de vazões realizada na Bacia do rio Jiuyuan, afluente do rio Wuding, localizado na província de Shanxi, na China. Este exemplo foi obtido de NETTO (1983).

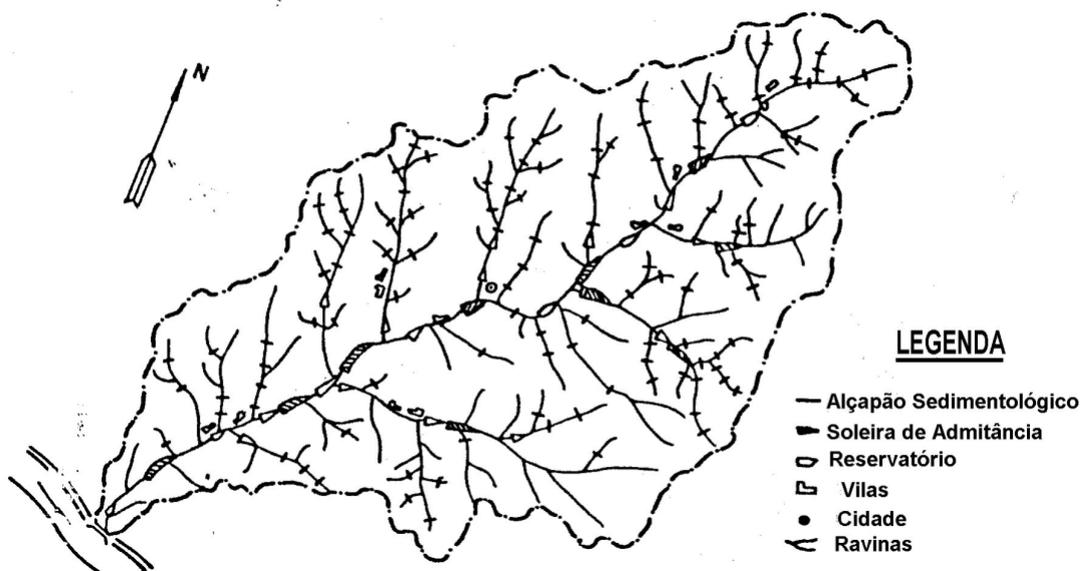


FIGURA 5.26 – Regularização Espacial da Bacia de Jiuyuan. (Fonte: NETTO, T. B. O.; Manejo Hídrico em Bacias Hidrográficas; Tese de Professor Titular; EE/UFRJ; Rio de Janeiro; 1983)

Segundo dados de NETTO (1983), a área da bacia é de 70,1 Km², e a extensão do curso d'água principal, de 18 Km. A chuva anual é de 516,9 mm e a população de 9334 habitantes, com 2130 há de área cultivada. A densidade de drenagem é de 5,34 Km/Km².

A regularização espacial desta bacia consistiu na construção de valas de terraceamento, soleiras de controle, alçapões sedimentológicos, implantação de módulos de reflorestamento entremeados com áreas de cultivo, pequenos reservatórios e bacias de recarga.

De acordo com NETTO (1983) a partir de 1974 foram executados 727 ha de terraços e soleiras; 311 alçapões sedimentológicos; 30 pequenos reservatórios com acumulação total de 1115000 m³. Antes das obras de controle, a erosão total da bacia era de 1270000t/aa, correspondendo a 18120 t/Km² ao ano. Após as obras de Regularização, a erosão na bacia decresceu para 770000 t/aa; a vazão de cheia

controlada diminuiu em 90%, e 63% do material sólido erodido ficou retido nos alçapões sedimentológicos, com vantagens para a recuperação das áreas produtivas. A produção total de grãos com as obras realizadas foi aumentada de 2,3 vezes, e melhoradas as condições de vida da população.

5.4 Análise Comparativa das Metodologias de Manejo Hídrico em Bacias Hidrográficas

O manejo pontual dos escoamentos de calha, ou Regularização Pontual de Vazões, se refere às obras de regularização local através dos reservatórios de regularização do regime fluvial criado a partir da utilização das barragens tradicionais com maiores alturas ($10 \leq h \leq 100$ m), controlando níveis d'água e vazões em qualquer atuação operativa do ano hidrológico, promovendo, por efeito de acumulação hídrica local (bacia hidráulica), a regularização pretendida através de uma reserva de água (Volume Útil-VU) (Reservatório de regularização de vazões). Tal Modelo de Gestão dos Recursos Hídricos, por apresentar resultados confiáveis, foi durante muito tempo o mais utilizado nos Projetos de Engenharia de Consultoria.

A evolução dos conceitos e análise dos impactos ambientais de empreendimentos (EIA/RIMA), a partir do final da década de 70 e início de 80, passou a restringir a metodologia de Gestão dos Aproveitamentos Pontuais (barragens; reservatórios), dado a magnitude dos impactos gerados (cadeia de impactos: desapropriações, perdas d'água por evaporação, criação de áreas inundadas, relocações, corte do regime de sedimentos e nutrientes do curso d'água, etc.). A partir de meados da década de noventa, os órgãos reguladores de meio ambiente inseriram nas análises de Empreendimentos o conceito de Desenvolvimento Sustentável, o que passou a limitar, mais ainda, o modelo de Gestão baseado nos Aproveitamentos pontuais. Acresce o fato de muitos empreendimentos pontuais em operação, hoje o fazem com déficit hídrico. Os desequilíbrios climáticos e a degradação ambiental bio-física-antrópica das Bacias (má ocupação), tendem a repercutir desfavoravelmente no regime hídrico de calha fluvial dos cursos d'água e no aumento da escassez hídrica, fazendo com que alguns Aproveitamentos (barragens; reservatórios de operação plurianual) operem, ano a ano, com comprometimento hidrológico do (VU) de armazenamento de projeto, conforme estudos e resultados que serão apresentados nos capítulos a

seguir. Como exemplo, citamos os casos de racionamento constante de água de São Paulo – SP e nacional de energia (2001).

A partir das características metodológicas e dos benefícios relacionados ao Modelo de Gestão dos Recursos Hídricos baseado no manejo espacial dos escoamentos de Bacia Hidrográfica degradada, conforme descrito em (5.3), quando comparados os dois Modelos de Gestão (Pontual e Espacial), pode-se chegar a várias conclusões apresentadas a seguir (OTTONI 2002).

5.4.1 Comparação quanto ao critério hidráulico

Analisando as características inerentes às metodologias apresentadas sobre o critério hidráulico, pode-se concluir que, o modelo metodológico de intervenções pontuais RPV (metodologia apresentada no item 5.2) atende aos objetivos (acumulação do volume útil da vazão de regularização) de forma mais acelerada em comparação à metodologia de manejo espacial de vazões (metodologia apresentada no capítulo 5.3), visto que esta última se desenvolve de maneira gradativa na bacia. Porém, o RPV depende da hidrologia do período (ano seco, médio ou úmido) em que o armazenamento vai se processar, ficando a mercê das flutuações hidrológicas. Sem esquecer que as mudanças climáticas têm repercutido em anos secos sucessivamente mais críticos, prejudicando assim a operação da regularização pontual de vazões, pois este armazena o escoamento superficial de calha.

5.4.2 Comparação quanto ao critério ambiental

Quando se analisa duas metodologias quanto a critérios ambientais, tem-se que entender e balancear as cadeias de impactos decorrentes da implantação destas metodologias. O manejo pontual – RPV apresenta total desvantagem neste quesito, visto que apresenta uma cadeia de impacto complexa e impactos negativos maiores (FIGURA 5.10), conforme o item 5.2.4. Já o manejo espacial dos escoamentos – REV tende a valorizar o ecossistema sob intervenção, proporcionando a recuperação ambiental gradativa da bacia hidrográfica, conforme descrito no item 5.3.3 deste trabalho. A resposta à recuperação ambiental as bacia

degradada é o aparecimento espontâneo da vegetação, devido ao aumento da água de umidade do solo.

5.4.3 Quanto ao critério construtivo e social

O aspecto construtivo se baseia no grau de dificuldade e exigência de equipamentos e mão de obra especializada para a confecção da metodologia. O manejo pontual requer obras pesadas devido a sua concepção e conceitos (desvio do rio, barragem, vertedouros, comportas, canal de fuga e etc.), enquanto que o manejo espacial é implantado de forma flexível, com estruturas hidráulicas simples, de pequeno porte, executadas com mão de obra sem grandes treinamentos ou especializações, dispensando o uso de equipamentos e máquinas pesadas. Outro ponto importante é os aspecto social, no qual, o manejo espacial, por não requerer mão de obra com grandes especializações ou treinamentos, a sua implantação pode absorver a mão de obra existente na região, promovendo assim o desenvolvimento social regional.

5.4.4 Quanto ao critério econômico

Quanto o critério de custo, devido às características de implantação das obras, e dos custos ambientais, o manejo pontual tende a apresentar maiores custos do que o manejo espacial. O custo médio de implantação de uma PCH de baixo custo com projeto economicamente viável ($3=A=13 \text{ km}^2$; $P=30 \text{ MW}$) é de aproximadamente US\$600/kw, ou US\$ 1,4 a $6,0 \times 10^6/\text{km}^2$ (custo por km^2 de reservatório), enquanto que , no manejo espacial, a estimativa atualizada se baseando em OTTONI (1996) é que o custo de implantação seja na faixa de US\$ $0,01 \times 10^6/\text{km}^2$ a US\$ $0,015 \times 10^6/\text{km}^2$ de bacia manejada. Tem-se que considerar que a implantação do RPV estaria ligada a um benefício decorrente da venda de energia gerada a partir do barramento construído, ao passo que a REV estaria otimizando os recursos hídricos da bacia, onde muitas vezes este benefício considerado intangível, caso, por exemplo, do controle de cheias da bacia.

III – ESTADO DA ARTE

6 MODIFICAÇÕES NO REGIME HÍDRICO DOS CURSOS D'ÁGUA INFLUINDO NA EFICIÊNCIA HIDROLÓGICA DOS APROVEITAMENTOS EM OPERAÇÃO

6.1 Introdução

Conforme referido no item 3.2 a bacia hidrográfica, representa o local onde há naturalmente a produção de água doce de aproveitamento técnico e econômico (água útil de uso múltiplo). A ocupação do solo pela agricultura, pastagem, desflorestamento em geral e a implantação de empreendimentos antrópicos (desenvolvimento) no seu espaço físico (encosta, planície e calha fluvial), feitos no passado sem planejamento, ao longo do tempo cria condições de degradação ambiental dos ecossistemas da bacia, sendo a água um excelente indicador de análise desta degradação, pois este recurso natural passa a sofrer influências na sua quantidade (aumenta a chance de ocorrência de escassez hídrica e de enchentes; maior flutuação hidrológica) e qualidade (poluição múltipla por sedimentos e contaminantes físico-químicos tóxicos), ou seja, deterioração das disponibilidades hídricas da Bacia (redução dos índices de perenidade), a ponto de comprometer atividades vitais (redução da biodiversidade e auto sustentabilidade) e antrópicas (riscos para os empreendimentos: indústrias; cidades; aproveitamento de calha fluvial de uso múltiplo) implantados na bacia.

Essa degradação das bacias hidrográficas do Território Nacional foi feita de forma variável ao longo do tempo e espaço, sendo as atividades nelas disponíveis (recurso natural, localização, clima) e seus aspectos políticos de desenvolvimento interior, os principais propulsores que deram o ritmo de crescimento e exploração (degradação) dessas Bacias. Tal fato, associado às possíveis mudanças climáticas mundiais verificadas recentemente, em função da circulação mais intensificada dos processos meteorológicos intercontinentais (desequilíbrio climático), justifica o incremento e intensificação da heterogeneidade nas disponibilidades de água superficial do Território Nacional (diferentes índices de perenidade: em alguns lugares escassez e em outros, abundância), que acabam por afetar os Aproveitamentos em operação conforme será analisado neste capítulo.

6.2 Determinação dos Indicadores de Regime Hidrológico da Bacias onde estão Implantados Aproveitamentos Hidrelétricos

As análises relativas à evolução da ocupação das bacias hidrográficas e as alterações conseqüentes no seu ciclo hidrológico, apresentadas no item (3.3), podem ser comprovadas quando se verifica a evolução dos indicadores de regime hidrológico de um curso d'água em um determinado espaço de tempo (Δt). A medida que a bacia vai sendo ocupada, modificando seus cenários de paisagem ambiental ao longo do tempo (Δt) de Bacia Natural, para Bacia Rural, Bacia Rural-Urbana e Urbana-Industrial, para o mesmo evento de chuva (DP), o escoamento superficial (ES) aumenta e a infiltração (I) diminui, e os indicadores do regime refletem bem esta mudança, conforme FIGURA 6.1 abaixo.

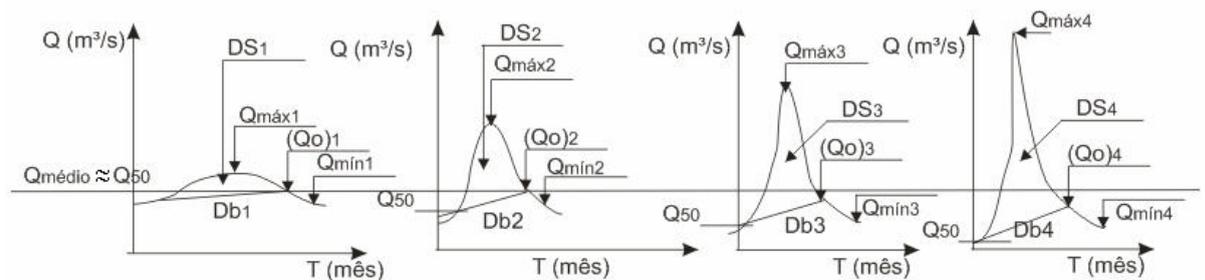


FIGURA 6.1 - Mudanças dos indicadores do Regime Hidrológico no tempo em função de Alterações dos Cenários de Paisagem Ambiental da Bacia

Se (DP) é constante, $Q_{\text{médio}}$ tende a não se alterar. Os rios que drenam bacias pesadamente urbanizadas (bacias impermeabilizadas) caso dos grandes centros urbanos (Rio de Janeiro, São Paulo, Belo Horizonte e etc.), são bacias bastante suscetíveis às enchentes e estiagens, conforme o quarto hidrograma da figura anterior (Bacia Urbano-Industrial). Percebe-se assim que os indicadores sinalizam as suscetibilidade das bacias às enchentes e estiagens, podendo serem, assim, utilizados para análises de incertezas hidrológicas que podem comprometer a economia hídrica da bacia e dos Sistemas de Recursos Hídricos nela implantados.

As FIGURAS 6.2 e 6.3 mostram o cenário do rio Paraíba do Sul em 1983 e 2003 ($\Delta t = 20$ anos), evidenciando-se também alterações hidrológicas visíveis.



FIGURA 6.2 – Foto do Rio Paraíba do Sul – 1983 (Fonte: CASTILHO; Lorena, 2005; “Metodologia de Auto Depuração dos cursos d’água como Ferramenta para Enquadramento no Lançamento de Efluentes”; Trabalho de Diploma; IRN/UNIFEI; Itajubá; MG)



FIGURA 6.3 - Foto do Rio Paraíba do Sul – 2002 (Fonte: CASTILHO; Lorena, 2005; “Metodologia de Auto Depuração dos cursos d’água como Ferramenta para Enquadramento no Lançamento de Efluentes”; Trabalho de Diploma; IRN/UNIFEI; Itajubá; MG)

Para a presente Tese, pretende-se avaliar a evolução dos indicadores de regime hídrico como fator de influência na eficiência hidrológica de Aproveitamentos Hidrelétricos em operação. Desta forma, as análises enfocaram seções fluviométricas de cursos d'água que drenavam suas vazões totais em reservatórios de acumulação (regularização plurianual).

Para tal análise, foi necessária a utilização de séries históricas de vazão. Estes dados hidrológicos estão disponíveis no sitio "HidroWeb Sistema de Informações Hidrológicas" (<http://hidroweb.ana.gov.br/>) este ligado à Agência Nacional de Águas – ANA de cunho federal e o "SIGRH Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos" (www.sigrh.sp.gov.br/), sitio ligado ao governo do estado de São Paulo. Porém, existe um número limitado de séries históricas, e estas geralmente apresentam, na sua maioria, poucos anos de dados para análise, além de possuir períodos grandes de falhas e níveis de consistência baixo. Como o número e variedade de séries históricas é baixa, não foi possível na maioria dos casos o preenchimento das falhas contidas nas séries ou mesmo a confecção de séries mais longas.

Este fato inviabiliza quaisquer análises complexas que necessitem de séries históricas longas de vazão. Por este motivo, para a realização das análises deste trabalho, foram enviados pedidos às Concessionárias responsáveis pelos Aproveitamentos Hidro-Energéticos analisados, para que estas fornecessem as séries históricas de vazão para análise, de modo a contribuir para a veracidade dos resultados alcançados ao final.

Para a realização do trabalho, foram selecionados ao todo dez aproveitamentos Hidro-Energéticos de acumulação hídrica, sendo que quatro Aproveitamentos podem ser considerados "isolados", e seis sofrem algum tipo de regularização. A regularização pode se dar da forma total, como é o caso do complexo Moxotó – Paulo Afonso IV, que sofre regularização do reservatório da UHE Sobradinho, ou pode ser parcial, como no caso do reservatório da UHE Furnas no rio Grande/MG, que recebe a vazão regular da UHE Camargos além das vazões dos rios Sapucaí, Verde e de outras pequenas bacias que afluem ao reservatório. A seguir são apresentadas nas figuras 5 e 6 a localização dos Aproveitamentos analisados.

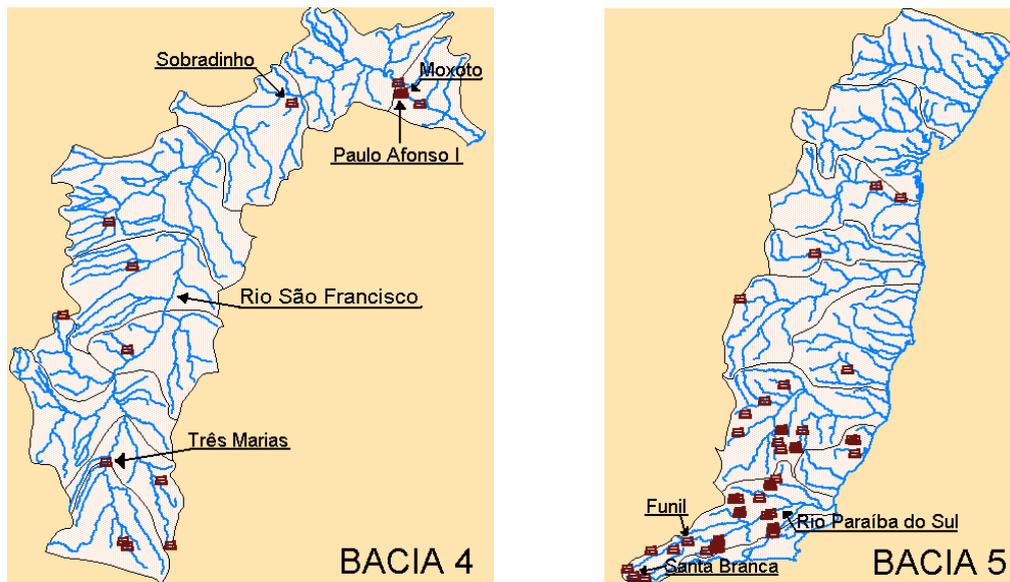


FIGURA 6.4 – Localização dos aproveitamentos em operação analisados na bacia hidrográfica do São Francisco e do Atlântico, trecho leste (Fonte: ESRI ArcExplorer™ (1997).A GIS data explorer built with MapObjects™ technology. Disponível em: <http://www.esri.com/software/arcexplorer/index.html>; Environmental Systems Research Institute, Inc.)

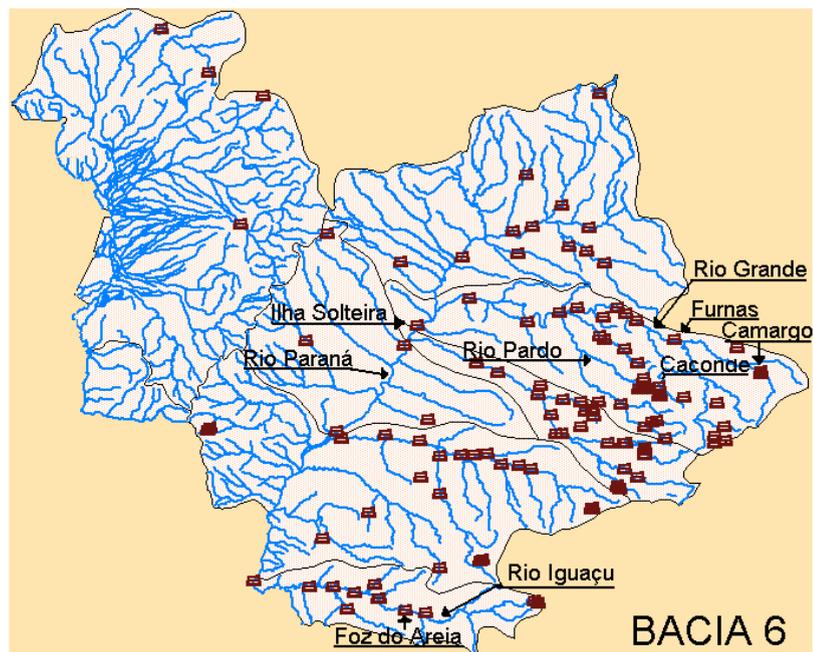


FIGURA 6.5 – Localização dos aproveitamentos em operação analisados na bacia hidrográfica do rio Paraná (Fonte: ESRI ArcExplorer™ (1997).A GIS data explorer built with MapObjects™ technology. Disponível em: <http://www.esri.com/software/arcexplorer/index.html>; Environmental Systems Research Institute, Inc.)

Conforme referido no item 3.4, para a obtenção dos indicadores de regime hidrológico de um curso d'água, se faz necessário a obtenção da sua curva de permanência de vazões. A partir dela, é que são obtidos as vazões características do regime fluvial. Sendo assim, a partir dos dados das séries hidrológicas históricas fornecidas pelas concessionárias de geração, foi realizado o estudo estatístico das vazões dos cursos d'água onde estão localizados os aproveitamentos analisados. Este estudo teve como critério analisar a série hidrológica utilizada para o projeto das Usinas (denominada "Período de Projeto") e a série após a construção dos Aproveitamentos (denominada "Período de Operação"). Na Tabela 6.1 são apresentados os anos das séries de projeto (Período de Projeto) e de operação (Período de Operação) de cada Aproveitamento.

TABELA 6.1 – Períodos de Projeto e Operação dos Aproveitamentos

Usina Hidrelétrica	Bacia Hidrográfica	Curso D'água	Séries Hidrol.	
			Projeto	Operação
UHE Caconde	Paraná	Pardo	1931-1961	1962-2005
UHE Camargos	Paraná	Grande	1931-1956	1957-2005
UHE Ilha Solteira	Paraná	Paraná	1931-1978	1979-2005
UHE Foz do Areia	Paraná	Iguaçu	1931-1975	1976-2005
UHE Funil	Atlântico Sudeste	Paraíba do S.	1931-1965	1966-1998
UHE Furnas	Paraná	Grande	1931-1960	1960-2005
UHE Moxotó/Paulo Afonso	São Francisco	São Francisco	1931-1972	1973-2005
UHE Santa Branca	Atlântico Sudeste	Paraíba do S.	1931-1954	1955-2005
UHE Sobradinho	São Francisco	São Francisco	1929-1974	1975-2005
UHE Três Marias	São Francisco	São Francisco	1931-1957	1958-2005

Os resultados dos estudos estatísticos das vazões características afluentes aos reservatórios dos aproveitamentos assim como dos indicadores de regime hidrológicos, ambos determinados para os períodos de projeto e operação dos Aproveitamentos serão apresentados e comentados no Capítulo 7.

6.3 Determinação do Volume Útil dos Aproveitamentos Hidrelétricos

Como comentado anteriormente, a degradação qualitativa e quantitativa das bacias hidrográficas reflete-se de várias formas no meio ambiente (aumento das enchentes/estiagens, poluição múltipla, etc.). Porém, na maioria dos casos, a quantificação monetária desta influência é de difícil cálculo, devido a características multi-objetivas inerentes às bacias. Quando na bacia hidrográfica degradada, está instalado algum Aproveitamento de acumulação hídrica (reservatório de

regularização de vazão), a quantificação monetária da influencia da degradação ambiental é mais fácil de ser calculada uma vez que está estritamente ligada ao uso do recurso hídrico acumulado no espaço físico do reservatório que sofre influência desta degradação.

Esta quantificação é um dado importante, pois, a partir deste parâmetro, poderão ser estudadas as formas e o nível de intensificação das intervenções de recuperação ambiental da bacia hidrográfica degradada, considerando-se o retorno do investimento, e, principalmente a minimização das incertezas do investidor quando os resultados desejados para o Aproveitamento.

A eficiência de um reservatório de acumulação hídrica pode ser entendida, de uma maneira mais simples, como sendo a capacidade de acumular recursos hídricos no período chuvoso para serem utilizados no período de estiagem, de forma a atender a demanda de recurso cem por cento do tempo, ao longo da vida útil, conforme referido no item 5.2. Para realizar esta função, o reservatório dispõe do volume útil sendo o mesmo um dos espaços físicos do reservatório que sofre maior influencia da degradação ambiental na bacia hidrográfica. Esta influência manifesta-se modificando justamente na capacidade do reservatório de acumular água no período chuvoso para ser utilizada para os usos múltiplos no período de estiagem, ocasionando assim o seu comprometimento hidrológico.

A deterioração hidrológica de reservatórios de acumulação hídrica pode ser quantificada analisando-se as diferenças numéricas obtidas ao se projetar um volume útil utilizando-se dados das séries históricas de vazões médias mensais relativas ao período de projeto e ao se projetar um volume útil para o mesmo local porém, utilizando-se dados de séries históricas de vazões médias relativos ao período de operação. Teoricamente, ao se projetar o volume útil do empreendimento de acumulação hídrica utilizando-se a série histórica de vazão e dados de consumo anteriores à construção (período de projeto), tem-se uma boa representação do que se previa como benefícios do empreendimento à época. Já quando se projeta o volume útil, para o mesmo Aproveitamento utilizando-se a série histórica de vazões e dados posteriores à construção, o resultado obtido reflete a influencia da degradação ambiental na bacia hidrográfica, assim como consumos de água maiores.

Nos subitens a seguir serão determinados o volume útil dos Aproveitamentos listados na TABELA 6.1, a partir das séries hidrológicas obtidas junto as concessionárias de energia, sendo os mesmos (volume útil) realizados para os

períodos de projeto e de operação, atendendo ao mesmo critério adotado para os indicadores hidrológicos.

Os métodos de cálculo serão os discriminados no item 5.2.2, e o objetivo ao final dos cálculos, será o de avaliar as perdas hídricas dos Aproveitamentos, quando se comparam os resultados do volume útil para os períodos de projeto e operação.

6.3.1 Cálculo do Volume Útil dos Reservatórios em Análise pelo Diagrama de Rippl

O cálculo do volume útil dos reservatórios em análise pelo diagrama de Rippl obedeceu integralmente à metodologia apresentada no item 5.2 deste trabalho, sendo que a metodologia de Rippl clássico e o Método das Diferenças Totalizadas (Rippl Modificado) utilizam os mesmos dados de entrada, isto é dependem das mesmas variáveis para o cálculo. O resultado final dos dois métodos é o mesmo, pois apesar de apresentarem diferenças na metodologia, o princípio de análise utilizado é o mesmo, conforme apresentado e explicado no item 5 deste trabalho.

Primeiramente, a fim de se obter uma análise hidrológica, optou-se por calcular o volume útil necessário para regularização da vazão média (máxima regularização), utilizando para isso toda a série histórica de dados de vazão, havendo somente a separação de períodos de projeto e de operação para cada aproveitamento. Neste caso, traçou-se a Curva de Deflúvios Acumulados para todos os anos do período de análise, depois traçou-se a Curva de Consumo, que, neste caso, é a vazão média acumulada como deflúvio para todos os anos das séries de projeto e operação. A partir destes cálculos determinou-se o volume útil para os dois períodos distintos de todos os reservatórios em análise. Por se tratar de uma análise puramente hidrológica não houve neste caso variação da vazão de consumo para os períodos de projeto e de operação. Não houve também correção da evaporação para os reservatórios analisados.

Em um segundo momento deu-se início à análise mais complexa, obedecendo todos os critérios técnicos apresentados no capítulo 5. Inicialmente determinou-se a seqüência de anos secos das séries de projeto e operação para os Aproveitamentos analisados. Esta seqüência corresponde a uma susseção de anos secos que varia de 2 a 5 anos consecutivos. Os dados hidrológicos deste período

são utilizados para o cálculo do volume útil de reservatórios, uma vez que ele representa a situação mais criticada bacia em termos de disponibilidades hídricas.

Inicialmente, a análise seria feita para dois períodos distintos (projeto e operação). Porém ao se estudar as séries históricas de vazões para o período de operação dos Aproveitamentos, constatou-se que esta série, para todos os Aproveitamentos, possuía duas seqüências de “Trem de Anos Secos” bem críticas, sendo uma ocorrida na década de 1980 e a segunda a partir do ano 2000. Sendo assim, as análises e cálculos se estenderam para as duas seqüências do período de operação.

Depois de determinados os “Trem de Anos Secos”, traçou-se as Curvas dos Deflúvios Fluviais Acumulados (de cada rio), conforme metodologia descrita anteriormente. O passo a seguir seria a determinação da reta de consumo, que neste caso merece uma atenção especial, pois os seus valores se alteram em função da ocupação e degradação sofrida pelas bacias hidrográficas onde estão inseridos os Aproveitamentos.

Para a determinação dos valores de consumo, foram adotados os tipos de consumo d’água descritos no item 4. Inicialmente realizou-se um estudo para determinar a população existente na área de influência dos reservatórios analisados. Baseando-se em dados disponíveis no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (www.ibge.gov.br/), calculou-se a variação da população tanto urbana quanto rural na área de influência dos reservatórios em análise, chegando-se assim aos resultados apresentados nas TABELAS 6.3.1 a 6.3.10.

TABELA 6.3.1 – Municípios consumidores na área de influência do reservatório da UHE Caconde

Usina Hidrelétrica	Cidades consumidoras (Total)	Cidades consumidoras (Rural)	População atual (IBGE 2006)	População Período de projeto 1961	População Período de Operação	Diferença Populações
UHE Caconde	Caconde - SP		19187,00	6943,32	19187,00	12243,68
		Botelhos - MG	2831,13	5317,46	2831,13	-2486,32
		Divinolândia - SP	802,38	1551,64	802,38	-749,26
		Poços de Caldas - MG	27799,68	52213,62	27799,68	-24413,93

TABELA 6.3.2 – Municípios consumidores na área de influência do reservatório da UHE Camargos

Usina Hidrelétrica	Cidades consumidoras (Total)	Cidades consumidoras (Rural)	População atual (IBGE 2006)	População Período de projeto 1956	População Período de Operação	Diferença Populações
UHE Camargos	Itutinga – MG		4018,00	2036,42	4018,00	1981,58
		Carrancas -MG	614,20	1127,07	614,20	-512,87
		Madre de D. M. - MG	953,43	1749,55	953,43	-796,12
		Nazareno - MG	1345,38	2468,79	1345,38	-1123,41
		São João del Rei - MG	14928,40	27393,80	14928,40	-12465,39

TABELA 6.3.3 – Municípios consumidores na área de influência do reservatório da UHE ILHA Solteira

Usina Hidrelétrica	Cidades consumidoras (Total)	Cidades consumidoras (Rural)	População atual (IBGE 2006)	População Período de projeto 1957	População Período de Operação	Diferença Populações
UHE Ilha Solteira	Ilha Solteira - SP		25684,00	16511,86	25684,00	9172,14
	Rubineia -SP		2895,00	1861,15	2895,00	1033,85
	Santa Clara do Oeste - SP		1847,00	1187,41	1847,00	659,59
	Santa Fé do Sul -SP		29026,00	18660,38	29026,00	10365,62
	Aparecida do Taboado -MS		20789,00	12340,95	20789,00	8448,05
	Selviria -MS		6172,00	3663,88	6172,00	2508,12
	Paranaíba -MS		39607,00	23511,87	39607,00	16095,13
		Santa Albertina - SP	354,50	436,25	354,50	-81,75
		Santa Rita do Oeste -SP	139,14	171,22	139,14	-32,08
		Populina -SP	282,56	347,72	282,56	-65,16
		Três Fronteiras - SP	342,17	421,08	342,17	-78,90
		Santana da P. P. - SP	101,95	125,45	101,95	-23,51
		São Francisco - SP	204,42	251,56	204,42	-47,14
		Marinópolis -SP	149,95	184,53	149,95	-34,58
		Aparecida do Oeste -SP	317,38	390,57	317,38	-73,19
		Suzanópolis - SP	191,43	235,57	191,43	-44,14
		Nova Canaã Paulista	151,14	185,99	151,14	-34,85

TABELA 6.3.4 – Municípios consumidores na área de influência do reservatório da UHE Foz do Areia

Usina Hidrelétrica	Cidades consumidoras (Total)	Cidades consumidoras (Rural)	População atual (IBGE 2006)	População Período de projeto 1975	População Período de Operação	Diferença Populações
UHE Foz do Areia	Porto Vitória -PR		4257,00	3280,28	4257,00	976,72
	União da Vitória -PR		51858,00	39959,82	51858,00	11898,18
		Bituruna - PR	3320,31	7376,10	3320,31	-4055,79
		Cruz Machado - PR	3435,00	7630,89	3435,00	-4195,88
		Pinhão - PR	5110,96	11354,03	5110,96	-6243,08

TABELA 6.3.5 – Municípios consumidores na área de influência do reservatório da UHE Funil

Usina Hidrelétrica	Cidades consumidoras (Total)	Cidades consumidoras (Rural)	População atual (IBGE 2006)	População Período de projeto 1964	População Período de Operação	Diferença Populações
UHE Funil	Itatiaia - RJ		31144,00	16402,97	31144,00	14741,03
		Areias - SP	252,82	454,34	252,82	-201,51
		Queluz - SP	669,18	1202,56	669,18	-533,38
		São José do Barreiro - SP	283,42	509,32	283,42	-225,90

TABELA 6.3.6 – Municípios consumidores na área de influência do reservatório da UHE Furnas

Usina Hidrelétrica	Cidades consumidoras (Total)	Cidades consumidoras (Rural)	População atual (IBGE 2006)	População Período de projeto 1958	População Período de Operação	Diferença Populações	
UHE Furnas	Alfenas -MG		77494,00	40983,45	77494,00	36510,55	
	Boa Esperança -MG		40074,00	21193,52	40074,00	18880,48	
	Campo do Meio -MG		11845,00	6264,34	11845,00	5580,66	
	Cana Verde -MG		5710,00	3019,79	5710,00	2690,21	
	Capitólio -MG		8413,00	4449,30	8413,00	3963,70	
	Carmo do Rio Claro -MG		21404,00	11319,71	21404,00	10084,29	
	Fama -MG		2529,00	1337,49	2529,00	1191,51	
	Guapé -MG		14927,00	7894,29	14927,00	7032,71	
	Paraguaçu -MG		20748,00	10972,78	20748,00	9775,22	
	Pimenta -MG		8630,00	4564,06	8630,00	4065,94	
		Aguanil -MG		689,61	1294,03	689,61	-604,43
		Alterosa -MG		2516,20	4721,60	2516,20	-2205,40
		Areado -MG		2388,25	4481,50	2388,25	-2093,26
		Campos Gerais -MG		5121,48	9610,36	5121,48	-4488,88
		Conceição da Aparecida -MG		1715,02	3218,20	1715,02	-1503,18
		Cristais - MG		1802,84	3382,99	1802,84	-1580,15
		Eloi Mendes -MG		4291,87	8053,61	4291,87	-3761,74
		Formiga - MG		12088,63	22684,09	12088,63	-10595,46
		São José da Barra -MG		1211,85	2274,02	1211,85	-1062,16
	Três Pontas - MG		9872,79	18526,10	9872,79	-8653,31	

TABELA 6.3.7 – Municípios consumidores na área de influência do reservatório da UHE Moxotó/Paulo Afonso IV

Usina Hidrelétrica	Cidades consumidoras (Total)	Cidades consumidoras (Rural)	População atual (IBGE 2006)	População Período de projeto 1972	População Período de Operação	Diferença Populações
UHE Moxotó/Paulo Afonso	Paulo Afonso -BA		103776,00	62387,98	103776,00	41388,02
	Petrolândia -PE		31412,00	21127,15	31412,00	10284,85
		Delmiro Gouveia - AL	14165,61	15188,77	14165,61	-1023,16
		Macuruné - BA	3284,60	3404,07	3284,60	-119,47
		Santa Brigida -BA	6445,98	6680,44	6445,98	-234,46

TABELA 6.3.8 – Municípios consumidores na área de influência do reservatório da UHE Santa Branca

Usina Hidrelétrica	Cidades consumidoras (Total)	Cidades consumidoras (Rural)	População atual (IBGE 2006)	População Período de projeto 1954	População Período de Operação	Diferença Populações
UHE Santa Branca	Santa Branca - SP		15009,00	4265,57	15009,00	10743,43
		Guararema -SP	1636,55	3036,88	1636,55	-1400,33
		Jacareí -SP	14610,04	27111,30	14610,04	-12501,26
		Jambeiro -SP	297,73	552,48	297,73	-254,75
		Paraibuna -SP	1224,81	2272,83	1224,81	-1048,02
		São José dos Campos -SP	40288,25	74761,39	40288,25	-34473,14

TABELA 6.3.9 – Municípios consumidores na área de influência do reservatório da UHE Sobradinho

Usina Hidrelétrica	Cidades consumidoras (Total)	Cidades consumidoras (Rural)	População atual (IBGE 2006)	População Período de projeto 1974	População Período de Operação	Diferença Populações
UHE Sobradinho	Casa Nova - BA		62279,00	39876,88	62279,00	22402,12
	Remanso -BA		37639,00	24100,03	37639,00	13538,97
	Sento Sé - BA		35462,00	22706,11	35462,00	12755,89
		Campo Alegre de Lurdes -BA	9455,79	9935,69	9455,79	-479,90
		Plão Arcano -BA	9819,54	10317,90	9819,54	-498,36
		Xique Xique -BA	15788,10	16589,38	15788,10	-801,28

TABELA 6.3.10 – Municípios consumidores na área de influência do reservatório da UHE Três Marias

Usina Hidrelétrica	Cidades consumidoras (Total)	Cidades consumidoras (Rural)	População atual (IBGE 2006)	População Período de projeto 1957	População Período de Operação	Diferença Populações
UHE Três Marias	Felixlândia -MG		13418,00	6966,14	13418,00	6451,86
	Morada Nova de Minas -MG		8306,00	4312,18	8306,00	3993,82
	Três Marias -MG		25171,00	13067,87	25171,00	12103,13
		Abaeté -MG	4246,16	7923,81	4246,16	-3677,65
		Biquinhas - MG	476,53	889,27	476,53	-412,73
		Paineiras -MG	835,73	1559,58	835,73	-723,84
		Pompeu - MG	5458,37	10185,93	5458,37	-4727,57
		São Gonçalo do Abaeté -MG	924,81	1725,81	924,81	-800,99

Após o estudo do comportamento do crescimento das populações nos períodos de projeto e operação na área de influência dos reservatórios, calculou-se o consumo de recurso hídrico por setor em cada reservatório analisado, utilizando-se para isso dados de consumo por habitante dia de água (das concessionárias de

água), e dados de consumo por setor e por região hidrográfica, ambos apresentados nas tabelas 6.3.11 a 6.3.12 mostradas a seguir:

TABELA 6.3.11 – Consumo médio per capita no Brasil (Fonte NUNES (2006) com base nos SNIS de 2005)

REGIAO	CONSUMO MEDIO DE ÁGUA (l/habxdia)	EMPRESA E ESTADO	CONSUMO MEDIO DE ÁGUA (l/habxdia)
NORTE	111,7	CAER/ RR	138
		CAERD/ RO	111
		CAESA/ AP	163
		COSAMA/ AM	51
		COSANPA/ PA	100
		DEAS/ AC	101
NORDESTE	107,3	AGESPISA/ PI	74
		CAEMA/ MA	115
		CAERN/ RN	118
		CAGECE/ CE	119
		CAGEPA/ PB	109
		CASAL/ AL	114
		COMPESA/ PE	80
		DESO/ SE	109
		EMBASA/ BA	115
SUDESTE	147,0	CEDAE/ RJ	219
		CESAN/ ES	194
		COPASA/ MG	142
		SABESP/ SP	161
CENTRO-OESTE	133,6	CAESB/ DF	193
		SANEAGO/ GO	121
		SANEMAT/ MT	163
		SANESUL/ MS	113
SUL	124,6	CASAN/ SC	128
		SANEPAR/ PR	125
		CORSAN/ RS	130
BRASIL	141,0	---	---

TABELA 6.3.12 - Disponibilidade e Demanda de Água, Regiões Hidrográficas Brasileiras (Fonte: ANA (2002) – adaptado de FGV/SRH/MMA (1998).

REGIÃO HIDROGRÁFICA HYDROGRAPHIC REGION	ÁREA (km²) AREA (km²)	VAZÃO MÉDIA (m³/s) MEAN DISCHARGE(m³/s)	DEMANDA / DEMAND					TOTAL (m³/s) TOTAL (m³/s)	DEMANDA/ VAZÃO (%) DEMAND/ DISCHARGE (%)
			HUMANA (m³/s) HUMAN (m³/s)	IRRIGAÇÃO (m³/s) IRRIGATION (m³/s)	DEMANDA ANIMAL (m³/s) DEMANDA ANIMAL (m³/s)	INDUSTRIAL (m³/s) INDUSTRIAL (m³/s)	TOTAL (m³/s) TOTAL (m³/s)		
Amazonas / Amazon	3.988.813	134.119	9	190	8	2	209	0,2	
Tocantins / Tocantins	757.000	11.306	12	51	7	2	72	0,6	
Parnaíba / Parnaíba	344.248	1.272	9	32	2	2	45	3,6	
São Francisco / São Francisco	645.000	2.850	28	160	7	29	224	7,9	
Paraguay / Paraguai	363.592	1.340	4	41	10	1	56	4,2	
Paraná / Paraná	56.820	11.000	105	253	44	113	515	4,7	
Uruguay / Uruguay	77.494	150	8	157	9	5	178	4,3	
Costeira do Norte / Coastal R. of the North	98.583	3.253	1	0	0	0	1	0,0	
Costeira do Nordeste Ocidental / Coastal of the W Northeast	256.098	1.695	10	5	3	2	19	1,1	
Costeira do Nordeste Oriental / Coastal of the E. Northeast	685.303	2.937	78	118	14	53	262	8,9	
Costeira do Sudeste / C.R. of the Southeast	209.000	3.868	105	28	4	78	215	5,6	
Costeira do Sul / C.R. of the South	192.810	4.842	18	309	6	11	344	7,1	
BRASIL / BRAZIL	8.574.761	182.633	384	1.344	115	299	2.141	1,2	

Porém foi observado que a demanda per capita atual (período de operação) é bem maior do que a que ocorria no período projeto dos aproveitamentos, sendo

assim adotando a premissa de que, segundo Porto (1996), o consumo per capita de água dobrou nos últimos 40 anos e deve dobrar de novo nos próximos 20 anos, convencionou-se utilizar para o período de projeto o valor per capita de demanda hídrica do período de operação dividida por dois. Com estas considerações feitas, determinou-se a parcela do consumo relativo ao consumo humano, apresentado a seguir nas tabelas 6.3.13 a 6.3.22.

TABELA 6.3.13 - Cálculo da Demanda Humana na UHE Caconde

Cálculo da Demanda Humana					Consumo humano (m³/dia)	
Usina Hidrelétrica	Cidades consumidoras (Total)	Cidades consumidoras (Rural)	Consumo de água (projeto est) l/habxdia	Consumo de água (atual) l/habxdia	Período de projeto	Período de Operação
UHE Caconde – SE	Caconde - SP		73,5	147	510,33	2820,49
		Botelhos - MG	73,5	147	390,83	416,18
		Divinolândia - SP	73,5	147	114,05	117,95
		Poços de Caldas - MG	73,5	147	3837,70	4086,55

TABELA 6.3.14- Cálculo da Demanda Humana na UHE Camargos

Cálculo da Demanda Humana					Consumo humano (m³/dia)	
Usina Hidrelétrica	Cidades consumidoras (Total)	Cidades consumidoras (Rural)	Consumo de água (projeto est) l/habxdia	Consumo de água (atual) l/habxdia	período de projeto	Período de Operação
UHE Camargos – SE	Itutinga - MG		73,5	147	149,68	590,65
		Carrancas -MG	73,5	147	82,84	90,29
		Madre de D. M. - MG	73,5	147	128,59	140,15
		Nazareno - MG	73,5	147	181,46	197,77
		São João del Rei - MG	73,5	147	2013,44	2194,48

TABELA 6.3.15- Cálculo da Demanda Humana na UHE Ilha Solteira

Cálculo da Demanda Humana					Consumo humano (m³/dia)		
Usina Hidrelétrica	Cidades consumidoras (Total)	Cidades consumidoras (Rural)	Consumo de água (projeto est) l/habxdia	Consumo de água (atual) l/habxdia	Período de projeto	Período de Operação	
UHE Ilha Solteira – SE	Ilha Solteira - SP		73,5	147	1213,62	3775,55	
	Rubineia -SP		73,5	147	136,79	425,57	
	Santa Clara do Oeste -SP		73,5	147	87,27	271,51	
	Santa Fé do Sul - SP		73,5	147	1371,54	4266,82	
	Aparecida do Taboado -MS		73,5	147	907,06	3055,98	
	Selvíria -MS		73,5	147	269,30	907,28	
	Paranaíba -MS		73,5	147	1728,12	5822,23	
		Santa Albertina - SP		73,5	147	32,06	52,11
		Santa Rita do Oeste -SP		73,5	147	12,58	20,45
		Populina -SP		73,5	147	25,56	41,54
		Três Fronteiras - SP		73,5	147	30,95	50,30
		Santana da P. P. - SP		73,5	147	9,22	14,99
		São Francisco - SP		73,5	147	18,49	30,05
		Marinópolis -SP		73,5	147	13,56	22,04
		Aparecida do Oeste -SP		73,5	147	28,71	46,65
		Suzanópolis - SP		73,5	147	17,31	28,14
		Nova Canaã Paulista - SP		73,5	147	13,67	22,22

TABELA 6.3.16- Cálculo da Demanda Humana na UHE Foz do Areia

Cálculo da Demanda Humana					Consumo humano (m³/dia)		
Usina Hidrelétrica	Cidades consumidoras (Total)	Cidades consumidoras (Rural)	Consumo de água (projeto est) l/habxdia	Consumo de água (atual) l/habxdia	Período de projeto	Período de Operação	
UHE Foz do Areia – S	Porto Vitória -PR		62,3	124,6	204,36	530,42	
	União da Vitória - PR		62,3	124,6	2489,50	6461,51	
		Bituruna - PR		62,3	124,6	459,53	413,71
		Cruz Machado - PR		62,3	124,6	475,40	428,00
		Pinhão - PR		62,3	124,6	707,36	636,83

TABELA 6.3.17- Cálculo da Demanda Humana na UHE Funil

Cálculo da Demanda Humana					Consumo humano (m³/dia)	
Usina Hidrelétrica	Cidades consumidoras (Total)	Cidades consumidoras (Rural)	Consumo de água (projeto est) l/habxdia	Consumo de água (atual) l/habxdia	Período de projeto	Período de Operação
UHE Funil – SE	Itatiaia - RJ		73,5	147	1205,62	4578,17
		Areias - SP	73,5	147	33,39	37,16
		Queluz - SP	73,5	147	88,39	98,37
		São José do Barreiro - SP	73,5	147	37,44	41,66

TABELA 6.3.18 - Cálculo da Demanda Humana na UHE Furnas

Cálculo da Demanda Humana					Consumo humano (m³/dia)		
Usina Hidrelétrica	Cidades consumidoras (Total)	Cidades consumidoras (Rural)	Consumo de água (projeto est) l/habxdia	Consumo de água (atual) l/habxdia	Período de projeto	Período de Operação	
UHE Furnas – SE	Alfenas -MG		73,5	147	3012,28	11391,62	
	Boa Esperança - MG		73,5	147	1557,72	5890,88	
	Campo do Meio - MG		73,5	147	460,43	1741,22	
	Cana Verde -MG		73,5	147	221,95	839,37	
	Capitólio -MG		73,5	147	327,02	1236,71	
	Carmo do Rio Claro -MG		73,5	147	832,00	3146,39	
	Fama -MG		73,5	147	98,31	371,76	
	Guapé -MG		73,5	147	580,23	2194,27	
	Paraguaçu -MG		73,5	147	806,50	3049,96	
	Pimenta -MG		73,5	147	335,46	1268,61	
		Aguanil -MG		73,5	147	95,11	101,37
		Alterosa -MG		73,5	147	347,04	369,88
		Areado -MG		73,5	147	329,39	351,07
		Campos Gerais - MG		73,5	147	706,36	752,86
		Conceição da Aparecida -MG		73,5	147	236,54	252,11
		Cristais - MG		73,5	147	248,65	265,02
		Eloi Mendes -MG		73,5	147	591,94	630,90
		Formiga - MG		73,5	147	1667,28	1777,03
		São José da Barra -MG		73,5	147	167,14	178,14
		Três Pontas - MG		73,5	147	1361,67	1451,30

TABELA 6.3.19- Cálculo da Demanda Humana na UHE Moxotó/Paulo Afonso IV

Cálculo da Demanda Humana					Consumo humano (m³/dia)	
Usina Hidrelétrica	Cidades consumidoras (Total)	Cidades consumidoras (Rural)	Consumo de água (projeto est) l/habxdia	Consumo de água (atual) l/habxdia	Período de projeto	Período de Operação
UHE Moxotó/Paulo Afonso IV – NE	Paulo Afonso - BA		53,65	107,3	3347,12	11135,16
	Petrolândia - PE		53,65	107,3	1133,47	3370,51
		Delmiro Gouveia -AL	53,65	107,3	814,88	1519,97
		Macuruné - BA	53,65	107,3	182,63	352,44
		Santa Brígida - BA	53,65	107,3	358,41	691,65

TABELA 6.3.20- Cálculo da Demanda Humana na UHE Santa Branca

Cálculo da Demanda Humana					Consumo humano (m³/dia)	
Usina Hidrelétrica	Cidades consumidoras (Total)	Cidades consumidoras (Rural)	Consumo de água (projeto est) l/habxdia	Consumo de água (atual) l/habxdia	Período de projeto	Período de Operação
UHE Santa Branca – SE	Santa Branca - SP		73,5	147	313,52	2206,32
		Guararema -SP	73,5	147	223,21	240,57
		Jacarei -SP	73,5	147	1992,68	2147,68
		Jambeiro -SP	73,5	147	40,61	43,77
		Paraibuna -SP	73,5	147	167,05	180,05
		São José dos Campos -SP	73,5	147	5494,96	5922,37

TABELA 6.3.21- Cálculo da Demanda Humana na UHE Sobradinho

Cálculo da Demanda Humana					Consumo humano (m³/dia)	
Usina Hidrelétrica	Cidades consumidoras (Total)	Cidades consumidoras (Rural)	Consumo de água (projeto est) l/habxdia	Consumo de água (atual) l/habxdia	Período de projeto	Período de Operação
UHE Sobradinho – NE	Casa Nova - BA		53,65	107,3	2139,39	6682,54
	Remanso -BA		53,65	107,3	1292,97	4038,66
	Sento Sé - BA		53,65	107,3	1218,18	3805,07
		Campo Alegre de Lurdes -BA	53,65	107,3	533,05	1014,61
		Plão Arcano -BA	53,65	107,3	553,56	1053,64
		Xique Xique -BA	53,65	107,3	890,02	1694,06

TABELA 6.3.22- Cálculo da Demanda Humana na UHE Três Marias

Cálculo da Demanda Humana					Consumo humano (m³/dia)	
Usina Hidrelétrica	Cidades consumidoras (Total)	Cidades consumidoras (Rural)	Consumo de água (projeto est) l/habxdia	Consumo de água (atual) l/habxdia	Período de projeto	Período de Operação
UHE Três Marias – SE	Felixlândia -MG		73,5	147	512,01	1972,45
	Morada Nova de Minas -MG		73,5	147	316,94	1220,98
	Três Marias -MG		73,5	147	960,49	3700,14
		Abaeté -MG	73,5	147	582,40	624,19
		Biquinhas - MG	73,5	147	65,36	70,05
		Paineiras -MG	73,5	147	114,63	122,85
		Pompeu - MG	73,5	147	748,67	802,38
		São Gonçalo do Abaeté -MG	73,5	147	126,85	135,95

Seguindo a mesma linha de raciocínio adotada para as demandas per captas de consumo humano, pode-se considerar que as indústrias também apresentavam anteriormente um menor peso no consumo total regional de recurso hídrico, devido ao seu menor número. Neste caso baseando-se em dados dos censos industriais realizados pelo IBGE, se calculou o número de indústrias existentes no ano adotado como sendo de projeto, determinando-se a relação de indústrias para os períodos de projeto/operação, resultados estes que podem ser observados na TABELA 6.3.23 apresentada a seguir:

TABELA 6.3.23 – Relação Indústrias Período de Projeto/Atual (fonte: IBGE 2006, “Estatísticas do Século XX – Estatísticas Econômicas”, disponível em www.ibge.gov.br)

Usinas Hidrelétricas	Data de Projeto (Ano)	Número de Indústrias calculadas	Número de Indústrias Atual (2006)	Relação Atual/Data
Santa Branca	1954	100602	301478	0,33
Camargos	1956	108328	301478	0,36
Três Marias	1957	112191	301478	0,37
Furnas	1960	116054	301478	0,38
Caconde	1961	127643	301478	0,42
Funil	1965	139232	301478	0,46
Moxotó/Paulo Afonso	1972	170136	301478	0,56
Sobradinho	1974	177862	301478	0,59
Foz do Areia	1975	187238	301478	0,62
Ilha Solteira	1978	193314	301478	0,64

Com base nos dados apresentados na TABELA 6.3.12, foram calculados os valores em porcentagem dos consumos por setor para cada bacia hidrográfica dos aproveitamentos em análise. Estes dados pode ser visualizados na TABELA 6.3.24 a seguir.

TABELA 6.3.24 – Demanda de Água Atual (Período de Operação) por Setor para as Bacias Hidrográficas Analisadas (Fonte:Feito com base em ANA – 2002)

Demanda de água para o período de operação						
Usina Hidrelétrica	Bacia Hidrográfica	Demanda Humana (%)	Demanda Irrigação (%)	Demanda Industrial (%)	Demanda Animal (%)	Demanda Total (%)
UHE Caconde	Paraná	20,39	49,12	21,95	8,54	100
UHE Camargos	Paraná	20,39	49,12	21,95	8,54	100
UHE Ilha Solteira	Paraná	20,39	49,12	21,95	8,54	100
UHE Foz do Areia	Paraná	20,39	49,12	21,95	8,54	100
UHE Funil	Atlântico Sudeste	5,23	89,82	3,2	1,75	100
UHE Furnas	Paraná	20,39	49,12	21,95	8,54	100
UHE Moxotó/Paulo Afonso	São Francisco	12,5	71,43	12,95	3,12	100
UHE Santa Branca	Atlântico Sudeste	5,23	89,82	3,2	1,75	100
UHE Sobradinho	São Francisco	12,5	71,43	12,95	3,12	100
UHE Três Marias	São Francisco	12,5	71,43	12,95	3,12	100

Porém, não é correto admitir que as demandas de consumo (%) por setor é a mesma para o período de projeto e operação, uma vez que, conforme mencionado anteriormente, o número de indústrias no período de projeto era bem menor que o existente no período de operação, assim como a participação de setores como irrigação e dessedentação animal eram maiores no período de projeto. Então, a partir da relação (indústrias no período de projeto/atual) calculada anteriormente foram recalculados os pesos (porcentagem) dos consumos por setores, apresentados na TABELA 6.3.25 a seguir.

TABELA 6.3.25 – Demanda de Água (Período de Projeto) por Setor para as Bacias Hidrográficas Analisadas (Fonte: Confeccionado com base em ANA – 2002)

Demanda de água para o período de Projeto						
Usina Hidrelétrica	Bacia Hidrográfica	Demanda Humana (%)	Demanda Irrigação (%)	Demanda Industrial (%)	Demanda Animal (%)	Demanda Total (%)
UHE Caconde	Paraná	24,63	53,36	9,22	12,79	100
UHE Camargos	Paraná	25,07	53,8	7,9	13,23	100
UHE Ilha Solteira	Paraná	23,02	51,75	14,04	11,19	100
UHE Foz do Areia	Paraná	23,17	51,9	13,61	11,32	100
UHE Funil	Atlântico Sudeste	5,81	90,4	1,47	2,32	100
UHE Furnas	Paraná	24,92	53,65	8,34	13,09	100
UHE Moxotó/Paulo Afonso	São Francisco	14,4	73,33	7,25	5,02	100
UHE Santa Branca	Atlântico Sudeste	5,94	90,63	1,06	2,37	100
UHE Sobradinho	São Francisco	14,27	73,2	7,64	4,89	100
UHE Três Marias	São Francisco	15,22	74,15	4,79	5,84	100

Assim, a partir das demandas relativas ao consumo humano calculadas anteriormente, foram determinadas, com base nas porcentagens das TABELAS 6.3.24 e 6.3.25, as demandas de recursos hídricos de cada aproveitamento de acumulação hídrica, para dois períodos distintos, sendo eles o período de projeto e o período operação (atual 2006), sendo os resultados apresentados nas TABELAS 6.3.26 e 6.3.27 mostradas a seguir.

TABELA 6.3.26 – Demanda de água para o período de Projeto

Consumo de água para o período de Projeto						
Usina Hidrelétrica	Bacia Hidrográfica	Consumo Humano (m³/s)	Consumo Irrigação (m³/s)	Consumo Industrial (m³/s)	Consumo Animal (m³/s)	Consumo Total (m³/s)
UHE Caconde	Paraná	0,056	0,122	0,021	0,029	0,228
UHE Camargos	Paraná	0,030	0,063	0,009	0,016	0,118
UHE Ilha Solteira	Paraná	0,068	0,154	0,042	0,033	0,297
UHE Foz do Areia	Paraná	0,050	0,112	0,029	0,025	0,217
UHE Funil	Atlântico Sudeste	0,016	0,246	0,004	0,006	0,272
UHE Furnas	Paraná	0,162	0,348	0,054	0,085	0,649
UHE Moxotó/Paulo Afonso	São Francisco	0,068	0,344	0,034	0,024	0,469
UHE Santa Branca	Atlântico Sudeste	0,095	1,454	0,017	0,038	1,604
UHE Sobradinho	São Francisco	0,077	0,393	0,041	0,026	0,538
UHE Três Marias	São Francisco	0,040	0,193	0,012	0,015	0,261

TABELA 6.3.27 – Demanda de água para o período Atual (Operação 2006)

Consumo de água para o período de operação						
Usina Hidrelétrica	Bacia Hidrográfica	Consumo Humano (m ³ /s)	Consumo Irrigação (m ³ /s)	Consumo Industrial (m ³ /s)	Consumo Animal (m ³ /s)	Consumo Total (m ³ /s)
UHE Caconde	Paraná	0,086	0,207	0,093	0,036	0,422
UHE Camargos	Paraná	0,037	0,090	0,040	0,016	0,182
UHE Ilha Solteira	Paraná	0,218	0,526	0,235	0,091	1,070
UHE Foz do Areia	Paraná	0,098	0,236	0,106	0,041	0,481
UHE Funil	Atlântico Sudeste	0,055	0,945	0,034	0,018	1,052
UHE Furnas	Paraná	0,431	1,039	0,464	0,181	2,115
UHE Moxotó/Paulo Afonso	São Francisco	0,198	1,129	0,205	0,049	1,581
UHE Santa Branca	Atlântico Sudeste	0,124	2,135	0,076	0,042	2,377
UHE Sobradinho	São Francisco	0,212	1,210	0,219	0,053	1,693
UHE Três Marias	São Francisco	0,100	0,572	0,104	0,025	0,801

Para a confecção da curva de consumo, não basta apenas se obter as demandas de uso múltiplo no reservatório. O maior e mais considerável consumo de um reservatório de acumulação hídrica pode ser entendido como sendo o valor da vazão que o reservatório em questão regulariza para fins energéticos e que na TABELA 6.3.28, são apresentados os valores das vazões regularizadas das principais usinas hidrelétricas do Brasil, os quais são válidos para os períodos de projeto e de operação.

TABELA 6.3.28 - Vazão regularizada nas principais usinas hidrelétricas
(Fonte: ANA, "Plano Nacional de Recursos Hídricos, Brasília, 2006)

Rio	Usina	Área de Drenagem (km ²)	Vazão Média (m ³ /s)	Vazão Regularizada (m ³ /s)	Vazão Regularizada (%)
Região Hidrográfica do Tocantins/Araguaia					
Tocantins	Serra da Mesa	51233	784	662	84
Tocantins	Cana Brava	58022	879	664	75
Tocantins	Lajeado	183718	2484	794	32
Tocantins	Tucuruí	757577	10948	4755	43
Região Hidrográfica do Paraíba					
Paraíba	Boa Esperança	87500	453	301	66
Região Hidrográfica do São Francisco					
Preto	Queimado	3750	57	34	60
São Francisco	Três Marias	50732	686	513	75
São Francisco	Sobradinho	499084	2706	1825	67
São Francisco	Itaparica	593384	2791	1875	67
São Francisco	Moxotó	606270	2810	1875	67
São Francisco	Xingó	610544	2810	1875	67
Região Hidrográfica Atlântico Sudeste					
Paraíba do Sul	Paraibuna	4150	69	64	93
Paraíba do Sul	Santa Branca	5030	80	73	91
Jaguari	Jaguari	1300	28	25	89
Paraíba do Sul	Funil	13410	229	150	65
Paraíba do Sul	Santa Cecília	16694	297	196	66
Região Hidrográfica do Paraná					
Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba					
Araguari	Nova Ponte	15480	532	261	40
Araguari	Miranda	18124	349	288	82
Corumbá	Corumbá I	27604	452	172	38
Paranaíba	Emborcação	29050	483	384	80
Paranaíba	Itumbiara	94728	1548	1214	78
Paranaíba	Cachoeira Dourada	99775	1624	1240	76
Paranaíba	São Simão	171474	2363	1734	73
Bacia Hidrográfica do Rio Grande					
Pardo	Caconde	2588	54	30	56
Pardo	Euclides da Cunha	4392	88	38	43
Pardo	Limoeiro	4471	89	39	44
Grande	Camargos	6279	133	76	57
Grande	Funil	15153	322	76	24
Grande	Furnas	52138	929	678	73
Grande	Mascarenhas de Moraes	59600	1016	768	76
Grande	Estreito	61942	1035	775	75
Grande	Jaguará	62700	1045	777	74
Grande	Igarapava	63693	1103	783	71

Conti. TABELA 6.3.28

Rio	Usina	Área de Drenagem (km ²)	Vazão Média (m ³ /s)	Vazão Regularizada (m ³ /s)	Vazão Regularizada (%)
Bacia Hidrográfica do Rio Grande					
Grande	Volta Grande	68800	1133	794	70
Grande	Porto Colômbia	77427	1328	828	62
Grande	Marimbondo	118515	1847	1174	64
Bacia Hidrográfica do Rio Tietê					
Guarapiranga	Guarapiranga	631	12	7	58
Pinheiros	Pedreira	560	19	19	100
Tietê	Ponte Nova	320	8	8	100
Tietê	Edgard de Souza	4844	105	42	40
Tietê	Barra Bonita	33156	435	205	47
Tietê	Bariri	36708	486	261	54
Tietê	Ibitinga	44923	581	300	52
Tietê	Promissão	58106	699	383	55
Tietê	Nova Avanhandava	62727	747	385	52
Tietê	Três Irmãos	71221	797	480	60
Bacia Hidrográfica do Rio Paranapanema					
Paranapanema	Jurumirim	17891	220	161	73
Paranapanema	Piraju	18336	225	163	72
Paranapanema	Chavantes	27769	338	240	71
Paranapanema	Ourinhos	28160	342	240	70
Paranapanema	Canoas II	39531	459	243	53
Paranapanema	Canoas I	41276	477	243	51
Paranapanema	Capivara	84715	1077	658	61
Paranapanema	Taquaruçu	88707	1137	672	59
Paranapanema	Rosana	100799	1281	702	55
Bacia Hidrográfica do Rio Paraná					
Paraná	Porto Primavera	571855	7130	4368	61
Paraná	Ilha Solteira	377197	5243	3400	65
Paraná	Jupia	476797	6341	3880	61
Paraná	Itaipu	823555	10027	5370	54
Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu					
Jordão	Desvio Jordão	4682	126	10	-
Iguaçu	Foz do Areia	30127	654	328	50
Iguaçu	Segredo	34346	749	377	50
Iguaçu	Salto Santiago	43852	994	517	52
Iguaçu	Salto Osório	45769	1041	523	50
Iguaçu	Salto Caxias	56977	1336	530	40
Região Hidrográfica do Uruguai					
Passo Fundo/Erechim	Passo Fundo	2170	55	32	58
Chapecó	Quebra Queixo	2670	79	10	13
Pelotas	Barra Grande	13000	300	105	35
Canoas	Campos Novos	14200	305	54	18
Pelotas	Machadinho	32050	729	223	31
Uruguai	Ita	44500	1022	243	24

Inserindo-se os valores das vazões regularizadas nos cálculos de consumo (de uso múltiplo), tem-se o valor do consumo final de cada Aproveitamento de acumulação hídrica analisado, tanto para o período de projeto quanto para o de operação, e pode-se finalmente traçar a curva de consumo de acordo com a metodologia apresentada no item 5.2.2 deste trabalho.

Traçada a Curva de Consumo, e a Curva dos Deflúvios Acumulados, tem-se o volume útil dos Aproveitamentos obtido de acordo com a metodologia apresentada no item 5.2.2. Porém, este ainda não pode ser considerado como final, uma vez que devem ser feitos os ajustes devido a evaporação nas bacias hidráulicas dos Aproveitamentos, conforme metodologia apresentada anteriormente. Para este ajuste, necessita-se das taxas de evaporação dos locais onde estão inseridos os Aproveitamentos. Verificou-se que, de forma análoga às demandas hídricas, a taxa de evaporação também se modificou pela influência da degradação da bacia hidrográfica, aquecimento global, e pela implantação/operação dos próprios reservatórios de acumulação hídrica.

Segundo o Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS (2004) a evaporação, no que diz respeito à reservatórios de acumulação hídrica, pode ocorrer através de várias parcelas, sendo as principais:

- ? Evaporação Lago: leva em consideração todas as características evaporativas que não são analisadas pela Evaporação Potencial, mas que afetam as estimativas finais: tais como profundidade do lago, variações de temperatura e umidade do ar, vento e etc.;
- ? Evaporação Real da bacia hidrográfica (ETR) onde o Aproveitamento esta inserido;
- ? Evaporação Líquida: é a diferença entre a evaporação Lago e a ETR.

No caso do estudo proposto por este trabalho convencionou-se adotar a evaporação ETR como sendo a do período de projeto e a Evaporação Lago como sendo a do período de operação. Os valores de evaporação utilizados podem ser observados na TABELA 6.3.29 mostrada a seguir:

TABELA 6.3.29 – Dados de Evaporação dos Reservatórios Analisados

Usina Hidrelétrica	Evaporação real (mm/ano)	Evaporação Líquida (mm/ano)	Evaporação Lago (mm/ano)	Vazão de evaporação Calculada TAS Projeto	Vazão de evaporação Calculada TAS Operação década 1980 [m³/s]	Vazão de evaporação Calculada TAS Operação década 2000 [m³/s]
UHE Caconde	540	454	994	0,05	0,11	0,11
UHE Camargos	540	273	813	0,29	0,49	0,49
UHE Ilha Solteira	540	524	1064	6,95	13,85	13,91
UHE Foz do Areia	540	275	815	0,77	1,59	1,83
UHE Funil	540	310	850	0,28	0,50	0,49
UHE Furnas	540	363	903	5,18	9,41	9,06
UHE Moxotó/Paulo Afonso IV	574	1502	2076	1,32	5,18	4,92
UHE Santa Branca	540	282	822	1,69	2,60	2,61
UHE Sobradinho	574	1947	2521	22,84	103,24	102,15
UHE Três Marias	540	429	969	3,58	6,78	5,99

Com os dados de vazão de evaporação, realizou-se a correção deste consumo, observado-se os critérios apresentados no item 5.2.2 e ao final obteve-se os valores finais para os volumes úteis dos reservatórios analisados. Os resultados obtidos serão apresentados e comentados no capítulo 7.

6.3.2 Cálculo do Volume Útil dos Reservatórios em Análise pelo Método de Conti – Varlet

Para a realização do cálculo do volume útil dos reservatórios em análise pelo método de Conti-Varlet, foi utilizado um Programa computacional desenvolvido na plataforma do MATLAB, que é um “software” interativo de alto desempenho que permite que se desenvolva em sua plataforma Programas com linguagens semelhantes ao Fortran, Visual Basic ou mesmo o C. O Programa utilizado tem o nome de “CONTI”, fazendo referência ao método de cálculo que ele utiliza, e foi desenvolvido primeiramente pelo professor Afonso Henriques em uma plataforma simples, vindo posteriormente a ser aprimorado na plataforma do MATLAB.

O método de Conti-Varlet visa a obtenção de uma vazão defluente regularizada, que se aproxime ao máximo da vazão média de longo termo,

definindo, ao longo do tempo, uma política de operação de minimização dos desvios-médios quadráticos (vazão regularizada otimizada) que pode ser entendida pelas equações:

$$\min z = \sum_{i=1}^T (Q_m - Q_{di})^2 \quad (6.3.2.1)$$

Sujeito a:

$$Vr_t = Vm + \sum_{i=1}^t (Q_{ai} - Q_{di}) \quad (6.3.2.2)$$

$$V_{\min} \leq Vr_t \leq V_{\max}, \forall t \quad (6.3.2.3)$$

Onde:

Q_m = Vazão média (m³/s);

Q_{di} = Vazão defluente no instante i (m³/s);

Q_{ai} = Vazão afluente no instante i (m³/s);

Vr_t = Volume regularizado (m³);

V_m = Volume morto (m³);

V_{\min} = Volume mínimo (m³);

V_{\max} = Volume máximo (m³).

A vazão regularizada pode ser expressa pela equação 6.3.2.4, a seguir, onde $Vr_{0(t)}$ é o volume acumulado dado pela curva otimizada, conforme metodologia descrita no item 5.2.2 deste trabalho.

$$Q_{r(t)} = \frac{dVr_{0(t)}}{dt} + Q_m \quad (6.3.2.4)$$

Os dados de entrada do Programa “CONTI” são a série histórica de vazões, que no caso da análise será a dos períodos definidos como comparação (TAS de Projeto e TAS de Operação), sendo, analogamente à análise realizada nos itens anteriores, um TAS representando o período de projeto e dois TAS para o período de operação, e um volume útil inicial, que nesta análise foi adotado o volume útil real dos Aproveitamentos em operação.

Os dados de saída do Programa são: o valor do volume útil necessário para a regularização de uma determinada vazão a cada instante; a vazão regularizada otimizada para cada instante; gráfico de cálculo do volume útil necessário para a respectiva regularização; gráfico das vazões naturais juntos com as vazões

regularizadas calculadas, ambos os gráficos estão disponíveis em anexo neste trabalho. Os resultados do volume útil serão apresentados em forma de tabela e comentados no capítulo 7.

6.3.3 Determinação dos Valores Monetários Relativos a Influência da Degradação Ambiental da Bacia nos Reservatórios em Análise.

Determinar até que ponto um investimento em recuperação da degradação ambiental em uma determinada área pode apresentar algum retorno tangível e ser lucrativo para uma grande Empresa é uma tarefa difícil. Descontadas as parcelas de marketing ambiental, que é sempre positivo nos dias de hoje, mas que para fazê-lo não há necessidade de grandes volumes de investimentos, é muito pouco provável que uma grande Empresa, independente do seu Setor de atuação, realize volumosos investimentos em recuperação ambiental sem vislumbrar algum tipo de retorno financeiro em um futuro próximo.

No Setor da Geração de Energia, a determinação dos valores monetários relativos a influência da deterioração hidrológica por consequência da degradação ambiental das bacias onde os reservatórios analisados estão inseridos, é um dado de análise bastante relevante, pois, a partir dele pode-se determinar parâmetros e valores para se investir na recuperação da bacia degradada em questão. O valor monetário calculado pode ser assim visualizado como sendo uma perda de receita para as grandes Empresas Geradoras de Energia, e o investimento na recuperação ambiental pode ser facilmente recuperado se este tiver, como consequência, a redução ou mesmo recuperação total destas perdas de receitas durante a geração, isto por conta da recuperação ambiental hidrológica da bacia.

As incertezas hidrológicas envolvidas no setor devem também ser analisadas, uma vez que as Concessionárias interligadas ao SIN vendem a sua energia no mercado através dos CEA's – Contrato de Energia Assegurado. Portanto, tanto para as Concessionárias quanto para os Órgãos Gestores, representados pela ANEEL e ONS, as incertezas hidrológicas decorrentes de problemas ambientais hidrológicos da bacia, assim como de problemas climáticos, são fatores que também devem ser interpretados como benefícios, justificando assim a maximização das disponibilidades hídricas das bacias (redução das enchentes e estiagens críticas).

Para o cálculo dos valores monetários relativos a influência da degradação ambiental hidrológica das bacias nos reservatórios analisados foram utilizados os seguintes dados fornecidos pelas empresas:

- ? O volume útil real de projeto para cada reservatório em análise, que podem ser observados na Tabela 6.3.30;

TABELA 6.3.30 – Valores do Volume Útil Real de Projeto dos Reservatórios Analisados (Fonte: Concessionárias de energia elétrica)

Usina Hidrelétrica (1)	Volume Útil Real de Projeto [m³] (2)
UHE Caconde	5,40E+08
UHE Camargos	6,72E+08
UHE Ilha Solteira	5,52E+09
UHE Foz do Areia	5,60E+09
UHE Funil	6,05E+08
UHE Furnas	1,72E+10
UHE Moxotó/Paulo Afonso	2,00E+08
UHE Santa Branca	3,08E+08
UHE Sobradinho	2,86E+10
UHE Três Marias	1,53E+10

- ? A cota real do N.A. normal do volume útil dos reservatórios analisados;
- ? A queda líquida real dos Empreendimentos;
- ? A potencia instalada em cada empreendimento.

Os dados citados podem ser visualizados na TABELA 6.3.31 apresentada a seguir.

TABELA 6.3.31 – Dados do Reservatórios em Analise

Usina Hidrelétrica	Cota N.A Volume Útil Real [m]	Queda líquida [m]	Potencia Instalada Real [Mw]
UHE Caconde	852,98	90 (*)	80,40
UHE Camargos	912,18	26,90	46,00
UHE Ilha Solteira	519,77	41,50	3444,00
UHE Foz do Areia	744,38	120,00	1676,00
UHE Funil	458,61	77,83	222,00
UHE Furnas	766,75	86 (*)	1312,00
UHE Moxotó/Paulo Afonso	250,08	21,00	400,00
UHE Santa Branca	622,78	37 (*)	58,00
UHE Sobradinho	391,19	27,20	1050,30
UHE Três Marias	577,40	56,90	396,00

A metodologia utilizada para o calculo dos valores monetários relativos deterioração hidrológica dos reservatórios foi a seguinte: 1) como mostrado no item 6.3.1 e 6.3.2 foram determinados dois volumes úteis distintos relativos a dois cálculos diferentes, sendo um valor utilizando a metodologia de Rippl e outro

utilizando a de Conti-Varlet. Tanto para a metodologia de Rippl quanto para a de Conti-Varlet foram obtidos valores de volume útil para antes (Período de Projeto) e depois (Período atual de Operação); 2) da relação dos VU entre os Período de Operação e de Projeto determinou-se um valor de porcentagem que indica quanto maior é o volume útil para o Período de Operação em relação ao de Projeto (TAS mais críticos, maior consumo de água); 3) utilizando-se esta porcentagem, foi calculado, com base no volume útil real, as perdas deste volume útil para a metodologia de Rippl assim como para a metodologia de Conti-Varlet; 4) de posse destes valores de volume útil real (deteriorado) calculados, utilizou-se a curva cota – área – volume para se determinar as cotas relativas aos volumes úteis novos (Período de Operação); 5) com o valor das cotas, calculou-se as quedas líquidas novas. Apenas para os empreendimentos de Caconde, Furnas e Santa Branca é que não foi possível determinar a queda líquida real, uma vez que para estes Aproveitamentos não foram disponibilizados dados referentes a cota do eixo da turbina, para estes empreendimentos, foram utilizados valores contidos no SIPOT (1997) – Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro. A queda líquida calculada neste trabalho para os Aproveitamentos pode ser considerada uma queda líquida em relação ao N.A. Normal, que corresponde a diferença entre a cota do N.A. normal e a cota do eixo da turbina.

Segundo SOUZA (1999) a potência elétrica gerada em um sistema (P_{el} [kW]) pode ser determinada pela expressão:

$$P_{el} = \rho \cdot g \cdot \eta_t \cdot \eta_g \cdot Q \cdot H \quad (6.3.3.1)$$

Onde:

P_{el} – Potência Elétrica Gerada;

g – Aceleração da Gravidade;

ρ – Massa Específica da Água;

η_t – Rendimento Total;

η_g – Rendimento GE;

Q – Vazão de Projeto;

H – Queda Líquida Disponível.

Porém, como na análise a parcela que está sofrendo variação é somente a queda líquida, já que as vazões turbinadas mantiveram-se as mesmas para todas as metodologias e Aproveitamentos, a equação anterior pode ser reescrita como:

$$P_{el} = H \cdot K \quad (6.3.3.2)$$

Onde:

P_{el} – Potência Elétrica Gerada;

H – Queda Líquida Disponível;

$$K \cdot g \cdot 10^{23} \cdot t \cdot g \cdot Q \quad (6.3.3.3)$$

6) utilizando-se as equações apresentadas anteriormente, calculou-se as novas potências relativas a cada empreendimento, obtendo-se assim um valor para a metodologia de Rippl e outro valor para a metodologia de Conti-Valert;

7) contudo é sabido que o valor de potência calculada não corresponde à energia efetivamente gerada e vendida no decorrer de um ano, devido a variações de vazões turbinadas, de quedas (deplecionamento do reservatório), de despachos do sistema interligado – SIN, dentre outros fatores. Para resolver este problema e dar veracidade aos cálculos deste trabalho, optou-se por fazer a correção utilizando o Fator de Capacidade que, de acordo com SOUZA (1999), é a relação entre a potência média gerada e a potência instalada da Central Hidrelétrica, podendo ser expresso pela equação:

$$f_{cp} = \frac{P_{el}}{P_{eln}} \quad (6.3.3.4)$$

Onde:

f_{cp} – Fator de Capacidade;

P_{el} - Potência Média Gerada;

P_{eln} – Potência Instalada da Central Hidrelétrica.

O valor do Fator de Capacidade adotado para os cálculos foi de 56%, que corresponde ao Fator de Capacidade médio típico para Usinas Hidrelétricas do Sistema Brasileiro, de acordo com a ELETROBRÁS (2006);

8) após realizar a correção das potências calculadas utilizando o Fator de Capacidade, obteve-se os valores da potência média gerada; 9) com os valores das potências médias geradas foram realizados os cálculos dos valores monetários relativos à degradação ambiental. Porém para a realização deste último cálculo, adotou-se o valor para a energia gerada de R\$ 120,89 por MW/h, correspondente a tarifa utilizada no 3º leilão de energia realizado em 10 de outubro de 2006; 10) feita esta última consideração foram determinados os valores monetários relativos a influência da degradação ambiental, sendo estes resultados apresentados e comentados no próximo capítulo.

IV – ESTUDO DE CASO

7 ESTUDOS DE COMPROMETIMENTO HIDROLÓGICO DO VOLUME ÚTIL DE RESERVATÓRIOS EM OPERAÇÃO

7.1 Estudo de Caso parte 1: Resultado da Análise dos Indicadores de Regime Hidrológicos dos Aproveitamentos em Operação

7.1.1 Usina Hidrelétrica de Caconde

A usina hidrelétrica de Caconde se localiza no município de Caconde no estado de São Paulo, construída no rio Pardo, a usina hidrelétrica pertence à companhia energética AES Tietê, ela possui duas unidades geradoras, e apresenta uma potência instalada de 80,40Mw, e o volume útil de projeto é de 540 milhões de m³. A seguir são apresentadas as FIGURAS 7.1 a 7.4 que ilustram características do aproveitamento em questão.



FIGURA 7.1- Vista da Barragem e Reservatório de Caconde. (Fonte: AES Tietê, disponível em www.aestiete.com.br)



FIGURA 7.2 – Detalhe Usina de Caconde. (Fonte: Prefeitura de Caconde, disponível em www.cacondesp.com.br)



FIGURA 7.3 – Detalhe Reservatório da UHE Caconde. (Fonte: GOOGLE. (2005) apud TerraMetrics (2007), MapLink/TeleAtlas (2007), Europa Tecnologias (2007) – “Google Earth V. 3.0.0693 (beta)”, Google Corporation, Inc.)

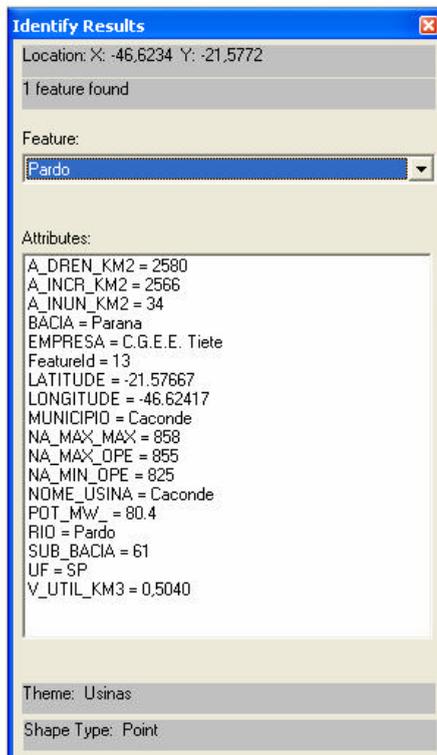


FIGURA 7.4 – Características hidráulico – operativas da UHE Caconde (Fonte: ESRI ArcExplorer™ (1997). A GIS data explorer built with MapObjects™ technology. Disponível em: [http://www.esri.com/software/arcexplorer/index .html](http://www.esri.com/software/arcexplorer/index.html); Environmental Systems Research Institute, Inc.)

Utilizando a metodologia apresentada no item 6.2, confeccionaram-se curvas de permanência apresentadas no anexo C deste trabalho, e utilizando a metodologia apresentada no capítulo 3 deste trabalho, obteve-se os seus respectivos indicadores de regime hidrológico e vazões características, apresentadas na TABELA 7.1:

TABELA 7.1 – Indicadores de Regime Hidrológico da UHE Caconde

Usina (1)	Vazões características [m³/s] (2)			Indicadores de Regime Hidrológico [Ad.] (3)				
	Tipo (4)	Série Histórica Completa (5)	Série Histórica de Projeto (6)	Série Histórica de Operação (7)	Indicador (8)	Série Histórica Completa (9)	Série Histórica de Projeto (10)	Série Histórica de Operação (11)
UHE Caconde								
	Q5	126,00	118,45	119,30	P	2,34	2,29	2,16
	Q25	70,00	64,25	71,50	p	2,99	3,04	3,26
	Q50	42,00	38,00	41,00	M	7,00	6,97	7,02
	Q75	28,00	26,00	28,00	Qm/Q50	1,28	1,36	1,35
	Q95	18,00	17,00	17,00				
	Qm	53,81	51,62	55,34				

(1) – Usina hidrelétrica em operação analisada.

(2) – Vazões características do curso d'água na seção de análise, conforme conceitos do item 3.3 deste trabalho.

(3) – Indicadores de regime hidrológico do curso d'água na seção de análise, conforme conceitos do item 3.3 deste trabalho.

(4) – Tipo de vazão característica.

(5) – Vazões características calculadas para a série histórica de vazões completa.

(6) – Vazões características calculadas para a série histórica de vazões de projeto (antes da construção).

(7) – Vazões características calculadas para a série histórica de vazões de operação (depois da construção).

(8) – Tipo de indicador hidrológico.

(9) – Indicadores de regime hidrológico calculados para a série histórica de vazões completa.

(10) – Indicadores de regime hidrológico calculados para a série histórica de vazões de projeto (antes da construção).

(11) – Indicadores de regime hidrológico calculados para a série histórica de vazões de operação (depois da construção).

7.1.2 Usina Hidrelétrica de Camargos

A usina hidrelétrica de Camargos se localiza no município de Itutinga em Minas Gerais, na região do alto rio Grande e apresenta uma área de drenagem de 6280 km². A usina hidrelétrica pertence à companhia energética de Minas gerais

(CEMIG), teve o início das operações em 1960, ela possui duas unidades geradoras, e apresenta uma potência instalada de 46Mw, a barragem tem comprimento total de 598m e apresenta uma altura de 37m, e o volume útil de projeto é de 672 milhões de m³. A seguir são apresentadas as FIGURAS 7.5 a 7.8 que ilustram características do aproveitamento em questão.



FIGURA 7.5 – Detalhe Barragem da UHE Camargos. (Fonte: Cemig, disponível em www.cemig.com.br)



FIGURA 7.6 – Vista Reservatório da UHE Camargos. (Fonte: Instituto Estrada Real, disponível em www.estrada-real.org.br)



FIGURA 7.7 – Detalhe Reservatório da UHE Camargos. (Fonte: GOOGLE. (2005) apud TerraMetrics (2007), MapLink/TeleAtlas (2007), Europa Technologies (2007) – “Google Earth V. 3.0.0693 (beta)”, Google Corporation, Inc.)



FIGURA 7.8 – Características hidráulico – operativas da UHE Camargos (Fonte: ESRI ArcExplorer™ (1997). A GIS data explorer built with MapObjects™ technology. Disponível em: [http://www.esri.com/software/arcexplorer/index .html](http://www.esri.com/software/arcexplorer/index.html); Environmental Systems Research Institute, Inc.)

Utilizando a metodologia apresentada no item 6.2, confeccionaram-se curvas de permanência apresentadas no anexo C deste trabalho, e utilizando a metodologia apresentada no capítulo 3 deste trabalho, obteve-se os seus respectivos indicadores de regime hidrológico e vazões características, apresentadas na TABELA 7.2:

TABELA 7.2 – Indicadores de Regime Hidrológico da UHE Camargos

Usina	Vazões características [m³/s]			Indicadores de Regime Hidrológico [Ad.]				
	Tipo	Série Histórica Completa	Série Histórica de Projeto	Série Histórica de Operação	Indicador	Série Histórica Completa	Série Histórica de Projeto	Série Histórica de Operação
UHE Camargos								
	Q5	301,40	283,00	280,55	P	2,22	2,24	1,95
	Q25	174,00	162,00	162,00	p	2,47	2,38	2,95
	Q50	106,00	99,00	104,50	M	5,48	5,34	5,76
	Q75	76,00	72,00	70,00	Qm/Q50	1,28	1,27	1,37
	Q95	55,00	53,00	48,70				
Qm	136,04	126,16	143,55					

7.1.3 Usina Hidrelétrica de Foz do areia

De acordo com dados da COPEL – Companhia Paraense de Energia, em maio de 1973, se obteve a concessão para construir a Usina Foz do Areia. Para a implantação da barragem, as águas do rio foram desviadas em uma única fase, utilizando dois túneis localizados na margem direita, com diâmetro de 12 m cada e capacidade de vazão conjunta de 3.800 m³/s.

Segundo a COPEL, o projeto hidrelétrico Foz do Areia foi implantado com dois objetivos de igual importância. O primeiro corresponde à criação de um grande reservatório regulador de vazões a montante dos demais projetos executados no rio Iguaçu. E o segundo, ao de geração de energia elétrica com potência instalada de 2.500 MW. No local do projeto a bacia drenada é de 29.800 km² e a vazão média natural é de 544 m³/s. A seguir são apresentadas as FIGURAS 7.9 a 7.11 que ilustram características do aproveitamento em questão.



FIGURA 7.9 – Detalhe Barragem da UHE Foz do Areia. (Fonte: GOOGLE. (2005) apud TerraMetrics (2007), MapLink/TeleAtlas (2007), Europa Technologies (2007) – “Google Earth V. 3.0.0693 (beta)”, Google Corporation, Inc.)



FIGURA 7.10 – Detalhe Reservatório da UHE Foz do Areia. (Fonte: GOOGLE. (2005) apud TerraMetrics (2007), MapLink/TeleAtlas (2007), Europa Technologies (2007) – “Google Earth V. 3.0.0693 (beta)”, Google Corporation, Inc.)

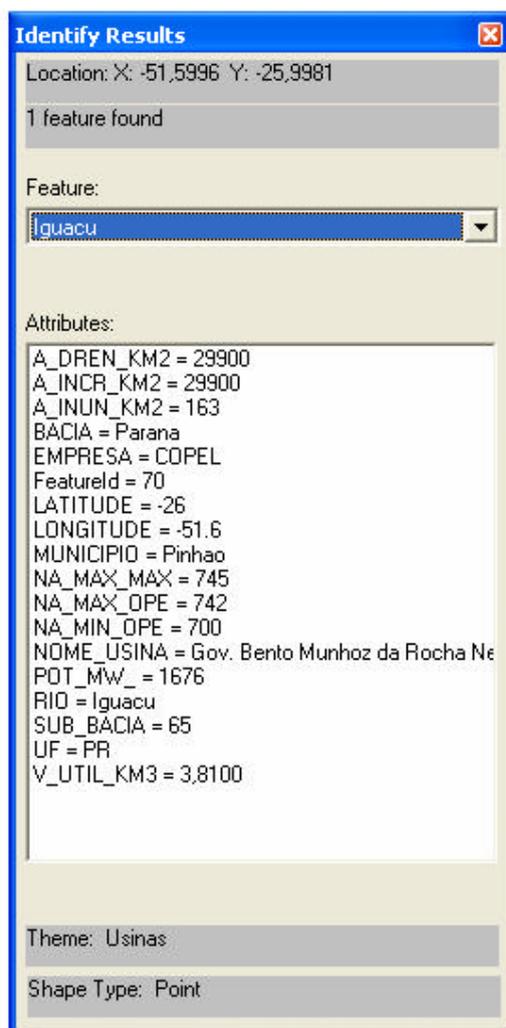


FIGURA 7.11 – Características hidráulico – operativas da UHE Foz do Areia (Fonte: ESRI ArcExplorer™ (1997). A GIS data explorer built with MapObjects™ technology. Disponível em: [http://www.esri.com/software/arcexplorer/index .html](http://www.esri.com/software/arcexplorer/index.html); Environmental Systems Research Institute, Inc.)

Utilizando a metodologia apresentada no item 6.2, confeccionaram-se curvas de permanência apresentadas no anexo C deste trabalho, e utilizando a metodologia apresentada no capítulo 3 deste trabalho, obteve-se os seus respectivos indicadores de regime hidrológico e vazões características, apresentadas na TABELA 7.3:

TABELA 7.3 – Indicadores de Regime Hidrológico da UHE Foz do Areia

Usina	Vazões características [m³/s]			Indicadores de Regime Hidrológico [Ad.]				
	Tipo	Série Histórica Completa	Série Histórica de Projeto	Série Histórica de Operação	Indicador	Série Histórica Completa	Série Histórica de Projeto	Série Histórica de Operação
UHE Foz do Areia								
	Q5	1590,30	1343,10	1438,55	P	2,44	2,26	1,95
	Q25	821,00	731,00	785,00	p	3,78	3,69	4,30
	Q50	512,00	468,00	491,00	M	9,25	8,36	8,40
	Q75	311,00	285,75	306,75	Qm/Q50	1,27	1,27	1,50
	Q95	171,95	160,75	171,35				
	Qm	650,55	593,00	736,88				

7.1.4 Usina Hidrelétrica de Funil

A Usina Hidrelétrica de Funil apresenta uma arquitetura diferente das demais usinas de FURNAS. Com uma barragem do tipo abóbada de concreto, com dupla curvatura, única no Brasil, ela foi construída no rio Paraíba do Sul, no local conhecido como "Salto do Funil", em Resende, no Estado do Rio de Janeiro.

Segundo dados de FURNAS Centrais Elétricas, sua construção já vinha sendo planejada desde a década de 30, com o objetivo de permitir a eletrificação de uma estrada de ferro, ligando o Rio de Janeiro, São Paulo e Belo Horizonte. O projeto foi postergado e somente em 1961 foi iniciada a sua construção pela Chevap (Companhia Hidrelétrica do Vale do Paraíba). Em 1965, a Usina de Funil foi absorvida pela ELETROBRÁS, que, dois anos mais tarde, designou FURNAS para concluir a construção da obra e colocá-la em funcionamento.

De acordo com FURNAS Centrais Elétricas, sua operação teve início em 1969 e, um ano e meio depois, a usina já fornecia ao sistema elétrico de FURNAS sua capacidade total: 216 MW. Apesar de uma potência instalada inferior às demais usinas da Empresa, a Usina de Funil é considerada de grande importância para o Sistema, por estar localizada próxima aos grandes centros consumidores, garantindo confiabilidade do suprimento de energia elétrica aos Estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Espírito Santo e adequando a tensão nessa região, onde estão instaladas grandes indústrias, como a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), em Volta Redonda. Outro aspecto que evidencia a importância desta usina é sua barragem, que possibilita a regularização do volume de sua vazante o que reduz a frequência e a intensidade das cheias que ocorrem nas cidades à jusante, que conforme mencionado anteriormente são de grande importância econômica. A

seguir são apresentadas as FIGURAS 7.12 a 7.14 que ilustram características do aproveitamento em questão.



FIGURA 7.12 – Detalhe Barragem da UHE Funil. (Fonte: GOOGLE. (2005) apud TerraMetrics (2007), MapLink/TeleAtlas (2007), Europa Technologies (2007) – “Google Earth V. 3.0.0693 (beta)”; Google Corporation, Inc.)



FIGURA 7.13 – Detalhe Reservatório da UHE Funil. (Fonte: GOOGLE. (2005) apud TerraMetrics (2007), MapLink/TeleAtlas (2007), Europa Technologies (2007) – “Google Earth V. 3.0.0693 (beta)”; Google Corporation, Inc.)



FIGURA 7.14 – Características hidráulico – operativas da UHE Funil (Fonte: ESRI ArcExplorer™ (1997). A GIS data explorer built with MapObjects™ technology. Disponível em: <http://www.esri.com/software/arcexplorer/index.html>; Environmental Systems Research Institute, Inc.)

Utilizando a metodologia apresentada no item 6.2, confeccionaram-se curvas de permanência apresentadas no anexo C deste trabalho, e utilizando a metodologia apresentada no capítulo 3 deste trabalho, obteve-se os seus respectivos indicadores de regime hidrológico e vazões características, apresentadas na TABELA 7.4:

TABELA 7.4 – Indicadores de Regime Hidrológico da UHE Funil

Usina	Vazões características [m³/s]			Indicadores de Regime Hidrológico [Ad.]				
	Tipo	Série Histórica Completa	Série Histórica de Projeto	Série Histórica de Operação	Indicador	Série Histórica Completa	Série Histórica de Projeto	Série Histórica de Operação
UHE Funil								
	Q5	499,20	524,10	465,95	P	2,19	2,24	2,09
	Q25	292,00	298,00	284,00	p	2,65	2,52	2,75
	Q50	187,00	187,50	185,00	M	5,80	5,64	5,75
	Q75	127,75	129,75	123,00	Qm/Q50	1,22	1,25	1,20
	Q95	86,00	92,95	81,00				
	Qm	228,12	234,45	222,59				

7.1.5 Usina Hidrelétrica de Furnas

A Usina Hidrelétrica de Furnas tem o privilégio de ostentar o nome da empresa pelo simples fato de ter sido a primeira usina a ser construída pela empresa, ela se localiza no estado de Minas Gerais entre os municípios de São José da Barra e São João Batista do Gloria, em um trecho do rio Grande conhecido como “Corredeiras das Furnas”.

Segundo dados de Furnas Centrais Elétricas, sua construção começou em julho de 1958, tendo, a primeira unidade, entrado em operação em setembro de 1963 e a sexta, última prevista em projeto, em julho de 1965. No início da década de 70, foi iniciada sua ampliação para a instalação das sétima e oitava unidades, totalizando 1.216 MW, o que colocou a obra entre uma das maiores da América Latina. A seguir são apresentadas as FIGURAS 7.15 a 7.17 que ilustram características do aproveitamento em questão.



FIGURA 7.15 – Detalhe Barragem da UHE Furnas. (Fonte: GOOGLE. (2005) apud TerraMetrics (2007), MapLink/TeleAtlas (2007), Europa Technologies (2007) – “Google Earth V. 3.0.0693 (beta)”, Google Corporation, Inc.)



FIGURA 7.16 – Detalhe Reservatório da UHE Furnas. (Fonte: GOOGLE. (2005) apud TerraMetrics (2007), MapLink/TeleAtlas (2007), Europa Technologies (2007) – “Google Earth V. 3.0.0693 (beta)”, Google Corporation, Inc.)

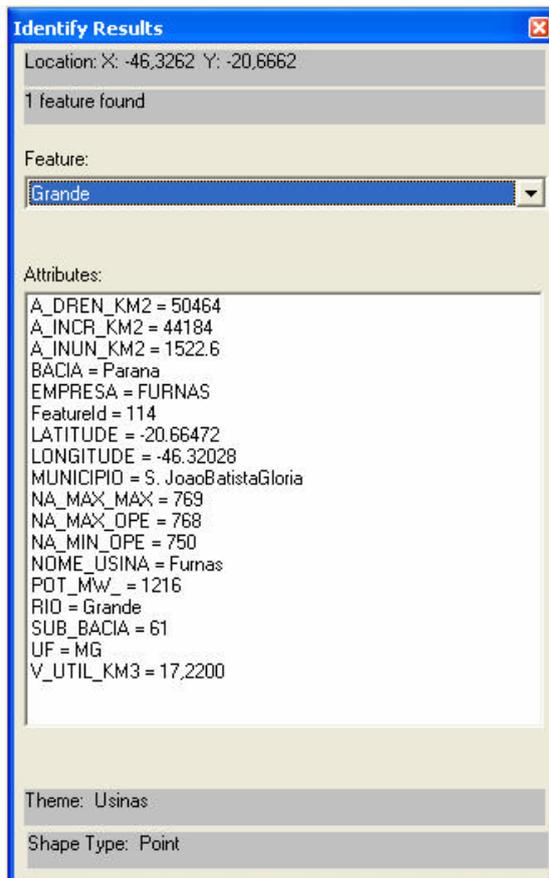


FIGURA 7.17 – Características hidráulico – operativas da UHE Furnas (Fonte: ESRI ArcExplorer™ (1997). A GIS data explorer built with MapObjects™ technology. Disponível em: <http://www.esri.com/software/arcexplorer/index.html>; Environmental Systems Research Institute, Inc.)

Utilizando a metodologia apresentada no item 6.2, confeccionaram-se curvas de permanência apresentadas no anexo C deste trabalho, e utilizando a metodologia apresentada no capítulo 3 deste trabalho, obteve-se os seus respectivos indicadores de regime hidrológico e vazões características, apresentadas na TABELA 7.5:

TABELA 7.5 – Indicadores de Regime Hidrológico da UHE Furnas

Usina	Vazões características [m³/s]			Indicadores de Regime Hidrológico [Ad.]				
	Tipo	Série Histórica Completa	Série Histórica de Projeto	Série Histórica de Operação	Indicador	Série Histórica Completa	Série Histórica de Projeto	Série Histórica de Operação
UHE Furnas								
	Q5	2168,25	1999,95	2328,50	P	2,34	2,26	2,44
	Q25	1240,25	1184,25	1298,75	p	3,00	2,86	2,89
	Q50	709,00	680,00	755,00	M	7,02	6,45	7,06
	Q75	477,75	467,75	487,00	Qm/Q50	1,31	1,30	1,26
	Q95	308,95	309,85	330,00				
Qm	926,68	885,37	954,22					

7.1.6 Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira

A usina hidrelétrica de Ilha Solteira se localiza entre os municípios de Ilha Solteira no estado de São Paulo e Selvíria no estado de Mato Grosso do Sul, no rio Paraná. A usina hidrelétrica pertence à companhia energética de São Paulo (CESP), teve o início das operações em 1978, ela possui vinte unidades geradoras com turbinas tipo Francis, e apresenta uma potência instalada de 3444Mw, a barragem tem comprimento total de 5605m e seu reservatório tem 1195 km² de extensão. A seguir são apresentadas as FIGURAS 7.18 a 7.20 que ilustram características do aproveitamento em questão.



FIGURA 7.18 – Detalhe Barragem da UHE Ilha Solteira. (Fonte: GOOGLE. (2005) apud TerraMetrics (2007), MapLink/TeleAtlas (2007), Europa Technologies (2007) – “Google Earth V. 3.0.0693 (beta)”, Google Corporation, Inc.)

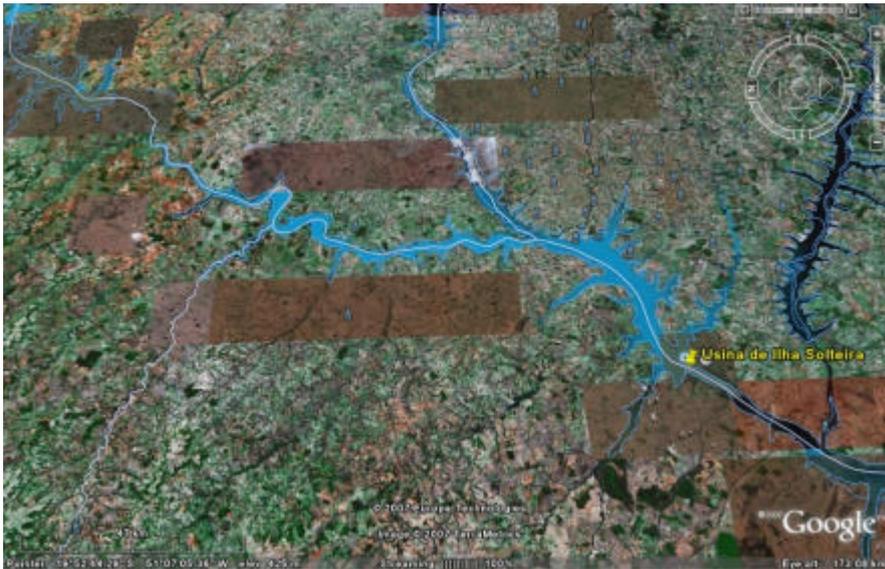


FIGURA 7.19 – Detalhe Reservatório da UHE Ilha Solteira. (Fonte: GOOGLE. (2005) apud TerraMetrics (2007), MapLink/TeleAtlas (2007), Europa Technologies (2007) – “Google Earth V. 3.0.0693 (beta)”, Google Corporation, Inc.)



FIGURA 7.20 – Características hidráulico – operativas da UHE Ilha Solteira (Fonte: ESRI ArcExplorer™ (1997). A GIS data explorer built with MapObjects™ technology. Disponível em: [http://www.esri.com/software/arcexplorer/index .html](http://www.esri.com/software/arcexplorer/index.html); Environmental Systems Research Institute, Inc.)

Utilizando a metodologia apresentada no item 6.2, confeccionaram-se curvas de permanência apresentadas no anexo C deste trabalho, e utilizando a metodologia apresentada no capítulo 3 deste trabalho, obteve-se os seus respectivos indicadores de regime hidrológico e vazões características, apresentadas na TABELA 7.6:

TABELA 7.6 – Indicadores de Regime Hidrológico da UHE Ilha Solteira

Usina	Vazões características [m³/s]			Indicadores de Regime Hidrológico [Ad.]				
	Tipo	Série Histórica Completa	Série Histórica de Projeto	Série Histórica de Operação	Indicador	Série Histórica Completa	Série Histórica de Projeto	Série Histórica de Operação
UHE Ilha Solteira								
	Q5	11388,70	10722,50	12287,55	P	2,16	2,16	2,11
	Q25	7056,25	6448,25	7937,50	p	2,54	2,53	2,53
	Q50	4172,00	3952,50	4672,00	M	5,49	5,47	5,35
	Q75	2914,00	2724,75	3187,00	Qm/Q50	1,26	1,26	1,25
	Q95	2073,95	1958,75	2295,45				
	Qm	5270,75	4963,11	5817,67				

7.1.7 Usina Hidrelétrica de Moxotó/Paulo Afonso IV

Segundo dados da CHESF – Companhia HidroElétrica do São Francisco, a Usina hidrelétrica de Moxotó, modificou seu nome para Apolônio Sales como uma homenagem ao idealizador da CHESF. Sua construção teve início na década de 70, como resposta ao aumento do consumo de energia elétrica no Nordeste e com o objetivo de garantir o abastecimento de recurso hídrico para os outros aproveitamentos da cascata do São Francisco localizados a jusante. Abrange 4 km à montante do barramento das usinas P.A. I, II e III, com um reservatório de 100 km², acumulando 1,2 bilhões de m³. Na casa de máquinas tem-se quatro unidades geradoras, acionadas por turbinas Koplán, totalizando uma potência de 440.00 kw.

A água que aciona as turbinas P.A I, II e III, passa primeiramente nas turbinas ou no vertedouro da Usina Apolônio Sales (Moxotó).

De acordo com a CHESF, a usina P.A IV está localizada no mesmo complexo da usina hidrelétrica de Moxotó, ela possui uma das maiores cavernas do mundo. Tem 210 m de extensão, 24 de largura, 55 m de altura e queda útil de 112m. Para sua construção foram escavados 83 milhões de m³ de rochas. Foram aproveitadas as condições topográficas locais sendo construídas nas margens do

Canyon do Rio São Francisco. Sua unidade geradora é de 410.000 kw de capacidade instalada com potencial total 2.460.000 kw. A seguir são apresentadas as FIGURAS 7.21 a 7.24 que ilustram características dos aproveitamentos em questão.



FIGURA 7.21 – Detalhe UHE Moxotó (Fonte: Otto Baumgart S.A. (2005), disponível em www.vedacit.com.br)



FIGURA 7.22– Detalhe UHE Paulo Afonso IV (Fonte: Ministério dos Transportes (2007), disponível em www.transportes.gov.br)



FIGURA 7.23 – Detalhe Reservatório da UHE Moxotó/Paulo Afonso IV. (Fonte: GOOGLE. (2005) apud TerraMetrics (2007), MapLink/TeleAtlas (2007), Europa Technologies (2007) – “Google Earth V. 3.0.0693 (beta)”, Google Corporation, Inc.)



FIGURA 7.24 – Características hidráulico – operativas da UHE Moxotó (Fonte: ESRI ArcExplorer™ (1997). A GIS data explorer built with MapObjects™ technology. Disponível em: [http://www.esri.com/software/arcexplorer/index .html](http://www.esri.com/software/arcexplorer/index.html); Environmental Systems Research Institute, Inc.)

Utilizando a metodologia apresentada no item 6.2, confeccionaram-se curvas de permanência apresentadas no anexo C deste trabalho, e utilizando a metodologia apresentada no capítulo 3 deste trabalho, obteve-se os seus respectivos indicadores de regime hidrológico e vazões características, apresentadas na TABELA 7.7:

TABELA 7.7 – Indicadores de Regime Hidrológico da UHE Moxotó/Paulo Afonso 4

Usina	Vazões características [m³/s]			Indicadores de Regime Hidrológico [Ad.]				
	Tipo	Série Histórica Completa	Série Histórica de Projeto	Série Histórica de Operação	Indicador	Série Histórica Completa	Série Histórica de Projeto	Série Histórica de Operação
UHE Moxotó/Paulo A.4								
	Q5	6728,95	6662,55	6880,15	P	2,41	2,36	2,50
	Q25	3992,00	4132,00	3716,75	p	3,29	3,21	3,50
	Q50	1972,00	1988,00	1950,50	M	7,92	7,58	8,75
	Q75	1260,00	1277,25	1197,75	Qm/Q50	1,42	1,42	1,41
	Q95	850,00	879,30	786,75				
Qm	2792,72	2826,14	2750,18					

7.1.8 Usina Hidrelétrica de Santa Branca

A barragem de Santa Branca foi construída em 1960 com o propósito de regularizar as vazões do rio Paraíba do sul. O reservatório de Santa Branca não tinha nenhuma função energética, porém tinha potencial gerador, quando a LIGHT resolveu investir trinta e cinco milhões de reais para transformar a Barragem em uma usina hidrelétrica não teve muitos problemas.

Usina Hidrelétrica de Santa Branca, inaugurada em junho de 1999, com potência instalada de 58 MW, localizada no rio Paraíba do Sul, no município de Santa Branca. A seguir são apresentadas as FIGURAS 7.25 a 7.28 que ilustram características do aproveitamento em questão.



FIGURA 7.25 – Detalhe Barragem da UHE Santa Branca. (Fonte: Light Energia, disponível em www.lightenergia.com.br)



FIGURA 7.26 – Parque Gerador Light Energia. (Fonte: Light Energia, disponível em www.lightenergia.com.br)



FIGURA 7.27 – Detalhe Reservatório da UHE Santa Branca. (Fonte: GOOGLE. (2005) apud TerraMetrics (2007), MapLink/TeleAtlas (2007), Europa Technologies (2007) – “Google Earth V. 3.0.0693 (beta)“, Google Corporation, Inc.)

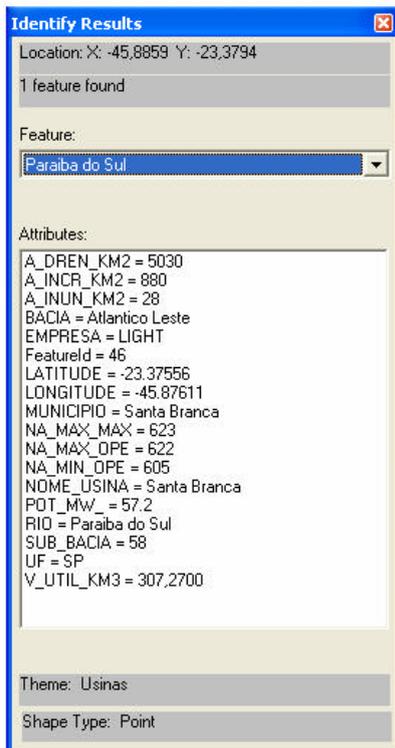


FIGURA 7.28 – Características hidráulico – operativas da UHE Santa Branca (Fonte: ESRI ArcExplorer™ (1997). A GIS data explorer built with MapObjects™ technology. Disponível em: [http://www.esri.com/software/arcexplorer/index .html](http://www.esri.com/software/arcexplorer/index.html); Environmental Systems Research Institute, Inc.)

Utilizando a metodologia apresentada no item 6.2, confeccionaram-se curvas de permanência apresentadas no anexo C deste trabalho, e utilizando a metodologia apresentada no capítulo 3 deste trabalho, obteve-se os seus respectivos indicadores de regime hidrológico e vazões características, apresentadas na TABELA 7.8:

TABELA 7.8 – Indicadores de Regime Hidrológico da UHE Santa Branca

Usina	Vazões características [m ³ /s]			Indicadores de Regime Hidrológico [Ad.]				
	Tipo	Série Histórica Completa	Série Histórica de Projeto	Série Histórica de Operação	Indicador	Série Histórica Completa	Série Histórica de Projeto	Série Histórica de Operação
UHE Santa Branca								
	Q5	160,00	160,65	158,45	P	2,00	2,08	1,95
	Q25	97,00	91,00	99,00	p	2,11	2,07	2,06
	Q50	69,00	67,00	70,00	M	4,21	4,30	4,01
	Q75	53,00	50,00	54,00	Qm/Q50	1,16	1,15	1,16
	Q95	38,00	37,35	39,55				
	Qm	80,13	77,32	81,45				

7.1.9 Usina Hidrelétrica de Sobradinho

A Usina Hidrelétrica de Sobradinho está localizado no rio São Francisco, no estado da Bahia, próximo das cidades de Juazeiro/BA e Petrolina/PE. A usina hidrelétrica tem uma potência instalada de 1.050.000 kW(1.050MW) e conta com 6 máquinas geradoras.

A Usina está posicionada no rio São Francisco a 748 km de sua foz, possuindo, além da função de geração de energia elétrica, a de principal fonte de regularização dos recursos hídricos da região juntamente com a usina de Três Marias.

O reservatório de Sobradinho tem cerca de 320 km de extensão, com uma área de 4.214 km² e uma capacidade de armazenamento de 34,1 bilhões de metros cúbicos em sua cota nominal de 392,50 m, constituindo-se no maior lago artificial do mundo, garantindo assim, através de uma depleção de até 12 m, juntamente com o reservatório de Três Marias/CEMIG, uma vazão regularizada de 2.060 m³/s nos períodos de estiagem, permitindo a operação de todas as usinas da CHESF situadas ao longo do Rio São Francisco. A seguir são apresentadas as FIGURAS 7.29 a 7.31 que ilustram características do aproveitamento em questão.



FIGURA 7.29 – Detalhe Barragem da UHE Sobradinho. (Fonte: GOOGLE. (2005) apud TerraMetrics (2007), MapLink/TeleAtlas (2007), Europa Technologies (2007) – “Google Earth V. 3.0.0693 (beta)”, Google Corporation, Inc.)



FIGURA 7.30 – Detalhe Reservatório da UHE Sobradinho. (Fonte: GOOGLE. (2005) apud TerraMetrics (2007), MapLink/TeleAtlas (2007), Europa Technologies (2007) – “Google Earth V. 3.0.0693 (beta)”, Google Corporation, Inc.)



FIGURA 7.31 – Características hidráulico – operativas da UHE Sobradinho (Fonte: ESRI ArcExplorer™ (1997). A GIS data explorer built with MapObjects™ technology. Disponível em: [http://www.esri.com/software/arcexplorer/index .html](http://www.esri.com/software/arcexplorer/index.html); Environmental Systems Research Institute, Inc.)

Utilizando a metodologia apresentada no item 6.2, confeccionaram-se curvas de permanência apresentadas no anexo C deste trabalho, e utilizando a metodologia apresentada no capítulo 3 deste trabalho, obteve-se os seus respectivos indicadores de regime hidrológico e vazões características, apresentadas na TABELA 7.9:

TABELA 7.9 – Indicadores de Regime Hidrológico da UHE Sobradinho

Usina	Vazões características [m³/s]			Indicadores de Regime Hidrológico [Ad.]				
	Tipo	Série Histórica Completa	Série Histórica de Projeto	Série Histórica de Operação	Indicador	Série Histórica Completa	Série Histórica de Projeto	Série Histórica de Operação
UHE Sobradinho								
	Q5	6334,75	6334,75	6023,65	P	2,26	2,31	2,51
	Q25	4036,00	4036,00	3031,75	p	3,12	3,05	2,72
	Q50	2078,00	2078,00	1745,50	M	7,06	7,06	6,81
	Q75	1316,75	1316,75	1227,00	Qm/Q50	1,35	1,32	1,38
	Q95	897,75	897,75	884,80				
Qm	2800,27	2739,94	2403,80					

7.1.10 Usina Hidrelétrica de Três Marias

Em 1952, a CEMIG - Centrais Elétricas de Minas Gerais S.A., inaugurou sua primeira grande usina - TRÊS MARIAS. A barragem, que tem 2.700 metros de comprimento e forma um dos maiores reservatórios do estado.

Localizada na parte central de Minas Geral, pertencente a MRH - 173, compreende os municípios de: Felixlândia, Morada Nova de Minas, Biquinhas, Paineiras e parcialmente Barreiro Grande. Tais municípios se situam ao redor da represa da hidrelétrica de Três Marias e tiveram parte de suas áreas inundadas. A seguir são apresentadas as FIGURAS 7.32 a 7.34 que ilustram características do aproveitamento em questão.



FIGURA 7.32 – Detalhe Barragem da UHE Três Marias. (Fonte: GOOGLE. (2005) aput TerraMetrics (2007), MapLink/TeleAtlas (2007), Europa Technologies (2007) – “Google Earth V. 3.0.0693 (beta)”, Google Corporation, Inc.)



FIGURA 7.33– Detalhe Reservatório da UHE Três Marias. (Fonte: GOOGLE. (2005) apud TerraMetrics (2007), MapLink/TeleAtlas (2007), Europa Technologies (2007) – “Google Earth V. 3.0.0693 (beta)”, Google Corporation, Inc.)



FIGURA 7.34 – Características hidráulico – operativas da UHE Três Marias (Fonte: ESRI ArcExplorer™ (1997). A GIS data explorer built with MapObjects™ technology. Disponível em: [http://www.esri.com/software/arcexplorer/index .html](http://www.esri.com/software/arcexplorer/index.html); Environmental Systems Research Institute, Inc.)

Utilizando a metodologia apresentada no item 6.2, confeccionaram-se curvas de permanência apresentadas no anexo C deste trabalho, e utilizando a metodologia apresentada no capítulo 3 deste trabalho, obteve-se os seus respectivos indicadores de regime hidrológico e vazões características, apresentadas na TABELA 7.10:

TABELA 7.10 – Indicadores de Regime Hidrológico da UHE Três Marias

Usina	Vazões características [m ³ /s]			Indicadores de Regime Hidrológico [Ad.]				
	Tipo	Série Histórica Completa	Série Histórica de Projeto	Série Histórica de Operação	Indicador	Série Histórica Completa	Série Histórica de Projeto	Série Histórica de Operação
UHE Três Marias								
	Q5	1849,20	1832,75	2037,75	P	2,69	2,64	2,98
	Q25	940,25	986,25	923,00	p	4,44	4,01	4,41
	Q50	453,50	469,50	453,50	M	11,93	10,61	13,15
	Q75	271,75	290,00	274,50	Qm/Q50	1,52	1,48	1,51
	Q95	154,95	172,75	155,00				
Qm	687,43	693,14	684,22					

7.2 Estudo de Caso parte 2: Resultados da Análise do Volume Útil de reservatórios como fator comprovador da eficiência hidrológica dos Aproveitamentos em operação

Os resultados que serão apresentados a seguir foram obtidos seguindo a metodologia apresentada no item 6.3 deste trabalho, levando em conta todas as considerações pertinentes à realização dos estudos e citadas anteriormente neste mesmo item.

Seguindo a metodologia apresentada no item 6.3.1 deste trabalho, determinou-se para os aproveitamentos em operação pertencentes ao SIN e analisados por este trabalho, os valores calculados dos seus volumes úteis, primeiramente utilizando as serie histórica de vazões completa apenas dividida entre “antes” para o período de projeto e “depois” para o período de operação apresentados na TABELA 7.11. Em um segundo momento determinou-se os valores dos volumes úteis dos aproveitamentos em operação pertencentes ao SIN, utilizando o método Rippl para uma dada vazão de consumo e o conceito de “trem de anos secos” conforme método apresentado no capítulo cinco deste trabalho e

segundo a metodologia apresentada no item 7.3.1 deste trabalho, e os respectivos resultados estão dispostos na TABELA 7.12.

De acordo com a metodologia apresentada no item 6.3.2 deste trabalho, foram calculados os valores dos volumes úteis para os aproveitamentos em operação pertencentes ao SIN, utilizando o método de Conti-Varlet apresentado no capítulo cinco deste trabalho, sempre seguindo conforme mencionado anteriormente a metodologia apresentada no item 6.3.2, os resultados obtidos estão dispostos na TABELA 6.13.

TABELA 7.11 – Valores calculados para o volume útil dos reservatórios em operação utilizando Rippl com regularização total

Usina Hidrelétrica (1)	Volume Total Real [m³] (2)	Volume Inerte Real [m³] (3)	Volume Útil Real [m³] (4)	Área Real do Res.(km²) (5)	Volume Útil Calculado Série Completa para o período de Projeto [m³] (6)	Volume Útil Calculado Série Completa para o período de Operação [m³] (7)	Diferenças (%) (8)
UHE Caconde	6,36E+08	9,60E+07	5,40E+08	31	2,67E+09	4,00E+09	50,11
UHE Camargos	NI	NI	6,72E+08	72	5,60E+09	9,70E+09	73,23
UHE Ilha Solteira	1,55E+10	1,00E+10	5,52E+09	1195	2,11E+11	3,32E+11	57,13
UHE Foz do Areia	8,30E+09	2,70E+09	5,60E+09	167	2,95E+10	4,63E+10	57,00
UHE Funil	8,90E+08	2,85E+08	6,05E+08	40	1,12E+10	1,07E+10	-5,30
UHE Furnas	2,30E+10	5,73E+09	1,72E+10	1440	5,34E+10	7,61E+10	42,50
UHE Moxotó/Paulo Afonso	1,20E+09	1,00E+09	2,00E+08	98	2,48E+11	2,90E+11	16,89
UHE Santa Branca	4,39E+08	1,31E+08	3,08E+08	27	3,40E+09	3,72E+09	9,58
UHE Sobradinho	3,41E+10	5,50E+09	2,86E+10	4214	2,34E+11	2,84E+11	21,24
UHE Três Marias	1,90E+10	3,72E+09	1,53E+10	1040	5,67E+10	7,42E+10	30,89

(1) – Usinas Hidrelétricas em Operação analisadas.

(2) – Volume total real do reservatório em operação analisado, de acordo com dados da concessionária que ele pertence.

(3) – Volume inerte (Morto) real do reservatório em operação analisado, de acordo com dados da concessionária que ele pertence.

(4) – Volume útil real do reservatório em operação analisado, de acordo com dados da concessionária que ele pertence.

(5) – Área real do espelho d'água formado pelo reservatório em operação analisado, de acordo com dados da concessionária que ele pertence.

(6) – Volume útil calculado para a serie histórica de projeto (antes da operação) e para regularização completa, seguindo metodologia do item 6.3.1.

(7) – Volume útil calculado para a serie histórica de operação (depois do inicio da operação) e para regularização completa, seguindo metodologia do item 6.3.1.

(8) – Diferenças calculadas relativas à comparação da coluna 7 ou 8 em relação à 6, seguindo metodologia do item 6.3.1.

TABELA 7.12– Valores calculados para o volume útil dos reservatórios em operação utilizando Rippl com TAS e Vazão de consumo

Usina Hidrelétrica (1)	Volume Total Real [m³] (2)	Volume Inerte Real [m³] (3)	Volume Útil Real [m³] (4)	Área Real do Res.(km²) (5)	Volume Útil Calculado TAS Projeto (6)	Volume Útil Calculado TAS Operação década 1980 [m³] (7)	Volume Útil Calculado TAS Operação 2001[m³] (8)	Diferenças (%) (9)
UHE Caconde	6,36E+08	9,60E+07	5,40E+08	31	4,44E+08	5,67E+08	5,32E+08	20
UHE Camargos	NI	NI	6,72E+08	72	1,15E+09	1,31E+09	1,31E+09	13
UHE Ilha Solteira	1,55E+10	1,00E+10	5,52E+09	1195	6,19E+10	7,24E+10	6,88E+10	11
UHE Foz do Areia	8,30E+09	2,70E+09	5,60E+09	167	5,63E+09	6,76E+09	7,22E+09	20
UHE Funil	8,90E+08	2,85E+08	6,05E+08	40	1,53E+09	1,80E+09	1,65E+09	8
UHE Furnas	2,30E+10	5,73E+09	1,72E+10	1440	9,63E+09	1,08E+10	1,02E+10	6
UHE Moxotó/Paulo Afonso IV	1,20E+09	1,00E+09	2,00E+08	98	2,67E+10	3,75E+10	2,74E+10	2
UHE Santa Branca	4,39E+08	1,31E+08	3,08E+08	27	6,66E+08	6,80E+08	7,14E+08	7
UHE Sobradinho (*)	3,41E+10	5,50E+09	2,86E+10	4214	2,97E+10	3,17E+10	3,10E+10	7
UHE Três Marias (*)	1,90E+10	3,72E+09	1,53E+10	1040	1,07E+10	1,19E+10	9,23E+09	11

(1) – Usinas Hidrelétricas em Operação analisadas.

(2) – Volume total real do reservatório em operação analisado, de acordo com dados da concessionária que ele pertence.

(3) – Volume inerte (Morto) real do reservatório em operação analisado, de acordo com dados da concessionária que ele pertence.

(4) – Volume útil real do reservatório em operação analisado, de acordo com dados da concessionária que ele pertence.

(5) – Área real do espelho d'água formado pelo reservatório em operação analisado, de acordo com dados da concessionária que ele pertence.

(6) – Volume útil calculado para o “trem de anos secos – TAS” de projeto (antes da operação), seguindo metodologia do item 6.3.1.

(7) – Volume útil calculado para o primeiro “trem de anos secos” observado no período de operação, seguindo metodologia do item 6.3.1.

(8) – Volume útil calculado para o segundo “trem de anos secos” observado no período de operação, seguindo metodologia do item 6.3.1.

(9) – Diferenças calculadas relativas à comparação da coluna 7 ou 8 em relação à 6, seguindo metodologia do item 6.3.1.

(*) – Únicas UHE onde o período mais crítico correspondeu ao “trem de anos secos” correspondente à coluna 7.

TABELA 7.13 – Valores calculados para o volume útil dos reservatórios em operação utilizando Conti-Varlet

Usina Hidrelétrica (1)	Volume Útil Calculado TAS Projeto (2)			Volume Útil Calculado TAS Operação década 1980 (3)			Volume Útil Calculado TAS Operação 2001 (4)			Diferenças (%) (5)
	Vumin (6)	Vumax (7)	Vureg (8)	Vumin	Vumax	Vureg	Vumin	Vumax	Vureg	
UHE Caconde	1,92E+06	5,38E+08	4,90E+08	1,14E+07	5,51E+08	5,20E+08	-2,77E+06	5,37E+08	5,01E+08	6,08
UHE Camargos	1,12E+06	6,73E+08	6,14E+08	3,00E+07	7,02E+08	6,41E+08	-1,94E+07	6,53E+08	5,81E+08	4,38
UHE Ilha Solteira	1,82E+09	7,34E+09	2,54E+09	8,03E+08	6,32E+09	2,33E+09	1,40E+09	6,92E+09	2,74E+09	7,76
UHE Foz do Areia	1,36E+08	5,74E+09	5,66E+09	-2,87E+08	5,81E+09	5,74E+09	-8,51E+07	5,51E+09	5,45E+09	1,41
UHE Funil	4,40E+07	6,49E+08	5,46E+08	-5,63E+07	5,49E+08	4,13E+08	5,40E+07	6,59E+08	5,62E+08	2,85
UHE Furnas	7,13E+08	1,79E+10	1,60E+10	4,05E+08	1,76E+10	1,59E+10	1,25E+08	1,73E+10	1,62E+10	1,43
UHE Moxotó/Paulo Afonso	1,44E+09	1,64E+09	8,65E+07	-4,69E+08	-2,69E+08	8,81E+07	7,34E+08	9,34E+08	7,95E+07	1,81
UHE Santa Branca	1,74E+07	3,25E+08	2,65E+08	2,40E+06	3,10E+08	2,61E+08	6,84E+06	3,15E+08	2,72E+08	2,59
UHE Sobradinho	1,33E+09	2,99E+10	2,54E+10	3,97E+05	2,86E+10	2,37E+10	4,80E+08	2,91E+10	2,62E+10	2,86
UHE Três Marias	4,16E+07	1,53E+10	1,41E+10	1,74E+08	1,55E+10	1,47E+10	1,71E+08	1,55E+10	1,44E+10	4,43

(1) – Usinas Hidrelétricas em Operação analisadas.

(2) – Volume útil calculado para o “trem de anos secos – TAS” de projeto (antes da operação), seguindo metodologia do item 6.3.2.

(3) – Volume útil calculado para o primeiro “trem de anos secos” observado no período de operação, seguindo metodologia do item 6.3.2.

(4) – Volume útil calculado para o segundo “trem de anos secos” observado no período de operação, seguindo metodologia do item 6.3.2.

(5) – Diferenças calculadas relativas à comparação da coluna 4 ou 3 em relação à 2 (dependendo de qual for a mais crítica, seguindo metodologia do item 6.3.2).

(6) – Volume útil mínimo calculado seguindo metodologia do item 6.3.2.

(7) – Volume útil máximo calculado, seguindo metodologia do item 6.3.2.

(8) – Volume útil necessário para a regularização otimizada, seguindo metodologia do item 6.3.2.

Ainda seguindo a metodologia apresentada no item 6.3.1 e utilizando conceitos metodológicos apresentados no capítulo cinco deste trabalho, foram determinados os períodos operacionais médios dos reservatórios pertencentes às usinas hidrelétricas analisadas. Estes valores são apresentados na TABELA 7.14.

TABELA 7.14 – Períodos de operação dos aproveitamentos analisados

Usina Hidrelétrica (1)	Período de operação para o TAS de projeto [anos] (2)	Período de operação para o TAS da década de 1980 [anos] (3)	Período de operação para o TAS de 2001[anos] (4)
UHE Caconde	3	2	2
UHE Camargos	3	2	2
UHE Ilha Solteira	3	2	2
UHE Foz do Areia	3	2	2
UHE Funil	2	2	2
UHE Furnas	4	2	3
UHE Moxotó/Paulo Afonso	4	2	3
UHE Santa Branca	4	2	3
UHE Sobradinho	4	2	NPD (*)
UHE Três Marias	4	3	2

(1) – Usinas Hidrelétricas em Operação analisadas.

(2) – Período de operação do reservatório analisado para o “trem de anos secos” de projeto (antes da construção).

(3) – Período de operação do reservatório analisado para o primeiro “trem de anos secos” de operação (depois da construção) observado.

(4) – Período de operação do reservatório analisado para o segundo “trem de anos secos” de operação (depois da construção) observado.

(*) – NPD: Não foi possível determinar em função dos valores muito críticos.

De acordo com a metodologia apresentada no item 6.3.3, a partir dos valores dos volumes úteis calculados foram determinados as cotas representativas aos novos volumes úteis e os resultados encontrados são apresentados na TABELA 7.15 a seguir.

TABELA 7.15 – Cotas do Nível d'água normal de operação dos aproveitamentos analisados

Usina Hidrelétrica (1)	Cota Volume Útil Real [m] (2)	Cota Volume Útil (RipII) [m] (3)	Cota Volume Útil (Conti) [m] (4)	Diferença Cota Volume Útil (RipII) [m] (5)	Diferença Cota Volume Útil (Conti) [m] (6)
UHE Caconde	852,98	855,08	853,67	2,09	0,69
UHE Camargos	912,18	913,81	912,71	1,64	0,54
UHE Ilha Solteira	519,77	521,39	520,92	1,61	1,15
UHE Foz do Areia	744,38	752,84	744,97	8,46	0,59
UHE Funil	458,61	460,07	459,18	1,46	0,57
UHE Furnas	766,75	767,19	766,85	0,44	0,10
UHE Moxotó/Paulo Afonso	250,08	250,11	250,10	0,03	0,02
UHE Santa Branca	622,78	624,02	623,22	1,25	0,45
UHE Sobradinho	391,19	391,47	391,31	0,28	0,12
UHE Três Marias	577,40	580,28	578,57	2,89	1,17

(1) – Usinas Hidrelétricas em Operação Analisadas.

(2) – Cota equivalente ao nível d'água normal de operação real segundo dados das concessionárias de energia a quem os aproveitamentos pertencem.

(3) – Cota equivalente ao nível d'água normal de operação obtida através da curva Cota X Área X Volume fornecida pelas concessionárias de energia a quem os aproveitamentos pertencem, para valores obtidos utilizando o método de Rippl seguindo metodologia apresentada no item 6.3.3.

(4) – Cota equivalente ao nível d'água normal de operação obtida através da curva Cota X Área X Volume fornecida pelas concessionárias de energia a quem os aproveitamentos pertencem, para valores obtidos utilizando o método de Conti-Varlet seguindo metodologia apresentada no item 6.3.3.

(5) – Diferença obtida entre a coluna 3 e a 2.

(6) – Diferença obtida entre a coluna 4 e a 2.

A partir da TABELA 7.15 apresentada anteriormente, foram calculados os valores das quedas líquidas dos aproveitamentos em operação analisados, seguindo a metodologia apresentada no item 6.3.3, e os respectivos resultados são apresentados na TABELA 9.16 que pode ser visualizada a seguir.

TABELA 7.16 – Quedas líquidas dos aproveitamentos analisados

Usina Hidrelétrica (1)	Queda líquida [m] (2)	Queda líquida (RipII) [m] (3)	Queda líquida (Conti) [m] (4)
UHE Caconde (*)	90,00	92,09	90,69
UHE Camargos	26,90	28,54	27,44
UHE Ilha Solteira	41,50	43,11	42,65
UHE Foz do Areia	120,00	128,46	120,59
UHE Funil	77,83	79,29	78,40
UHE Furnas (*)	86,00	86,44	86,10
UHE Moxotó/Paulo Afonso	21,00	21,03	21,02
UHE Santa Branca (*)	37,00	38,25	37,45
UHE Sobradinho	27,20	27,48	27,32
UHE Três Marias	56,90	59,79	58,07

- (1) – Usinas Hidrelétricas em operação analisadas.
 (2) – Queda líquida real dos aproveitamentos analisados, obtidos a partir de dados fornecidos pelas concessionárias de energia a quem os aproveitamentos pertencem.
 (3) – Queda líquida obtida a partir da composição de dados da coluna 2 com dados da coluna 5 da TABELA 7.15.
 (4) – Queda líquida obtida a partir da composição de dados da coluna 2 com dados da coluna 6 da TABELA 7.15.
 (*) – Aproveitamentos onde a queda líquida real foi obtida utilizando dados do SIPOT, por não ser possível o fornecimentos de dados pelas respectivas concessionárias de energia a quem os aproveitamentos pertencem.

Com os valores da queda líquida obtidos, foram calculados os valores de potência para os aproveitamentos analisados, seguindo a metodologia apresentada no item 7.3.3 deste trabalho, e os resultados podem ser visualizados na TABELA 7.17 apresentada a seguir.

TABELA 7.17– Potência calculada dos aproveitamentos analisados

Usina Hidrelétrica (1)	Potência Real [MW] (2)	Potência (RipII) [MW] (3)	Potência (Conti) [MW] (4)	Diferença Potência (RipII) [MW] (5)	Diferença Potência (Conti) [MW] (6)
UHE Caconde	80,40	82,27	81,01	1,87	0,61
UHE Camargos	46,00	48,80	46,92	2,80	0,92
UHE Ilha Solteira	3444,00	3577,98	3539,36	133,98	95,36
UHE Foz do Areia	1676,00	1794,14	1684,22	118,14	8,22
UHE Funil	222,00	226,17	223,63	4,17	1,63
UHE Furnas	1312,00	1318,66	1313,54	6,66	1,54
UHE Moxotó/Paulo Afonso	400,00	400,54	400,41	0,54	0,41
UHE Santa Branca	58,00	59,95	58,70	1,95	0,70
UHE Sobradinho	1050,30	1061,03	1054,89	10,73	4,59
UHE Três Marias	396,00	416,09	404,17	20,09	8,17

- (1) – Usinas Hidrelétricas em operação analisadas
 (2) – Potência real dos aproveitamentos analisados, dados fornecidos pelas concessionárias de energia a quem os aproveitamentos pertencem.
 (3) – Potência dos aproveitamentos obtidas a partir de dados da coluna 3 da TABELA 7.16, seguindo a metodologia apresentada no item 6.3.3.
 (4) – Potência dos aproveitamentos obtidas a partir de dados da coluna 4 da TABELA 7.16, seguindo a metodologia apresentada no item 6.3.3.
 (5) – Diferença de potência obtida da relação entre a coluna 3 e a 2.
 (6) – Diferença de potência obtida da relação entre a coluna 4 e a 2.

Conforme apresentado na metodologia contida no item 6.3.3, como a usina hidrelétrica analisada não possui uma geração de energia contínua, foi utilizado o

fator de capacidade média do setor elétrico brasileiro para determinar a potência média gerada, e os resultados são apresentados na TABELA 7.18 a seguir.

TABELA 7.18 – Potência média gerada pelos aproveitamentos analisados

Usina Hidrelétrica (1)	Potência Média Gerada (Real) [Mw] (2)	Potência Média Gerada (RipII) [Mw] (3)	Potência Média Gerada (Conti) [Mw] (4)
UHE Caconde	45,024	46,071	45,367
UHE Camargos	25,760	27,327	26,274
UHE Ilha Solteira	1928,640	2003,668	1982,041
UHE Foz do Areia	938,560	1004,720	943,162
UHE Funil	124,320	126,656	125,235
UHE Furnas	734,720	738,451	735,581
UHE Moxotó/Paulo Afonso	224,000	224,305	224,231
UHE Santa Branca	32,480	33,573	32,873
UHE Sobradinho	588,168	594,179	590,738
UHE Três Marias	221,760	233,013	226,335

(1) – Usinas Hidrelétricas em operação analisadas

(2) – Potência média real dos aproveitamentos analisados, dados da coluna 2 da TABELA 7.17 multiplicado pelo fator de capacidade do setor hidrelétrico brasileiro .

(3) – Potência dos aproveitamentos obtidas a partir de dados da coluna 3 da TABELA 7.17 multiplicado pelo fator de capacidade do setor hidrelétrico brasileiro.

(4) – Potência dos aproveitamentos obtidas a partir de dados da coluna 4 da TABELA 7.17 multiplicado pelo fator de capacidade do setor hidrelétrico brasileiro.

Com os dados da potência média gerada pelos aproveitamentos em operação analisados, calculou-se seguindo a metodologia apresentada no item 6.3.3 deste trabalho e utilizando para isso valores de energia obtidos do ultimo leilão de energia elétrica realizado em outubro de 2006, os valores relativos à influencia do comprometimento hidrológico do volume útil dos reservatórios analisados, e os resultados estão disponíveis na TABELA 7.19 apresentada a seguir.

TABELA 7.19– Valores monetários referentes à influência do comprometimento hidrológico do volume útil dos aproveitamentos analisados

Usina Hidrelétrica (1)	Receita Energia Média Gerada Mensal (Real) (2)	Receita Energia Média Gerada Mensal (Ripll) (3)	Receita Energia Média Gerada Mensal (Conti) (4)	Diferença Receita Mensal (Ripll) (5)	Diferença Receita Mensal (Conti) (6)	Diferença Receita Mensal (Ripll) [%] (7)	Diferença Receita Mensal (Conti) [%] (8)
UHE Caconde	R\$ 3.918.925	R\$ 4.010.078	R\$ 3.948.816	R\$ 91.153	R\$ 29.891	2,33	0,76
UHE Camargos	R\$ 2.242.171	R\$ 2.378.587	R\$ 2.286.897	R\$ 136.416	R\$ 44.726	6,08	1,99
UHE Ilha Solteira	R\$ 167.870.369	R\$ 174.400.897	R\$ 172.518.443	R\$ 6.530.528	R\$ 4.648.075	3,89	2,77
UHE Foz do Areia	R\$ 81.693.013	R\$ 87.451.594	R\$ 82.093.551	R\$ 5.758.581	R\$ 400.538	7,05	0,49
UHE Funil	R\$ 10.820.912	R\$ 11.024.259	R\$ 10.900.597	R\$ 203.346	R\$ 79.685	1,88	0,74
UHE Furnas	R\$ 63.950.617	R\$ 64.275.373	R\$ 64.025.598	R\$ 324.756	R\$ 74.981	0,51	0,12
UHE Moxotó/Paulo Afonso	R\$ 19.497.139	R\$ 19.523.697	R\$ 19.517.266	R\$ 26.558	R\$ 20.127	0,14	0,10
UHE Santa Branca	R\$ 2.827.085	R\$ 2.922.247	R\$ 2.861.293	R\$ 95.162	R\$ 34.207	3,37	1,21
UHE Sobradinho	R\$ 51.194.613	R\$ 51.717.781	R\$ 51.418.316	R\$ 523.168	R\$ 223.703	1,02	0,44
UHE Três Marias	R\$ 19.302.168	R\$ 20.281.628	R\$ 19.700.379	R\$ 979.460	R\$ 398.211	5,07	2,06

(1) – Usinas Hidrelétricas em operação analisadas.

(2) – Receita real obtida com a geração de energia média, obtida com base em dados da coluna 2 da TABELA 7.18, seguindo metodologia do item 6.3.3.

(3) – Receita obtida com a geração de energia média, obtida com base em dados da coluna 3 da TABELA 7.18, seguindo metodologia do item 6.3.3.

(4) – Receita obtida com a geração de energia média, obtida com base em dados da coluna 4 da TABELA 7.18, seguindo metodologia do item 6.3.3.

(5) – Diferença obtida entre a coluna 3 e a 2.

(6) – Diferença obtida entre a coluna 4 e a 2.

(7) – Diferença em porcentagem obtida entre a coluna 3 e a 2.

(8) – Diferença em porcentagem obtida entre a coluna 4 e a 2.

Com o intuito de garantir um melhor entendimento e aproveitamento dos resultados apresentados no item passado (7.1) e neste item (7.2), será realizada uma análise dos resultados apresentados no item apresentado a seguir (7.3).

7.3 Análises dos Resultados Obtidos

Conforme referido anteriormente, a análise dos indicadores de regime hidrológico dos cursos d'água tem como objetivo evidenciar as conseqüências da degradação ambiental da bacia.

Analisando-se os resultados obtidos para o **rio Pardo** (TABELA 7.1), na seção do rio que representa a vazão total afluente ao reservatório da **UHE Caconde**, pode-se constatar que este apresentou um aumento da vazão média na ordem de 7,2 % quando comparados os valores das vazões características calculadas para o período de projeto e de operação. O aumento também é verificado para as vazões específicas Q05, Q25, Q50 e Q75, que apresentaram índices de aumento na ordem de 0,72%, 11,28%, 7,89% e 7,69% respectivamente, sendo que somente a Q95 permaneceu inalterada. Em função desta variação das vazões, foi constatado uma diminuição do indicador de enchente (P), significando que o rio está menos suscetível a eventos de enchentes. Porém, para esta mesma seção, foi constatado um aumento do indicador de estiagem (p) na ordem de 7,2 %, sinalizando para um aumento na tendência do rio para eventos de estiagem. Foi verificado também um aumento no indicador de amplitude (m) em torno de 0,71%, significando um ligeiro aumento na amplitude de eventos enchente/estiagem.

Observando-se os resultados para o **rio Grande**, na seção que representa a vazão total afluente ao reservatório da **UHE Camargos**, constata-se que este rio apresentou um aumento da vazão média, para os períodos de projeto e operação, em torno de 13,78%. O aumento se verifica também para uma das vazões características calculadas, a Q50, que apresentou um aumento de 5,5%. As demais vazões características calculadas apresentaram diminuição ou mantiveram seus valores comparando os períodos distintos de análise. Analogamente ao **rio Pardo**, o **rio Grande** na seção analisada apresenta uma diminuição do indicador hidrológico de enchente (P) e um aumento no valor do indicador hidrológico de estiagem (p). Este aumento foi em torno de 23,85% e, como no caso anterior, significa que o rio está atualmente mais suscetível à ocorrência de eventos de

estiagem. Este aumento também foi verificado para o indicador de amplitude máxima (m), porém com um valor absoluto menor de 7,89%.

No caso dos resultados apresentados pelo **rio Iguaçu** na seção correspondente à afluência ao reservatório da **UHE Foz do Areia**, verificou-se um aumento do valor correspondente à vazão média, quando comparado os dois períodos distintos em análise, na ordem de 24,26%. Houve também aumento para as demais vazões características Q05, Q25, Q50, Q75 e Q95, sendo os mesmos da ordem de 7,10%, 7,39%, 4,91%, 7,34% e 6,59%, respectivamente. No que diz respeito aos IRH's, os resultados mais uma vez foram parecidos com os outros rios apresentados anteriormente, onde ocorreu uma diminuição do indicador hidrológico de enchente (P) e um aumento do indicador de estiagem (p) e amplitude (m). Os aumentos verificados foram de respectivamente de 16,58% e 0,48%.

Já os resultados observados para o **rio Paraíba do Sul** na seção representativa do total das vazões afluentes à **UHE Funil** ocorreu o contrário dos outros rios até agora analisados, ou seja, uma diminuição da vazão média. Esta diminuição também é verificada para todas as outras vazões características calculadas. Este fato pode ser explicado pelo fato do **rio Paraíba do Sul** apresentar desde muito cedo (década de 50/60) um controle de vazões com regularização a montante da seção analisada (**UHE Santa Branca**), correspondente ao total das vazões afluentes à **UHE Funil**, não desconsiderando o aumento das demandas hídricas a montante da seção analisada e nem a influência da ocupação antrópica na bacia hidrográfica. Nos resultados obtidos para os IRH's o comportamento do **rio Paraíba do Sul**, mesmo com a redução das vazões características, se manteve igual aos demais rios analisados, ou seja, redução do indicador de enchente (P) e o aumento dos indicadores de estiagem e amplitude, que foram de respectivamente 8,95% e 2,02%. Os indicadores de regime hidrológicos para o **rio Paraíba do sul** na seção correspondente ao total das vazões afluentes ao Aproveitamento de **Funil** deveriam teoricamente não apresentar aumentos, como os apresentados para os indicadores de estiagem e amplitude, devido ao fato deste reservatório se apresentar regularizado pela **UHE Santa Branca**. A grande distância existente entre os dois aproveitamentos pode ter influído no resultado esperado.

Para se realizar as análises relativas aos resultados obtidos para o reservatório da **UHE Furnas**, tem-se que lembrar que este reservatório apresenta algumas características próprias relevantes. Destas características, as mais importantes para o tipo de estudo que este trabalho se propõe a realizar, são o fato

deste reservatório ser abastecido por mais de um rio importante (**rio Grande, rio Sapucaí e rio Verde**) e o fato deste reservatório sofrer regularização parcial por parte do reservatório da **UHE Camargos**. Feitas as devidas considerações, pode-se constatar analisando os resultados apresentados para o reservatório da **UHE Furnas**, que este apresentou um aumento da vazão média da ordem de 7,77% e ocorreram também aumentos para todas as outras vazões características calculadas, sendo de 16,43% para o Q05; 9,66% para o Q25; 11,03% para o Q50; 4,12% para o Q75; e 6,50% para o Q95. Para os resultados dos indicadores de regime hidrológico, o comportamento de **Furnas** se apresentou distinto dos demais analisados até agora. Ele apresentou aumento em todos os IRH's, significando que a região em que o reservatório se insere está mais sucessível às enchentes e estiagens. Os aumentos foram de 8,03% para o indicador de enchente (P), 1,20% para o indicador de estiagem (p) e 9,32% para o de amplitude (m).

Analisando os resultados obtidos para o **rio Paraná** na seção correspondente ao total das vazões afluentes ao Aproveitamento de **Ilha Solteira**, pode-se constatar que o rio apresentou um aumento da vazão média, comparando os dois períodos distintos analisados, da ordem de 17, 22%. Foram constatados também aumentos em todos os valores calculados das vazões características, sendo eles de 14,60% para o Q05; 23,09% para o Q25; 18,20% para o Q50; 16,96% para o Q75; e 17,19% para o Q95. Para os resultados dos IRH's o rio não apresentou nenhum aumento, fato que pode ser explicado pelo fato deste trecho do rio sofrer regularização de vazões por aproveitamentos localizados a montante da **UHE Ilha Solteira**. Este fato já era esperado, sendo confirmado com os resultados do **rio Paraná** na seção analisada.

Para a realização das análises relativas ao **rio São Francisco** na seção correspondente ao total das vazões afluentes à **UHE Moxotó/Paulo Afonso IV**, como realizado com **Furnas**, devem ser feitas algumas considerações. Os aproveitamentos de **Moxotó e de Paulo Afonso IV**, quando analisados separadamente, podem ser considerados Aproveitamentos a fio d'água. Isto que dizer que eles não dispõem de reservatórios para regularizar as vazões. Porém, se for analisado **Moxotó/Paulo Afonso IV** como um complexo, é visível a formação do reservatório que possui volume de armazenamento considerável. Analisando os resultados obtidos, pode-se constatar para o **rio São Francisco** na seção analisada que este apresenta uma redução da vazão média, quando comparado os dois períodos distintos de análise, da ordem de 2,69%. O rio também apresentou

reduções na maioria das vazões características calculadas: 10,05% para o Q25; 1,89% para o Q50; 6,22% para o Q75; e 10,52% para o Q95. Somente para o Q05, representado pela vazão de enchente, o rio apresentou um aumento na ordem de 3,27%. Para os resultados obtidos dos IRH's, o rio apresenta aumento dos três indicadores sendo de 6,12% para o indicador de enchente (P), 8,76% para o indicador de estiagem e de 15,41% para o de amplitude. A variação apresentada pelas vazões características juntamente com os valores dos IRH's, comprovam o comprometimento hidrológico do rio evidenciado pelo aumento da ocorrência de enchentes e estiagens. O fato do reservatório em análise sofrer regularização de reservatórios a montante (**UHE Três Marias e Sobradinho**) pode vir a influenciar nos valores obtidos para os indicadores, tendendo a reduzir os valores calculados. Porém, como no caso da **UHE Funil** a distancia pode ser um fator determinante do grau desta influência.

O rio **Paraíba do Sul** já foi analisado para o trecho correspondente à vazão total afluente ao Aproveitamento de **Funil**. Na análise foi comentado que o trecho de **Funil** sofre regularização da **UHE Santa Branca**. A seção do rio **Paraíba do Sul** correspondente ao total das vazões afluentes da **UHE Santa Branca** é o trecho a ser agora analisado. Este trecho fluvial sofre também influência direta da regularização Aproveitamento de **Paraibuna**. Analisando-se os resultados obtidos para o rio **Paraíba do Sul**, constatou-se que o rio apresenta um aumento da vazão média da ordem de 5,34%, sendo este aumento também para as outras vazões características 8,79% para o Q25; 4,48% para o Q50; 8,00% para o Q75; e 5,89% para o Q95. A vazão de cheia Q5 apresentou redução de 1,37%. Quanto aos valores obtidos para os IRH's, conforme era esperado, em função da regularização e da curta distância entre os Aproveitamentos de **Paraibuna** e **Santa Branca**, houve a redução de todos os IRH's, enfatizando o efeito regularizador dos Aproveitamentos em "cascata".

O reservatório da **UHE Sobradinho** é o segundo da "cascata" do rio **São Francisco** a realizar a regularização das vazões para os Aproveitamentos a jusante. O primeiro é o reservatório de **Três Marias** que também realiza a regularização. Porém a distância entre os dois aproveitamentos pode ser considerada grande, sendo a influência da regularização minimizada. Analisando-se os resultados obtidos para o rio **São Francisco** na seção equivalente à vazão total afluente ao reservatório da **UHE Sobradinho**, pode-se constatar que o rio apresenta uma redução do valor da vazão média da ordem de 12,27%. Esta

redução também se comprova para todas as outras vazões características analisadas: 4,91% para o Q05; 24,88% para o Q25; 16,00% para o Q50; 6,82% para o Q75; e 1,44% para o Q95. Quanto aos IRH's, o comportamento do **rio São Francisco** na seção analisada é o oposto dos outros rios, apresentando um aumento de 8,39% para o indicador de enchente (P) e apresentando redução para os indicadores de estiagem e de amplitude, entendendo-se assim que o rio está mais suscetível à ocorrência de eventos de enchentes.

O aproveitamento hidrelétrico de **Três Marias** é o primeiro aproveitamento da “cascata” do **rio São Francisco**, sendo por isso considerado “isolado”. Analisando-se os resultados obtidos para a seção do **rio São Francisco** correspondente à vazão total afluente ao reservatório de **Três Marias** pode-se verificar que o rio apresenta, da mesma forma que na seção da **UHE Sobradinho** e da **UHE Moxotó/Paulo Afonso IV**, uma redução do valor da vazão média quando comparados os períodos distintos de análise. A redução da vazão média pode ser quantificada como sendo da ordem de 1,29%, e esta redução também se verifica para várias das vazões características analisadas, que apresentaram reduções de: 6,41% para o Q25; 3,41% para o Q50; 5,34% para o Q75; e 10,37% para o Q95. Apenas para a Q05 que o rio apresenta um aumento de 11,19%. Para os resultados relativos aos indicadores de regime hidrológico, o rio apresenta aumento para todos os indicadores, sendo de 12,64% para o indicador de enchente (P), 10,02% para o indicador de estiagem (p) e de 23,92% para o indicador de amplitude (m). Estes aumentos significam que o rio na seção analisada está muito comprometido do ponto de vista ambiental, com chances às ocorrências de enchentes e estiagens.

O cálculo do comprometimento hidrológico do volume útil dos reservatórios dos aproveitamentos em operação objetivava basicamente duas metas, a primeira consistia em quantificar o volume relativo a este comprometimento para os aproveitamentos analisados e a segunda era quantificar também, mas em aspectos monetários o que representaria para a geração energética o comprometimento hidrológico do volume útil dos reservatórios em operação.

A primeira análise do comprometimento hidrológico do volume útil dos Aproveitamentos consistia em calcular utilizando o método de Rippl para a máxima regularização (vazão média) e as séries históricas de vazões completas apenas divididas entre dois períodos definidos o de projeto (antes da construção) e o de operação (depois da construção). Como pode-se observar na TABELA 7.11, os resultados calculados são muito elevados, porém esta análise não tinha o intuito de

adquirir valores compatíveis com o projeto original, o objetivo foi o de realizar uma análise do ponto de vista “ambiental”. Os resultados desta primeira análise demonstram que os valores calculados para os volumes úteis de operação (séries hidrológicas atuais) teriam que ser muito maiores que os calculados para o período de projeto (séries hidrológicas anteriores). Isto significa que as flutuações entre cheias e estiagens estão maiores para as condições atuais (período de operação). No caso do aproveitamento de Funil no rio Paraíba do Sul o valor negativo encontrado pode ser explicado pelo fato do rio já ter desde a década de cinquenta um controle de vazões, e quando é analisada a série histórica completa com mais de trinta anos de dados a influência deste controle de vazões é maximizada chegando a obter os resultados apresentados na Tabela 7.11.

A segunda análise do comprometimento hidrológico do volume útil dos aproveitamentos em operação foi realizada utilizando critérios de projeto, baseando-se em uma curva de consumo calculada. Realizou-se a correção da evaporação do reservatório, e as vazões foram obtidas a partir de “trens de anos secos – TAS”, uma seqüência de TAS para o período de projeto (antes da construção) e duas seqüências de TAS para o período de operação (dados hidrológicos atuais). Analisando os resultados apresentados na Tabela 7.12, pode-se constatar que foi comprovado o comprometimento hidrológico do volume útil para todos os aproveitamentos hidrelétricos.

A terceira análise baseou-se na metodologia apresentada no item 6.2.3. Para a realização desta análise utilizou-se os mesmos TAS utilizados na análise anterior. Porém, como volume útil de entrada inicial exigido pelo programa “CONTI”, utilizado na análise, foi o volume útil real do Aproveitamento, os valores calculados por este método se apresentaram muito próximos dos valores dos volumes úteis reais dos Aproveitamentos. Esta metodologia, ao contrário da metodologia utilizada na análise anterior (Rippl), não considera aumento do consumo de recurso hídrico nem variações de evaporação com o tempo, o que explica também o porquê das diferenças obtidas pela metodologia utilizada na análise anterior serem mais críticas do que as obtidas nesta análise em questão. Em função das características e conceitos utilizados na metodologia, pode-se constatar que os resultados obtidos e apresentados na tabela 3 representam apenas uma parcela do comprometimento hidrológico do volume útil dos reservatórios em operação, pois a análise é restrita às variações e diferenças verificadas nos dados de vazões. Observando os resultados obtidos desta análise, conforme tabela 7.13, pode-se constatar que foi

verificado, para todos os aproveitamentos analisados, o comprometimento hidrológico do volume útil. Este resultado confirma os resultados obtidos nas análises anteriores e reafirma a questão do comprometimento hidrológico do volume útil dos reservatórios analisados.

Analisando os resultados dos valores energéticos-financeiros relativos ao comprometimento hidrológico dos dez reservatórios, pode-se constatar que estes montantes representam altos valores, chegando a valores extremos de até 7% da receita total da geração de energia elétrica para o caso da UHE Foz do Areia (por Rippl) e a 2,77% da geração elétrica para o caso da UHE Ilha Solteira (para Conti-Varlet). E estes valores em termos de “cascata” de Aproveitamentos de geração hidrelétrica em um mesmo corpo hídrico e por conseqüência em uma mesma bacia hidrográfica, estes valores calculados se somam, tornando-se ainda mais significativo no panorama energético econômico.

Após a análise criteriosa e completa dos resultados obtidos no decorrer deste trabalho, pode-se chegar a várias conclusões e recomendações visando a resolução ou ainda a minimização do problema demonstrado. Estas conclusões e recomendações serão abordadas no item a seguir deste trabalho.

V – CONCLUSÕES E BIBLIOGRAFIA

8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Ao longo da sua história, a humanidade tem selecionado os sistemas energéticos em função de dois parâmetros fundamentais: a viabilidade técnica e a viabilidade econômica. Segundo MARQUES, M.; (2001), apenas na última década se contemplou progressivamente um novo parâmetro que tem condicionado a aceitação ou recusa dos sistemas energéticos: os impactos ambientais causados pelo empreendimento. De fato, o modelo energético que tem predominado tem-se revelado insustentável. Esta insustentabilidade compromete, cada vez mais em curto prazo, os equilíbrios ecológicos e climáticos e, conseqüentemente, o desenvolvimento econômico e o bem-estar social. As tendências atuais no consumo de energia não são nada animadoras: desde a primeira crise energética, os consumos de petróleo e de eletricidade, a nível mundial, triplicaram e duplicaram, respectivamente e essa tendência pode ser aplicada para o Brasil. Soluções e interpretações para entender e atender esta demanda tornam-se cada vez mais necessárias.

O Brasil é um país em desenvolvimento e apesar de nos últimos anos registrar níveis de crescimento relativamente baixos em comparação aos demais países na mesma situação, estima-se que sua economia deverá em um curto espaço de tempo apresentar níveis consideráveis de crescimento, devido a mudanças de políticas públicas e lançamentos de planos governamentais de aceleração econômica. Mas para isso, o crescimento da capacidade de geração de energia elétrica terá de ser compatível ao crescimento econômico. Porém, ao contrário do que deveria acontecer, o crescimento da geração de energia não está acompanhando o crescimento atual, aumentando os riscos de acontecer outra crise de desabastecimento de energia. A grande dependência de energia proveniente de usinas hidrelétricas, e com isso das características ambientais, coloca o Brasil em uma situação não muito agradável, sem muito controle da situação. Neste sentido, torna-se interessante o desenvolvimento de estudos que analisem a influência da variação destas características ambientais na geração de energia.

Após analisar os resultados e comportamentos apresentados pelas metodologias aplicadas neste trabalho, respeitando as análises e considerações realizadas nos itens 6.2, 6.3 e 7.3, chegou-se a uma série de conclusões.

A metodologia apresentada para o cálculo dos indicadores de regime hidrológico se comprovou para os aproveitamentos “isolados”, apresentando possíveis pequenas variações para aproveitamentos que sofrem regularização parcial, não se comprovando para aproveitamentos que sofrem regularização, pois a regularização das vazões que chegam à seção analisada “mascaram” a análise sendo que os valores obtidos para estes casos não podem ser considerados verídicos. Em relação a esta metodologia conclui-se que ela evidenciou dois pontos, para os aproveitamentos localizados a nordeste ocorreram diminuição da média de vazões e maior propensão à ocorrência de enchentes, e já para os aproveitamentos do sul e sudeste ocorreu um aumento no valor da vazão média e aumento na ocorrência de eventos de estiagens. Não se pode esquecer que os indicadores são calculados em função basicamente da vazão média, pois ela é o numerador em um caso e o denominador em outro caso, e por esse motivo variações muito grandes do valor da vazão média, para mais ou para menos na comparação entre períodos históricos distintos, pode vir a amortecer a representatividade do indicador.

A primeira análise do volume útil realizada utilizando o método do diagrama de Rippl, conforme citado anteriormente, teve o intuito apenas de comprovar o aumento das flutuações hidrológicas na comparação entre dois períodos históricos distintos, sendo os valores encontrados impraticáveis em projetos convencionais. No cálculo do volume útil utilizando o método do diagrama de Rippl para uma determinada vazão de consumo, foi verificado uma diminuição nos períodos de operação plurianuais (anos, hidrológicos ou civis) dos reservatórios calculados quando comparados aos períodos de projeto (antes da construção) e operação (depois da construção), ou seja, os reservatórios estão enchendo e esvaziando mais rapidamente.

A análise do comprometimento hidrológico do volume útil dos dez reservatórios em operação (situados em diferentes regiões do Brasil) comprovou a existência deste comprometimento para as duas metodologias de análise (Rippl e Conti-Valet), respeitando as diferenças metodológicas inerentes a cada uma. Ao se comparar os resultados obtidos utilizando o método do diagrama de Rippl para uma determinada vazão de consumo e a metodologia de Conti-Valet, pode-se concluir que os valores obtidos pelo diagrama de Rippl são mais críticos, pois este método leva em consideração fatores adicionais relevantes como, variações de consumo na região de influência do reservatório e correções de evaporação. A metodologia de

Conti-Varlet utilizada neste trabalho apenas utilizou para as suas análises as séries históricas de vazão e um volume útil inicial, no caso o volume útil real.

A análise dos valores monetários relativos a influência da degradação hidrológica-ambiental dos reservatórios pode ser considerado para alguns Aproveitamentos irrelevantes. Porém, não se pode esquecer que este trabalho não utilizou em suas interpretações a consideração do possível aumento da concentração de sedimentos em reservatórios e por conseqüência a possibilidade do comprometimento do volume útil destes reservatórios. Outro ponto que também pode ser avaliado é o fato de se somar a esta “perda” de energia a influência da utilização do Volume de Espera para controle de cheias em vários reservatórios pertencentes ao SIN, juntamente com as perdas devido a utilização da Curva de Aversão ao Risco para garantir a recuperação dos níveis operacionais dos reservatórios. Desta forma, os valores finais relativos as perdas no sistema de geração de energia serão maiores e bem mais significativas para o Setor que, conforme citado anteriormente, necessita de aumento na produção, vislumbrando uma possível futura crise energética no país.

Mesmo com a evolução das tecnologias de geração elétrica a partir de energia térmica introduzidas no mercado interno após a crise energética de 2001, não se pode dar total prioridade para uma atividade geradora que, além de apresentar um custo mais elevado de operação, é ainda mais impactante ao meio ambiente. Para se recuperar a capacidade de geração perdida e ainda suprir o aumento crescente da demanda, tem-se de investir em empreendimentos de curto, médio e longo prazo. Não se pode apenas investir em empreendimentos com resposta rápida (no caso das termelétricas), pois a degradação do sistema energético antigo (Hidrelétrico) vai continuar com tendência a se agravar nos períodos hidrológicos críticos. Portanto, toda uma capacidade instalada pode não significar muito se não houver um trabalho analisando o setor de geração hidrelétrico atual, priorizando o atendimento e recuperação das reservas hídricas degradadas dos reservatórios em operação.

Quaisquer investimentos na recuperação das reservas hídricas degradadas dos reservatórios mais antigos em operação podem ser totalmente justificados quando analisados sob dois aspectos: um primeiro e incontestável é o aumento da qualidade ambiental da região sob influência do empreendimento; o segundo aspecto surge quando analisamos os valores monetários relativos à influência da degradação hidrológica-ambiental dos reservatórios em operação, pois pode-se

concluir que a recuperação das reservas hídricas é economicamente viável, sendo possível obter considerável compensação financeira (baseada nos valores monetários calculados) a médio prazo (estimado em 5 anos), com recuperação das disponibilidades hídricas da bacia degradada. Vale a pena frisar que a recuperação ambiental da bacia hidrográfica implica na redução das flutuações hidrológicas e com isso na diminuição da probabilidade de ocorrência de eventos críticos de cheias e estiagem na bacia hidrográfica em questão. Com isso, a utilização da alocação dos Volumes de Espera e da curva de aversão ao risco para garantir a recuperação de reservatórios irão se tornar cada vez menos frequentes, maximizando ainda mais a geração de energia pelos Aproveitamentos pertencentes ao SIN e operados pelo ONS.

9 Bibliografia

- ? Agência Nacional de Águas (ANA). (1997) – “HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas”, disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br>.
- ? Agência Nacional de Águas – ANA (2007); GEO Brasil Série Temática: GEO Brasil Recursos Hídricos, Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente; Brasília.
- ? Agência Nacional de Águas – ANA (2002); A Evolução da Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil; Brasília, DF, Brasil.
- ? Agência Nacional de Águas – ANA (2006); Plano Nacional de Recursos Hídricos – Panorama e Estado dos Recursos Hídricos do Brasil; Brasília, DF, Brasil.
- ? Agência Nacional de Águas – ANA (2006); A Água no Brasil e no Mundo; Brasília, DF, Brasil.
- ? Agência Nacional de Águas – ANA (2006); Divisão Hidrográfica Brasileira, nível 1; Brasília, DF, Brasil.
- ? Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2005), “Atlas da Energia Elétrica do Brasil”, Disponível em: <http://www.eletrobras.gov.br/>
- ? Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2007), Matriz de Energia Elétrica Brasileira – Banco de Informações de Geração, disponível em <http://www.aneel.gov.br>.
- ? ARTEIRO, F.; (2006), “Influência dos Aspectos Socioambientais e de Usos Múltiplos da Água na Operação de Usina Hidrelétricas e Reflexos nas Comunidades Envolvidas”, texto apresentado no workshop: “Influência dos Aspectos Socioambientais” na Operação do Sistema Interligado Nacional, Brasília – 2006.
- ? BRANDÃO, J. L.B.; (2004); “Modelo para Operação de Sistemas de Reservatórios de Usos Múltiplos”; Tese de D.Sc.; Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; São Paulo; SP; Brasil
- ? CARVALHO, N. O. , et al. ; (2000) “Guia de Avaliação de Assoreamento em Reservatórios”; 1ª edição; Brasília / DF; Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL; Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas.
- ? CARVALHO, N. O. ; (1995) “Hidrossedimentologia” Prática; 1A edição; Rio de Janeiro; RJ; CPRM – ELETROBRÁS;

- ? CASTILHO, L. (2005); “Metodologia de Auto Depuração dos cursos d’água como Ferramenta para Enquadramento no Lançamento de Efluentes”. Trabalho de Diploma; IRN/UNIFEI; Itajubá; MG.
- ? CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS (Eletrobrás). (jul/2005). Potencial Hidrelétrico Brasileiro (SIPOT – Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro). Disponível em <http://www.eletobras.gov.br>.
- ? CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS (Eletrobrás). (1997). Potencial Hidrelétrico Brasileiro (SIPOT – Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro).
- ? Centro de Excelência em Recursos Naturais e Energia – CERNE UNIFEI (2005); “Comparação sócio-econômica das cidades no entorno do Reservatório de Furnas- 2001 e 2003” Apresentação UNIFEI, Itajubá, MG. Brasil.
- ? ELETROBRÁS. (1995) – “Manual de Inventário Elétrico de Bacias Hidrográficas”, disponível em: http://www.eletobras.gov.br/EM_Atuario_Manuais/default.asp.
- ? ELETROBRÁS. (1995). Manual de Inventário Elétrico de Bacias Hidrográficas. Disponível em: http://www.eletobras.gov.br/EM_At.asp.
- ? ESRI ArcExplorer™ (1997). A GIS data explorer built with MapObjects™ technology. Disponível em: <http://www.esri.com/software/arcexplorer/index.html>; Environmental Systems Research Institute, Inc.
- ? FIESP/CIESP (2004); Conservação e Reuso de Água: Manual de Orientações para o Setor Industrial, volume 1.
- ? GOOGLE. (2005) aput TerraMetrics (2007), MapLink/TeleAtlas (2007), Europa Technologies (2007) – “Google Earth V. 3.0.0693 (beta)”, Google Corporation, Inc.
- ? Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); (2006), Estatísticas do Século XX – Estatísticas Econômicas; disponível em <http://www.ibge.gov.br>.
- ? Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); (2006), Portal Cidades; disponível em <http://www.ibge.gov.br>.
- ? IPCC Fourth Assessment Report (2007); Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Apresentação Grupo de trabalho I, Nairobi 6 de Fevereiro.
- ? ITABORAHY, C.F.;.....[et al.], (2004); Agricultura irrigada e o uso racional da água”, Agencia Nacional de Águas – ANA, Superintendência de Conservação de Água e Solo, Brasília, DF, Brasil.

- ? LANNA, A. E.; (2001), “Economia dos Recursos Hídricos”; Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental IPH/UFRGS, Texto de referência da disciplina HIDP-04 – Economia dos Recursos Hídricos. Rio Grande do Sul.
- ? LORA, ELECTO E. S. (2002) “Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energético, Industrial e de Transporte”. Interciência .2ª edição, Rio de Janeiro:RJ.
- ? MALTA, V. F.; (2006); “A Busca de uma Solução de Compromisso em Problemas de Conflitos em Recursos Hídricos Utilizando um Modelo de Análise de Conflitos - MACPROL”; Tese de D.Sc.; COPPE / UFRJ; Rio de Janeiro; RJ; Brasil.
- ? MARQUES, M.; HADDAD, J.; MARTINS, A. R. S.; (2001). “Conservação de Energia: Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos”.2ª ed. Itajubá, MG.
- ? MINGACHO, P. C; PORTELA, M. M; PINHEIRO, M. D. Tipologia dos Impactes Ambientais Associados às fontes de Energias Renováveis. IST.
- ? Ministério de Minas e Energia – MME, (2006), “Apresentação PROINFRA resultados e estágios de desenvolvimento”, Brasília.
- ? NETTO, T. B. O. ; (1983); “Manejo Hídrico em Bacias Hidrográficas”. Tese para Professor Titular; Escola de Engenharia da UFRJ; Rio de Janeiro; RJ; Brasil
- ? NUNES, R. T. S.; (2006); “Conservação da Água em Edifícios Comerciais: Potencial de Uso Racional e Reuso em Shopping Center”; Tese de M.Sc.; COPPE / UFRJ; Rio de Janeiro; RJ; Brasil
- ? Operador Nacional do Sistema (ONS); (2006), Inventário das Restrições Operativas Hidráulicas dos Aproveitamentos Hidrelétricos, Rio de Janeiro – RJ; disponível em <http://www.ons.org.br>.
- ? Operador Nacional do Sistema (ONS); (2002), Diretrizes e Critérios para Estudos Energéticos – submódulo 23.4, Rio de Janeiro – RJ; disponível em <http://www.ons.org.br>.
- ? Operador Nacional do Sistema (ONS); (2004), Evaporações Líquidas em Usinas Hidrelétricas – RE 3/214/2004, Rio de Janeiro – RJ, Brasil; disponível em <http://www.ons.org.br>.
- ? Operador Nacional do Sistema (ONS); (2006), Plano Anual de Previsão de Cheias Ciclo 2006/2007; Rio de Janeiro – RJ, Brasil; disponível em <http://www.ons.org.br>.

- ? Operador Nacional do Sistema (ONS); (2002), Diretrizes e Critérios para Estudos Energéticos – Submódulo 23.4, Rio de Janeiro – RJ, Brasil; disponível em <http://www.ons.org.br>.
- ? Operador Nacional do Sistema (ONS); (2007), Curva de Aversão ao Risco – Ciclo 2006/2007, disponível em <http://www.ons.org.br>.
- ? OTTONI, A. B. (2005) “Entrevista – Sob o ponto de vista da queda d’água”; pch notícias & shp news; edição 27; Set/Out/Nov; Itajubá, MG, Brasil.
- ? OTTONI, A. B. (2002) “Estudos e modelo Físico Hidrodinâmico da soleira de Admitância Individual”. Monografia de Doutorado, Rio de Janeiro, RJ; COPPE/UFRJ.
- ? OTTONI, A. B. ; (1996); “Ações Sanitárias e Ambientais em Bacias Hidrográficas: Preceitos Básicos”. Tese de M.Sc.; ENSP / FIOCRUZ; Rio de Janeiro; RJ; Brasil
- ? OTTONI, A. B. ; (2001); “Sugestões para a Classificação Ecológica de Cursos D’água a partir do Conhecimento do seu Regime Hídrico”. Seminário do Exame de Qualificação de Doutorado; COPPE / UFRJ; Rio de Janeiro; RJ; Brasil
- ? OTTONI, A. B. ; (1996); “Obras de Manejo Hídrico em Bacias Urbanas Visando sua Valorização Ambiental”; Tese de D.Sc.; ENSP / FIOCRUZ; Rio de Janeiro; RJ; Brasil
- ? PORTO , M. de F. M. M. (1996). “Educação Ambiental: conceitos básicos e instrumentos de Ação”. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente; DESA/UFMG.
- ? Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL/ELETOBRÁS (2006), “Introdução ao PROCEL”, disponível em <http://www.eletobras.com>.
- ? RIGHETTO, A.M.; (1998). Hidrologia e Recursos Hídricos. São Carlos: EESC/USP 840p.
- ? SANTOS, A. H. M. . “Uma Versão Computacional do Método de Conti-Varlet para Estudos de Regularização Parcial de Vazões em Pequenas e Médias Bacias”. Revista Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico, v. 18.
- ? Schlumberger Excellence in Educational Development – SEED (2005), Mudança no Clima Global e Energia – O efeito do Aquecimento Global, disponível em <http://www.seed.slb.com>.
- ? SELBORNE, L.; (2001); A Ética do Uso da Água Doce: um levantamento, UNESCO, Edições UNESCO Brasil, Brasília, DF, Brasil.

- ? SOUZA, D. J. R. (1974); – Apostila de Hidrotécnica Continental. Tese de Livre Docência da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.
- ? SOUZA, Z.; SANTOS, A. H. M.; BORTONI, E. C..(1999) “Centrais hidrelétricas: Estudos para implantação”.ELETROBRÁS. Rio de Janeiro:RJ.
- ? <http://www.aestiete.com.br/>
- ? <http://www.cemig.com.br/>
- ? <http://www.cesp.com.br/>
- ? <http://www.chesf.gov.br/>
- ? <http://www.copel.com/>
- ? <http://www.cpfl.com.br/>
- ? <http://www.furnas.com.br/>
- ? <http://www.lightenergia.com.br/>
- ? www.sigrh.sp.gov.br/

**ANEXO A – ESTUDOS DE COMPORTAMENTO DAS POPULAÇÕES E
DO SETOR INDUSTRIAL**



Gráfico 1 – Comportamento no tempo da população rural do estado de Alagoas

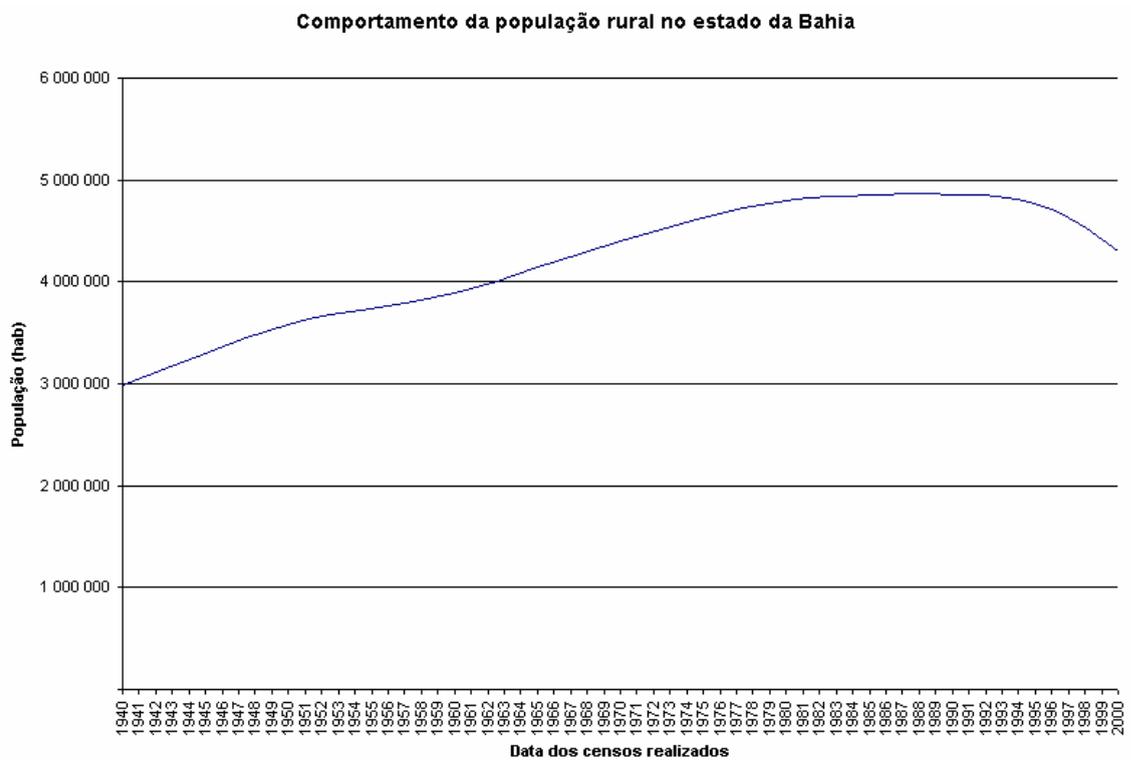


Gráfico 2 – Comportamento no tempo da população rural do estado da Bahia

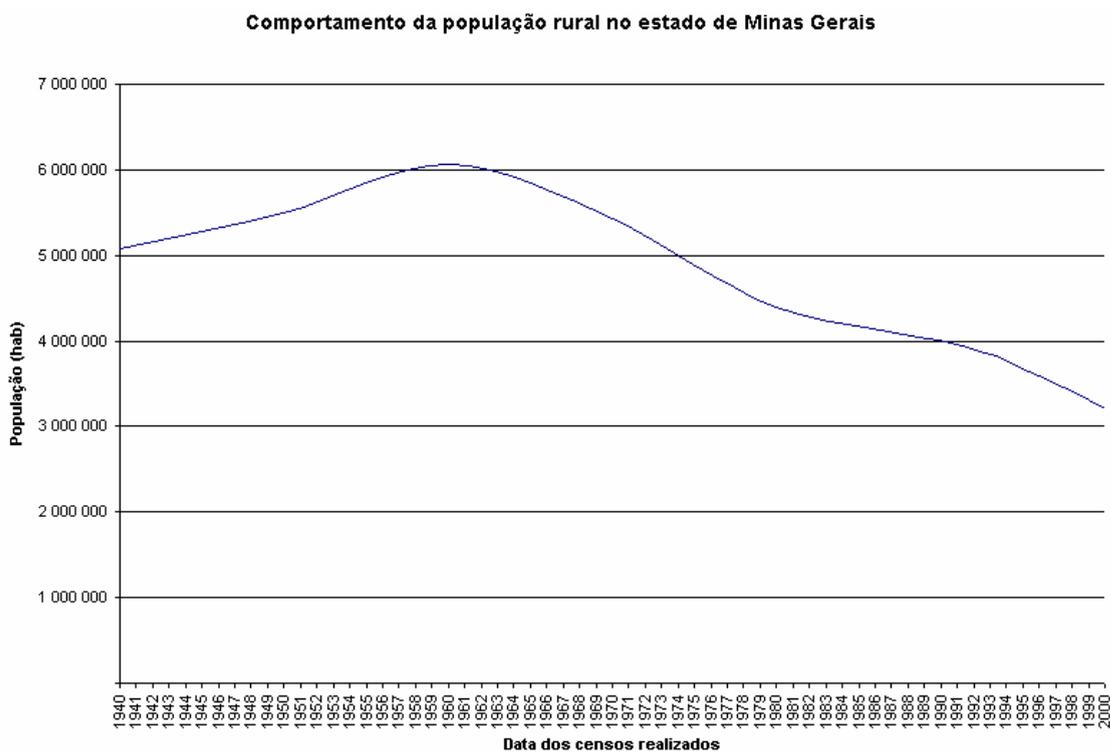


Gráfico 3 – Comportamento no tempo da população rural do estado de Minas Gerais

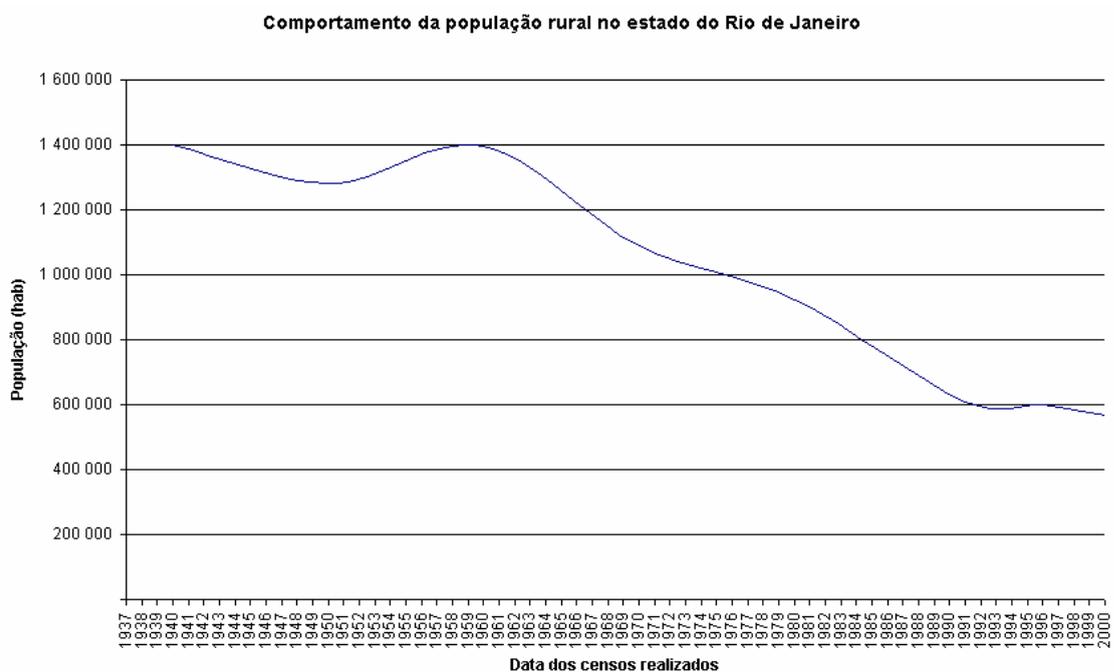


Gráfico 4 – Comportamento no tempo da população rural do estado de Rio de Janeiro

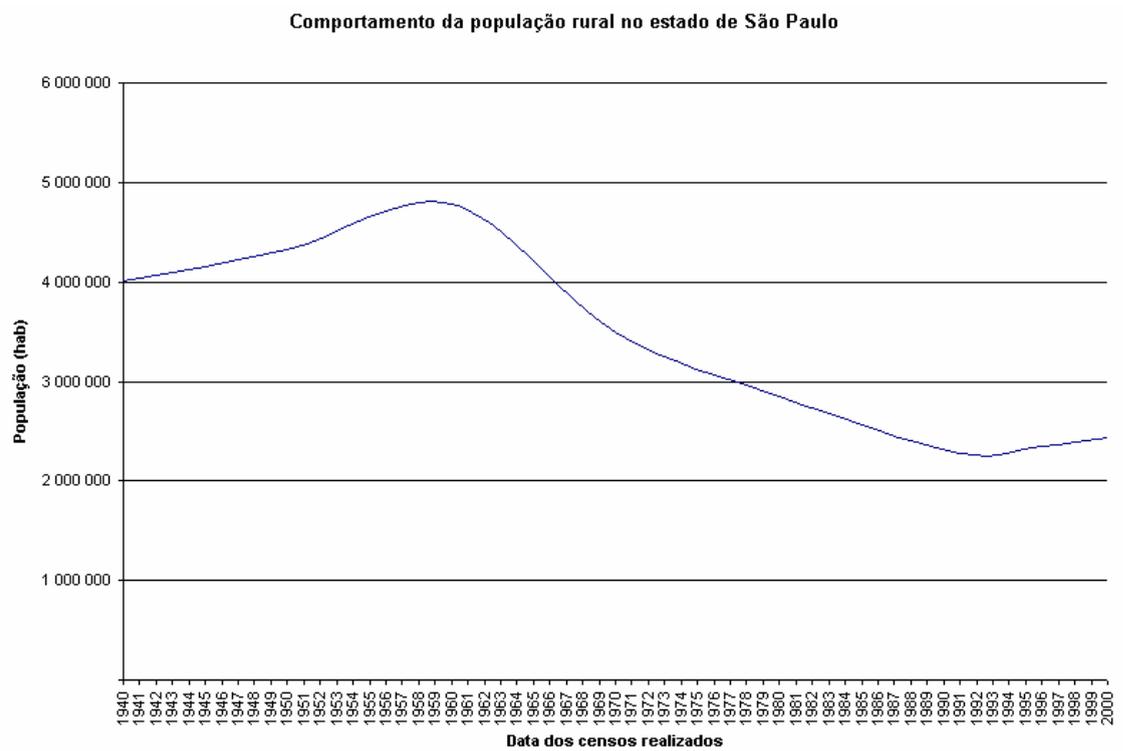


Gráfico 5 – Comportamento no tempo da população rural do estado de São Paulo

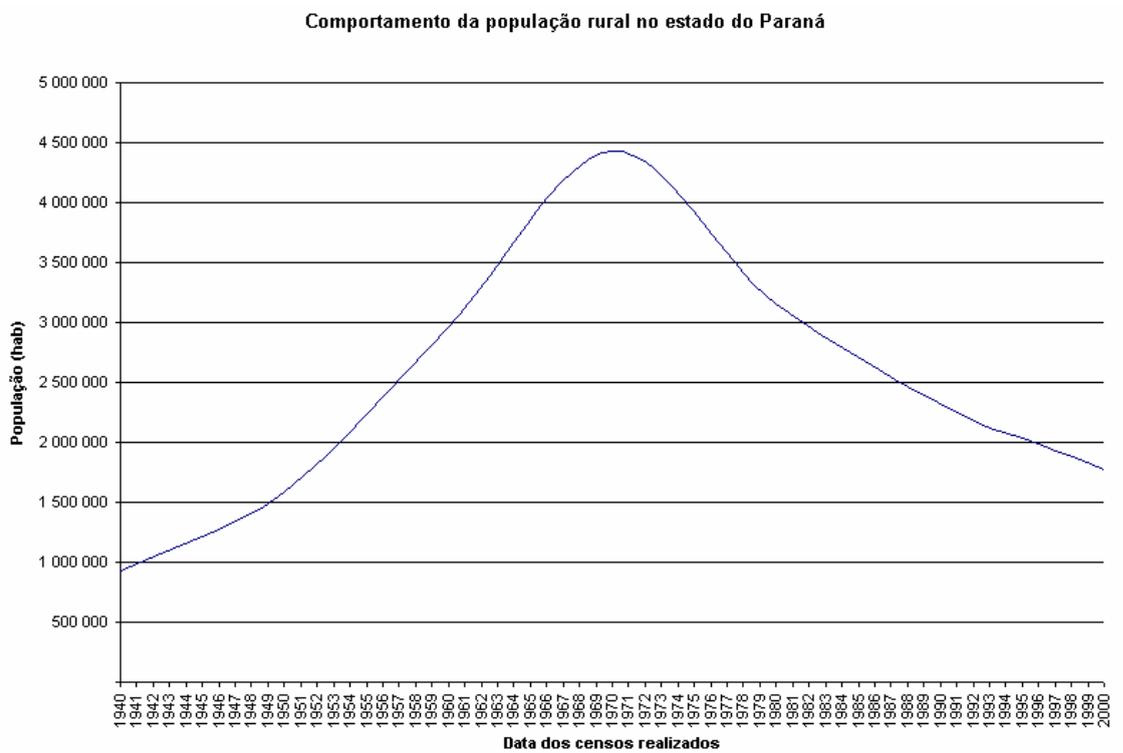


Gráfico 6 – Comportamento no tempo da população rural do estado do Paraná



Gráfico 7 – Curva de crescimento da população no tempo do estado da Bahia

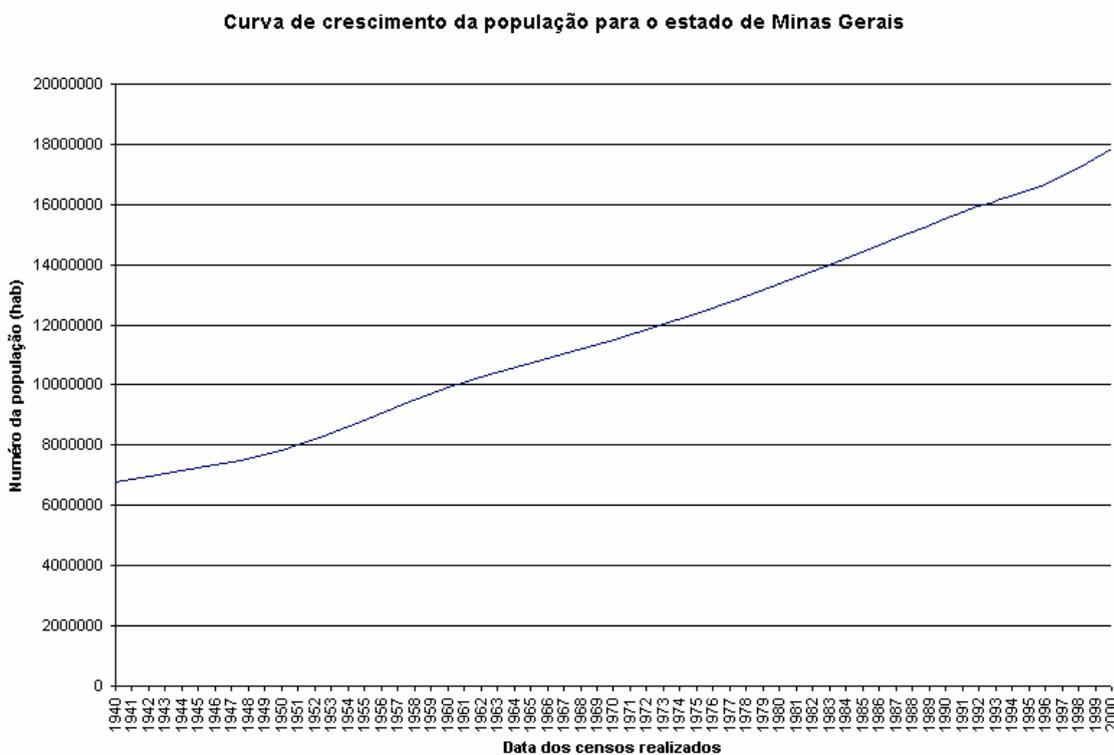


Gráfico 8 – Curva de crescimento da população no tempo do estado de Minas Gerais

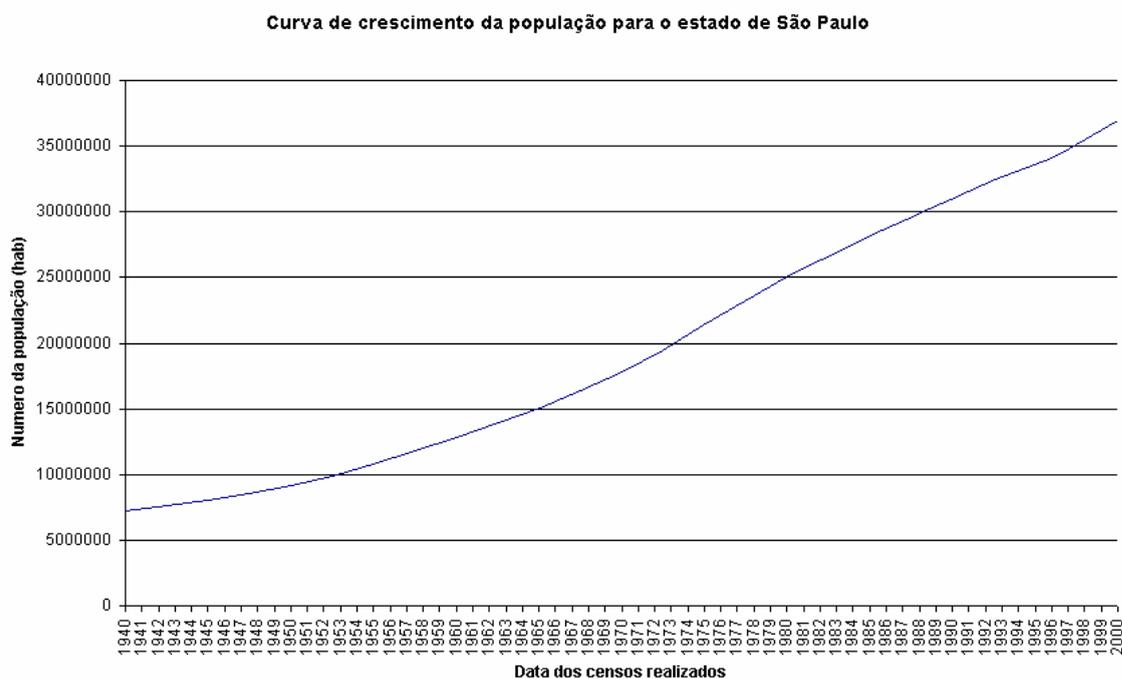


Gráfico 9 – Curva de crescimento da população no tempo do estado de São Paulo

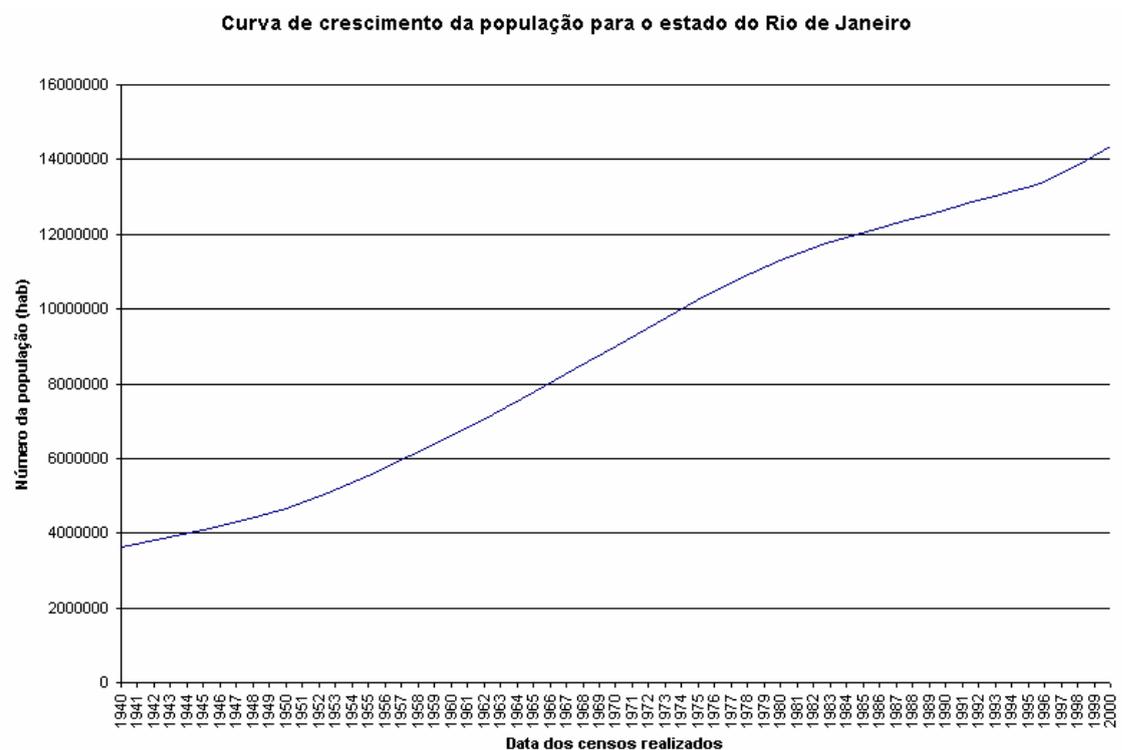


Gráfico 10 – Curva de crescimento da população no tempo do estado do Rio de Janeiro

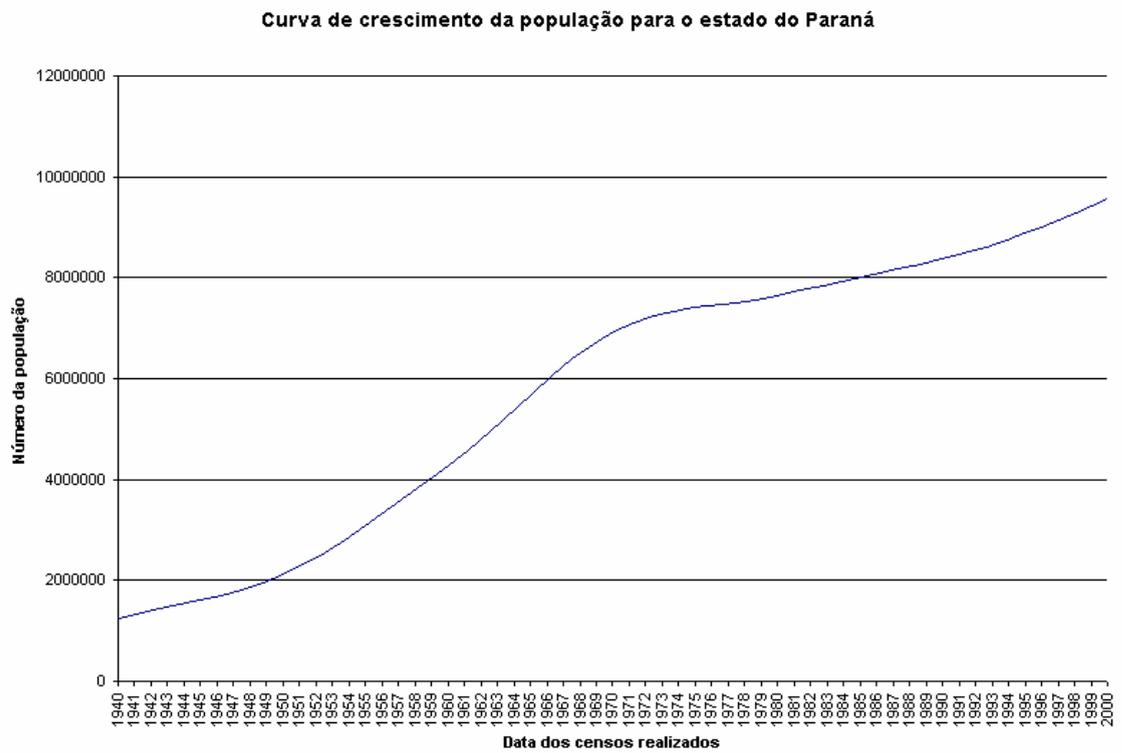


Gráfico 11 – Curva de crescimento da população no tempo do estado do Paraná

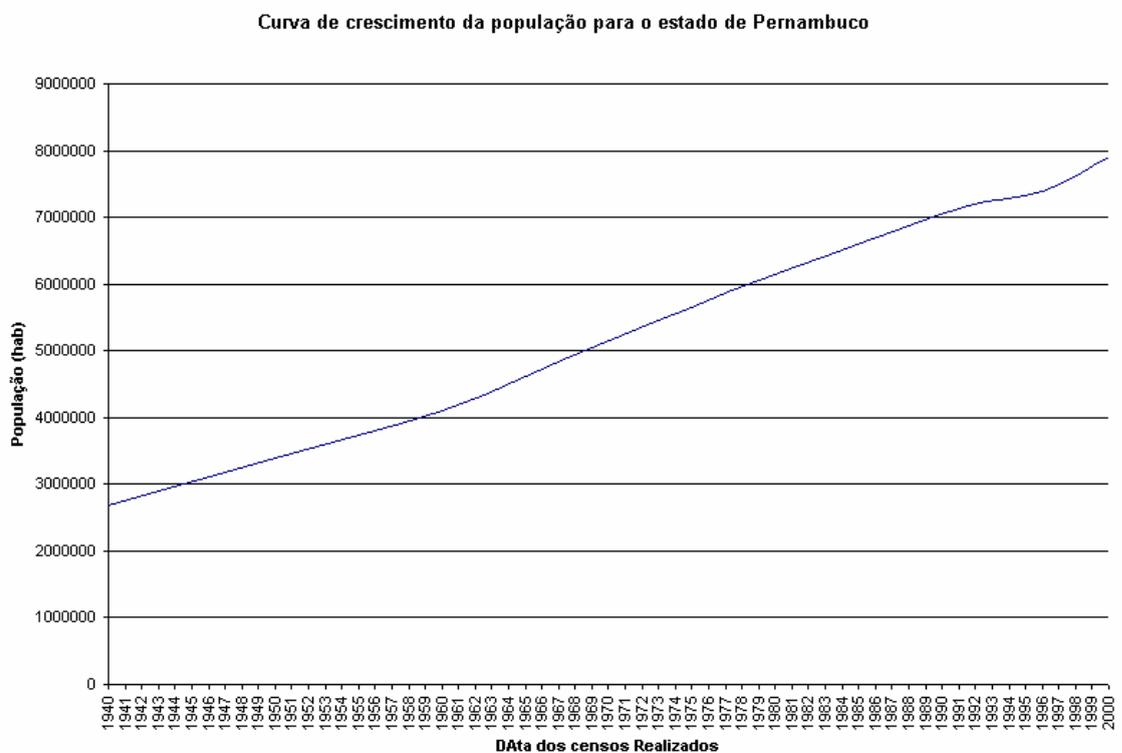


Gráfico 12 – Curva de crescimento da população no tempo do estado de Pernambuco

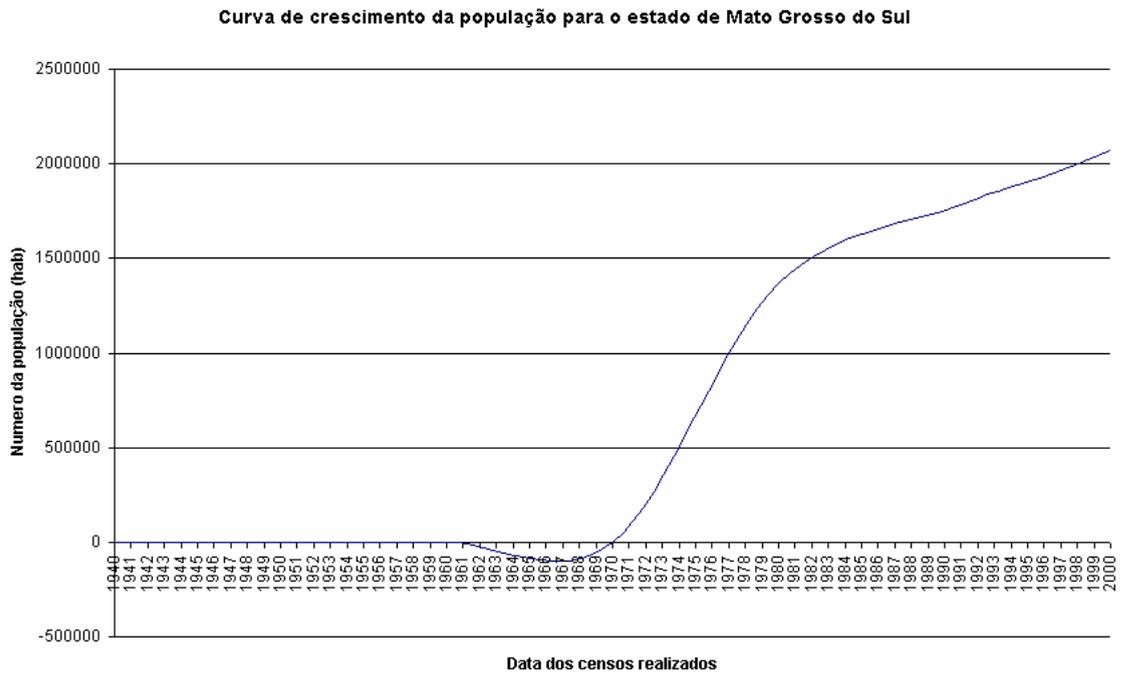


Gráfico 13 – Curva de crescimento da população no tempo do estado de Mato Grosso do Sul

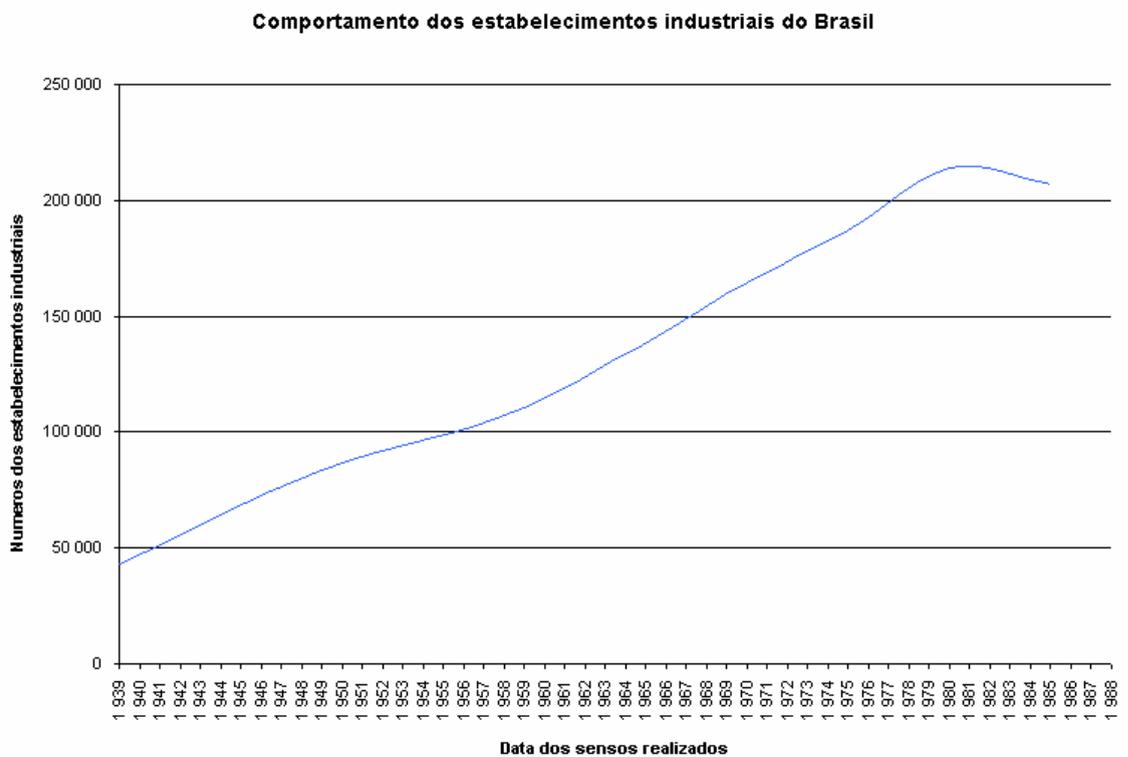


Gráfico 14 – Curva de crescimento do numero de estabelecimentos industriais no tempo para o Brasil

**ANEXO B – DADOS HISTÓRICOS DE VAZÕES DOS
APROVEITAMENTOS HIDRELETRICOS ANALISADOS**

TABELA 1 – Série histórica de vazões da UHE CACONDE

Ano / Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	NumLidos	NumFal	Média
1931	152	220	143	107	60	46	37	30	38	35	38	59	12	0	80,42
1932	79	111	81	48	38	37	29	24	21	34	34	105	12	0	53,42
1933	108	74	56	41	34	29	26	23	23	25	22	45	12	0	42,17
1934	68	54	51	34	26	22	19	18	20	20	16	83	12	0	35,92
1935	63	145	89	73	46	33	26	26	29	64	34	49	12	0	56,42
1936	48	38	90	51	38	27	23	23	26	19	34	98	12	0	42,92
1937	134	79	61	46	44	34	28	23	18	37	49	103	12	0	54,67
1938	110	91	84	55	51	36	28	25	28	52	51	89	12	0	58,33
1939	109	122	67	63	48	36	30	23	20	18	32	76	12	0	53,67
1940	99	156	110	64	43	33	26	20	17	21	44	43	12	0	56,33
1941	62	37	41	33	20	17	17	11	34	27	35	47	12	0	31,75
1942	52	76	85	51	33	27	22	17	16	24	36	39	12	0	39,83
1943	100	143	104	57	37	33	24	19	20	36	50	62	12	0	57,08
1944	57	67	74	42	29	22	19	14	12	14	30	35	12	0	34,58
1945	47	109	70	41	29	29	24	16	13	16	35	111	12	0	45,00
1946	159	89	92	61	41	34	34	23	18	28	31	36	12	0	53,83
1947	97	102	228	88	57	45	37	31	34	43	45	81	12	0	74,00
1948	93	112	125	64	45	35	28	24	19	25	42	64	12	0	56,33
1949	90	109	78	65	44	38	28	22	18	20	23	71	12	0	50,50
1950	110	211	111	83	59	45	37	28	24	34	67	116	12	0	77,08
1951	118	147	131	100	61	49	41	37	28	31	35	52	12	0	69,17
1952	76	91	103	48	28	26	19	15	13	21	34	25	12	0	41,58
1953	24	31	48	55	28	23	21	16	19	19	27	41	12	0	29,33
1954	44	94	35	32	43	30	21	16	13	15	12	36	12	0	32,58
1955	63	36	61	57	30	26	19	17	16	17	23	106	12	0	39,25
1956	81	45	55	41	38	40	29	32	25	26	28	45	12	0	40,42
1957	86	94	109	81	57	42	39	31	46	37	45	64	12	0	60,92
1958	103	93	89	59	74	54	41	29	32	40	44	46	12	0	58,67
1959	127	82	73	60	38	30	24	22	17	18	35	48	12	0	47,83

Continuação TABELA 1 – Série histórica de vazões da UHE CACONDE

Ano / Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	NumLidos	NumFal	Média
1960	111	119	118	53	49	36	29	22	18	20	31	106	12	0	59,33
1961	136	145	142	81	65	44	34	27	22	20	32	56	12	0	67,00
1962	75	156	116	62	48	40	30	26	28	49	43	105	12	0	64,83
1963	158	106	65	43	33	28	25	23	18	24	28	18	12	0	47,42
1964	46	117	52	40	47	30	30	22	20	43	44	100	12	0	49,25
1965	144	167	155	76	62	46	43	30	25	62	63	106	12	0	81,58
1966	117	85	143	76	61	41	33	28	25	40	72	127	12	0	70,67
1967	149	154	93	67	45	42	30	26	24	25	44	61	12	0	63,33
1968	85	55	57	35	26	21	18	18	16	18	14	30	12	0	32,75
1969	30	29	39	29	17	18	11	10	8	15	54	59	12	0	26,58
1970	94	144	89	60	39	31	27	25	37	31	45	38	12	0	55,00
1971	32	21	35	37	24	33	22	17	16	35	28	61	12	0	30,08
1972	72	127	89	55	37	28	36	30	25	54	58	66	12	0	56,42
1973	94	85	55	72	44	31	26	21	19	23	28	77	12	0	47,92
1974	103	52	79	58	36	35	25	20	17	17	20	68	12	0	44,17
1975	76	99	70	55	37	28	25	22	16	22	48	70	12	0	47,33
1976	64	111	129	85	60	51	59	55	66	47	57	97	12	0	73,42
1977	126	90	72	94	53	41	29	23	30	36	49	90	12	0	61,08
1978	90	65	63	39	34	33	28	20	21	23	51	57	12	0	43,67
1979	66	91	87	44	56	36	30	34	39	34	44	95	12	0	54,67
1980	140	117	72	115	56	50	39	30	27	30	48	94	12	0	68,17
1981	200	91	73	50	37	41	30	26	21	51	95	143	12	0	71,50
1982	137	108	139	87	59	55	45	37	30	53	56	132	12	0	78,17
1983	223	214	159	102	86	113	63	46	90	110	90	184	12	0	123,33
1984	120	71	55	43	46	32	26	31	31	23	30	75	12	0	48,58
1985	117	105	141	74	50	38	31	25	27	19	29	44	12	0	58,33
1986	67	91	93	64	48	33	30	34	25	21	28	132	12	0	55,50
1987	126	104	76	63	58	42	35	26	34	29	38	57	12	0	57,33
1988	70	80	78	51	39	39	27	22	18	32	32	40	12	0	44,00

Continuação TABELA 1 – Série histórica de vazões da UHE CACONDE

Ano / Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	NumLidos	NumFal	Média
1989	113	96	89	53	37	31	26	28	27	20	35	60	12	0	51,25
1990	103	44	79	46	37	26	25	25	24	26	28	44	12	0	42,25
1991	80	121	112	129	65	42	35	27	22	40	28	46	12	0	62,25
1992	82	103	73	55	48	31	31	24	35	51	79	59	12	0	55,92
1993	65	115	86	66	47	44	31	28	33	35	28	37	12	0	51,25
1994	68	49	82	47	45	31	26	22	17	17	24	62	12	0	40,83
1995	60	235	97	68	49	34	31	23	18	50	34	39	12	0	61,50
1996	121	75	117	64	46	34	28	24	39	43	85	106	12	0	65,17
1997	165	113	91	66	47	62	39	31	28	29	43	69	12	0	65,25
1998	58	78	66	49	42	35	26	23	20	33	24	63	12	0	43,08
1999	103	79	87	48	34	31	25	19	21	18	17	59	12	0	45,08
2000	120	118	74	49	31	26	24	26	41	25	34	64	12	0	52,67
2001	55	57	45	35	28	21	17	15	23	30	42	67	12	0	36,25
2002	74	99	72	44	32	26	21	21	26	17	28	64	12	0	43,67
2003	107	89	71	53	41	29	23	22	19	20	29	57	12	0	46,67
2004	75	146	86	75	70	59	39	32	22	35	34	60	12	0	61,08
2005	112	87	93	59	52	41	34	29	33	32	41	57	12	0	55,83

TABELA 2 – Série histórica de vazões da UHE CAMARGOS

Ano / Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	NumLidos	NumFal	Média
1931	178	371	326	479	332	226	125	89	112	192	153	215	12	0	233,17
1932	449	344	214	72	68	98	81	71	73	92	102	240	12	0	158,67
1933	287	161	147	108	84	72	69	64	63	67	72	141	12	0	111,25
1934	196	96	112	79	60	49	44	38	40	48	57	216	12	0	86,25
1935	242	381	184	169	121	98	73	73	69	86	86	92	12	0	139,50
1936	84	108	229	128	90	67	57	58	65	60	87	200	12	0	102,75
1937	349	231	170	121	128	95	74	62	57	136	158	378	12	0	163,25
1938	265	298	227	154	133	105	88	85	97	125	135	256	12	0	164,00
1939	260	261	149	150	107	87	79	67	63	72	124	219	12	0	136,50
1940	270	315	255	149	113	94	77	65	64	80	177	213	12	0	156,00
1941	233	148	146	119	82	73	75	58	89	94	100	197	12	0	117,83
1942	164	193	267	139	113	92	82	66	63	90	113	166	12	0	129,00
1943	474	309	282	135	96	110	84	79	74	102	102	185	12	0	169,33
1944	160	252	255	128	96	88	77	66	62	63	91	110	12	0	120,67
1945	147	283	158	127	92	86	71	58	54	56	104	204	12	0	120,00
1946	458	162	178	168	105	91	81	66	57	87	116	113	12	0	140,17
1947	227	254	576	233	144	120	110	100	108	107	116	223	12	0	193,17
1948	222	221	279	165	119	103	87	75	67	72	116	200	12	0	143,83
1949	246	288	189	128	98	84	75	66	56	72	80	165	12	0	128,92
1950	284	354	223	163	121	95	83	67	63	74	195	195	12	0	159,75
1951	219	233	238	160	109	91	80	70	59	68	77	139	12	0	128,58
1952	250	264	302	154	108	102	79	68	81	68	124	187	12	0	148,92
1953	96	126	129	140	92	72	60	52	53	55	92	154	12	0	93,42
1954	130	165	114	83	86	97	51	42	39	54	93	115	12	0	89,08
1955	241	127	108	92	68	61	52	54	54	65	98	226	12	0	103,83
1956	149	130	208	100	88	79	70	61	58	69	69	177	12	0	104,83
1957	220	203	275	217	137	82	82	69	106	81	150	155	12	0	148,08
1958	235	262	153	115	115	100	93	76	115	158	171	205	12	0	149,83
1959	223	140	147	130	80	74	72	80	89	67	129	134	12	0	113,75

Continuação TABELA 2 – Série histórica de vazões da UHE CAMARGOS

Ano / Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	NumLidos	NumFal	Média
1960	213	201	257	156	132	104	84	72	65	71	96	204	12	0	137,92
1961	401	401	376	208	168	124	100	84	71	66	94	118	12	0	184,25
1962	170	389	197	135	109	85	69	63	71	92	123	242	12	0	145,42
1963	270	189	154	94	81	71	64	58	48	52	72	55	12	0	100,67
1964	187	289	137	85	73	56	59	44	36	72	79	153	12	0	105,83
1965	336	470	314	150	160	100	91	78	65	87	120	210	12	0	181,75
1966	434	278	314	172	122	94	78	67	57	90	129	238	12	0	172,75
1967	367	375	261	162	108	112	98	69	73	81	149	141	12	0	166,33
1968	178	121	115	76	64	55	49	49	52	60	48	190	12	0	88,08
1969	229	238	181	106	93	76	61	59	47	70	144	155	12	0	121,58
1970	159	144	137	93	66	61	56	57	71	73	96	68	12	0	90,08
1971	102	53	75	58	42	56	40	34	42	69	101	225	12	0	74,75
1972	147	218	232	123	81	68	77	65	52	105	167	162	12	0	124,75
1973	237	218	163	141	102	70	70	52	52	87	131	182	12	0	125,42
1974	214	156	205	166	96	98	74	61	46	65	57	136	12	0	114,50
1975	158	164	114	83	65	53	54	41	38	61	135	152	12	0	93,17
1976	123	145	137	96	90	77	82	83	112	99	147	210	12	0	116,75
1977	231	195	186	159	116	81	68	54	75	64	127	160	12	0	126,33
1978	279	171	152	102	85	75	67	52	49	85	126	126	12	0	114,08
1979	152	341	200	117	97	77	76	76	85	68	115	208	12	0	134,33
1980	307	215	168	215	108	99	83	71	63	61	141	238	12	0	147,42
1981	349	195	185	141	100	90	71	70	55	91	169	280	12	0	149,67
1982	302	231	356	231	139	120	91	79	62	111	119	245	12	0	173,83
1983	493	389	436	332	218	332	194	131	279	223	271	396	12	0	307,83
1984	313	175	134	122	118	85	72	67	76	63	81	169	12	0	122,92
1985	424	351	298	154	115	95	78	68	72	71	119	183	12	0	169,00
1986	271	242	230	128	113	87	84	89	60	51	62	251	12	0	139,00
1987	239	220	207	170	117	96	78	65	82	72	102	257	12	0	142,08
1988	230	293	230	137	113	96	76	64	57	90	104	130	12	0	135,00

Continuação TABELA 2 – Série histórica de vazões da UHE CAMARGOS

Ano / Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	NumLidos	NumFal	Média
1989	255	231	255	149	102	96	78	70	69	69	81	175	12	0	135,83
1990	211	107	180	110	85	64	61	54	62	56	58	89	12	0	94,75
1991	282	220	197	208	121	86	79	68	63	89	83	124	12	0	135,00
1992	436	323	188	136	117	84	78	64	94	109	155	125	12	0	159,08
1993	160	234	213	134	97	97	71	61	62	78	73	112	12	0	116,00
1994	261	125	145	106	138	86	73	58	45	52	73	163	12	0	110,42
1995	151	329	147	107	79	60	53	42	43	77	85	125	12	0	108,17
1996	228	189	184	111	85	66	58	57	93	81	194	244	12	0	132,50
1997	449	246	212	149	112	109	79	65	64	64	113	150	12	0	151,00
1998	157	186	142	97	86	73	55	55	41	70	80	109	12	0	95,92
1999	251	185	213	110	76	72	58	45	42	41	59	170	12	0	110,17
2000	299	229	182	119	84	69	64	54	84	58	105	147	12	0	124,50
2001	133	110	95	80	55	44	38	34	39	55	85	139	12	0	75,58
2002	188	195	158	89	72	57	52	46	48	37	92	172	12	0	100,50
2003	310	211	147	90	78	68	58	47	43	56	67	139	12	0	109,50
2004	144	211	182	166	106	91	76	62	51	64	92	184	12	0	119,08
2005	260	209	169	114	113	89	78	62	60	58	110	178	12	0	125,00

TABELA 3 – Série histórica de vazões da UHE FOZ do AREIA

Ano / Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	NumLidos	NumFal	Média
1931	710	398	382	195	1241	1383	895	415	1119	851	415	637	12	0	720,08
1932	547	756	756	1445	979	844	482	437	606	772	534	876	12	0	752,83
1933	277	370	292	174	178	133	156	115	251	554	321	170	12	0	249,25
1934	273	649	473	529	362	201	175	165	206	489	196	555	12	0	356,08
1935	296	258	477	218	125	287	354	817	1142	3415	1041	575	12	0	750,42
1936	1152	392	267	169	235	1321	353	953	1008	858	783	484	12	0	664,58
1937	494	397	770	691	377	288	191	336	289	1221	1126	509	12	0	557,42
1938	494	1097	352	413	899	1520	2104	541	503	478	423	334	12	0	763,17
1939	369	448	760	451	563	456	481	217	516	315	1004	1803	12	0	615,25
1940	628	432	248	403	491	239	191	292	254	271	238	353	12	0	336,67
1941	635	1097	498	321	437	580	375	967	542	616	684	748	12	0	625,00
1942	378	1078	706	802	610	816	815	568	443	474	227	200	12	0	593,08
1943	243	416	299	169	162	612	436	794	660	748	483	263	12	0	440,42
1944	520	296	847	304	142	115	101	87	233	153	483	455	12	0	311,33
1945	128	268	468	193	132	231	953	255	220	376	269	296	12	0	315,75
1946	621	2198	1809	671	439	635	1156	534	539	924	633	674	12	0	902,75
1947	555	994	764	322	255	660	493	832	1552	1554	539	607	12	0	760,58
1948	513	740	661	491	650	472	343	1280	438	504	697	209	12	0	583,17
1949	277	150	280	659	391	606	246	257	312	289	207	187	12	0	321,75
1950	639	523	939	314	359	273	270	185	293	1292	536	460	12	0	506,92
1951	511	1101	1178	344	175	172	201	102	104	890	897	636	12	0	525,92
1952	316	275	207	164	92	414	290	171	758	1217	914	405	12	0	435,25
1953	465	503	366	279	216	259	178	153	466	848	1272	518	12	0	460,25
1954	862	512	681	413	1794	1380	819	418	578	1181	464	277	12	0	781,58
1955	242	220	359	551	885	1741	2105	795	799	277	201	295	12	0	705,83
1956	447	593	276	605	1119	530	473	702	578	401	228	181	12	0	511,08
1957	310	784	371	319	282	514	2039	3182	3036	1226	1010	553	12	0	1135,50
1958	376	296	655	337	200	410	307	534	1044	561	523	638	12	0	490,08
1959	468	545	311	293	399	401	271	322	633	334	187	149	12	0	359,42

Continuação TABELA 3 – Série histórica de vazões da UHE FOZ do AREIA

Ano / Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	NumLidos	NumFal	Média
1960	200	351	305	385	335	418	313	958	807	834	1021	461	12	0	532,33
1961	438	381	1087	617	508	543	302	161	955	1076	1612	616	12	0	691,33
1962	372	491	815	347	242	280	220	169	587	1123	539	233	12	0	451,50
1963	369	766	728	571	185	150	106	102	139	1100	1343	747	12	0	525,50
1964	246	427	329	436	596	557	679	773	947	479	271	305	12	0	503,75
1965	273	407	445	238	1511	539	1462	748	662	1345	949	1085	12	0	805,33
1966	703	1395	943	336	306	453	585	272	766	1027	1034	776	12	0	716,33
1967	667	869	1116	542	218	515	382	383	438	332	382	639	12	0	540,25
1968	465	393	225	253	167	159	186	141	164	199	479	335	12	0	263,83
1969	459	541	565	1207	686	1334	979	325	343	743	920	504	12	0	717,17
1970	478	444	337	288	505	1063	1277	352	469	831	343	858	12	0	603,75
1971	2224	788	845	802	1121	1506	1037	526	392	624	217	199	12	0	856,75
1972	406	960	888	509	184	456	561	956	1942	1765	780	762	12	0	847,42
1973	670	660	491	484	769	909	1260	1073	1896	1348	754	434	12	0	895,67
1974	806	819	802	418	225	439	656	449	650	276	326	225	12	0	507,58
1975	447	350	490	286	208	242	290	728	885	1765	757	1892	12	0	695,00
1976	1072	748	774	669	500	1556	574	1198	867	545	855	673	12	0	835,92
1977	828	1002	746	751	284	318	328	424	372	1048	705	676	12	0	623,50
1978	271	211	372	173	132	180	470	542	637	337	463	435	12	0	351,92
1979	303	164	249	241	1539	406	350	486	859	1639	1590	1105	12	0	744,25
1980	627	569	929	439	405	330	952	955	1580	833	605	1033	12	0	771,42
1981	1341	679	287	262	217	182	119	149	221	539	602	853	12	0	454,25
1982	330	544	368	182	193	719	1846	657	342	1088	2165	1477	12	0	825,92
1983	790	817	1238	683	2010	2169	5150	1658	1158	1332	739	588	12	0	1527,67
1984	434	255	354	417	631	1102	601	1747	779	595	1037	645	12	0	716,42
1985	274	595	392	781	296	179	191	110	183	143	256	82	12	0	290,17
1986	166	430	433	390	405	346	144	276	438	512	570	903	12	0	417,75
1987	848	773	277	311	1814	1386	666	439	321	544	344	229	12	0	662,67
1988	287	410	417	265	1580	1229	401	179	216	439	312	197	12	0	494,33

Continuação TABELA 3 – Série histórica de vazões da UHE FOZ do AREIA

Ano / Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	NumLidos	NumFal	Média
1989	824	1259	690	705	940	280	459	898	1736	714	322	201	12	0	752,33
1990	1490	943	512	847	934	1781	1137	1498	1565	1396	1222	571	12	0	1158,00
1991	253	311	275	279	203	689	564	476	177	634	535	585	12	0	415,08
1992	357	396	626	512	1452	2845	1363	1143	628	468	509	334	12	0	886,08
1993	320	833	791	493	1006	722	710	391	911	2194	396	568	12	0	777,92
1994	236	820	510	389	795	1064	1337	535	224	342	772	433	12	0	621,42
1995	2148	1415	683	299	174	304	1097	267	480	1045	452	307	12	0	722,58
1996	1085	1399	1370	1086	249	659	1327	593	897	1389	1034	787	12	0	989,58
1997	1069	1781	885	248	237	678	688	1056	546	2362	2296	1134	12	0	1081,67
1998	1370	1153	1407	2418	1587	458	1088	1818	1963	2679	660	545	12	0	1428,83
1999	519	814	632	654	325	770	1620	268	385	1151	388	299	12	0	652,08
2000	445	669	743	231	219	269	490	342	1863	1420	477	425	12	0	632,75
2001	979	1596	942	443	585	740	882	780	637	1872	562	682	12	0	891,67
2002	677	543	399	229	528	276	189	537	866	892	1088	1084	12	0	609,00
2003	547	652	602	229	142	491	454	189	168	304	504	1056	12	0	444,83
2004	727	351	289	256	602	753	759	296	312	978	1015	486	12	0	568,67
2005	467	249	184	294	630	851	551	459	2035	1958	1085	331	12	0	757,83

TABELA 4 – Série histórica de vazões da UHE FUNIL

Ano / Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	NumLidos	NumFal	Média
1931	469	836	625	420	237	179	157	125	138	187	171	388	12	0	328
1932	473	480	492	264	249	247	154	138	120	157	146	332	12	0	271
1933	403	252	235	150	142	109	105	89	107	113	133	284	12	0	177
1934	526	287	330	211	142	114	97	80	94	109	93	385	12	0	206
1935	320	667	474	276	181	149	115	107	127	221	150	133	12	0	243
1936	184	248	706	395	189	131	116	114	149	119	128	305	12	0	232
1937	512	548	295	283	249	176	123	103	86	169	226	429	12	0	267
1938	486	389	425	314	213	177	140	164	155	238	281	315	12	0	275
1939	452	480	298	364	214	161	131	110	101	95	142	220	12	0	231
1940	383	605	474	225	167	132	108	86	85	114	195	195	12	0	231
1941	275	204	248	202	119	102	105	72	176	235	227	298	12	0	189
1942	318	299	384	260	194	142	143	110	95	115	172	289	12	0	210
1943	319	358	362	216	135	117	98	99	90	148	148	230	12	0	193
1944	285	390	703	296	188	137	124	95	83	78	128	179	12	0	224
1945	256	610	348	304	173	188	226	113	112	102	164	264	12	0	238
1946	575	349	354	267	164	147	125	95	77	137	164	185	12	0	220
1947	483	660	855	397	256	205	245	175	205	219	253	430	12	0	365
1948	503	524	597	385	247	196	155	160	130	130	180	228	12	0	286
1949	421	499	320	252	153	140	127	97	92	101	147	236	12	0	215
1950	436	755	608	454	280	192	160	122	98	149	193	408	12	0	321
1951	401	531	599	466	242	179	159	140	108	121	131	198	12	0	273
1952	363	477	638	333	179	214	149	119	129	107	194	199	12	0	258
1953	130	200	175	236	163	115	94	83	90	103	204	239	12	0	153
1954	195	286	263	204	225	157	106	84	75	105	108	139	12	0	162
1955	309	177	223	180	129	107	81	66	79	71	128	187	12	0	145
1956	187	170	329	200	182	195	126	164	112	140	144	208	12	0	180
1957	334	372	396	373	193	151	132	116	185	123	238	212	12	0	235
1958	210	421	382	268	270	264	177	140	158	174	225	304	12	0	249
1959	446	317	386	342	185	144	121	126	106	105	157	190	12	0	219

Continuação TABELA 4 – Série histórica de vazões da UHE FUNIL

Ano / Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	NumLidos	NumFal	Média
1960	287	383	497	243	188	148	132	127	103	120	196	358	12	0	232
1961	517	535	614	334	250	186	154	131	112	107	146	217	12	0	275
1962	347	570	508	260	194	152	130	127	144	210	250	366	12	0	272
1963	430	451	340	206	149	127	109	98	82	106	171	131	12	0	200
1964	204	426	243	190	156	115	128	101	87	144	141	214	12	0	179
1965	447	467	393	218	240	163	153	116	97	193	222	316	12	0	252
1966	570	324	528	327	232	168	142	142	133	172	341	410	12	0	291
1967	798	812	811	452	261	228	190	147	151	165	261	334	12	0	384
1968	373	248	339	239	172	143	123	123	110	103	93	213	12	0	190
1969	213	283	254	212	130	129	98	101	82	118	276	314	12	0	184
1970	433	434	396	238	164	133	144	110	195	184	207	199	12	0	236
1971	212	143	331	194	152	179	149	96	113	195	199	295	12	0	188
1972	333	459	385	206	126	92	91	100	81	168	213	201	12	0	205
1973	324	345	227	248	171	112	104	79	86	117	165	334	12	0	193
1974	489	300	377	258	153	145	122	79	71	79	74	227	12	0	198
1975	331	361	301	215	120	75	69	51	74	102	200	408	12	0	192
1976	349	395	416	339	243	287	336	239	281	266	281	386	12	0	318
1977	538	362	234	294	155	141	78	87	97	92	150	281	12	0	209
1978	398	238	295	145	124	142	108	51	53	76	176	198	12	0	167
1979	262	291	270	169	153	106	103	92	128	118	247	296	12	0	186
1980	364	338	246	298	153	125	131	96	110	133	170	298	12	0	205
1981	485	257	273	220	154	125	111	105	87	134	254	292	12	0	208
1982	404	275	482	335	180	184	171	147	102	165	209	404	12	0	255
1983	499	493	413	398	294	595	293	195	395	330	327	395	12	0	386
1984	360	207	183	239	219	128	107	121	123	103	101	156	12	0	171
1985	423	464	529	355	215	141	112	94	131	95	146	172	12	0	240
1986	211	303	455	218	172	111	117	130	99	81	120	448	12	0	205
1987	457	504	281	404	328	314	184	140	160	169	127	195	12	0	272
1988	314	507	448	288	276	265	154	116	117	160	185	198	12	0	252

Continuação TABELA 4 – Série histórica de vazões da UHE FUNIL

Ano / Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	NumLidos	NumFal	Média
1989	463	535	476	312	195	197	153	201	150	120	138	204	12	0	262
1990	260	137	265	202	148	106	116	115	131	160	134	105	12	0	157
1991	213	441	435	516	258	161	130	98	78	232	96	118	12	0	231
1992	268	192	214	160	169	80	104	73	138	168	259	309	12	0	178
1993	218	416	399	309	174	182	120	103	156	184	105	132	12	0	208
1994	205	252	275	237	185	137	108	82	70	81	140	263	12	0	170
1995	240	756	343	246	183	134	147	104	92	236	243	217	12	0	245
1996	539	598	739	361	239	178	148	133	229	174	305	292	12	0	328
1997	451	336	242	177	147	174	104	99	104	145	248	240	12	0	206
1998	301	390	298	208	206	99	108	99	137	237	158	198	12	0	203
1999	549	503	369	238	153	162	125	92	99	96	108	190	12	0	224
2000	546	387	273	262	131	107	110	106	158	90	190	326	12	0	224
2001	280	345	221	190	131	98	91	86	100	154	133	257	12	0	174
2002	408	467	272	173	142	99	91	85	94	67	168	249	12	0	193
2003	358	259	206	129	96	74	68	58	62	116	137	155	12	0	143
2004	224	353	289	258	186	211	176	102	77	123	159	218	12	0	198
2005	419	402	288	273	220	149	132	90	119	149	195	272	12	0	226

TABELA 5 – Série histórica de vazões da UHE FURNAS

Ano / Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	NumLidos	NumFal	Média
1931	1476	2964	2167	1585	1254	785	607	469	538	662	667	1127	12	0	1192
1932	1908	1898	1534	868	673	632	473	393	388	521	573	1474	12	0	945
1933	1330	726	696	610	441	356	329	325	295	411	295	692	12	0	542
1934	1210	699	752	480	333	276	240	204	247	272	320	1285	12	0	527
1935	1846	2584	1547	1334	909	674	554	468	436	619	527	661	12	0	1013
1936	594	662	1812	942	626	436	365	352	445	351	601	1302	12	0	707
1937	2600	1589	1112	832	836	620	456	364	307	819	997	2343	12	0	1073
1938	1899	1646	1445	952	850	637	508	481	481	793	914	1647	12	0	1021
1939	2089	1999	1063	957	728	559	483	398	351	398	606	1356	12	0	916
1940	2018	2425	2077	1144	824	637	513	408	382	464	1043	1554	12	0	1124
1941	1710	1005	973	794	508	458	456	334	607	666	704	1307	12	0	794
1942	1309	1244	1863	1033	768	637	546	419	390	540	858	1231	12	0	903
1943	2727	2198	2057	1132	826	680	554	495	442	648	657	1094	12	0	1126
1944	1003	1521	1631	915	618	495	422	347	293	340	508	671	12	0	730
1945	875	1978	1208	995	628	553	500	349	314	349	765	1585	12	0	842
1946	3201	1310	1467	1152	756	627	548	430	335	516	690	749	12	0	982
1947	1775	1840	3757	1677	1034	804	699	548	814	627	714	1331	12	0	1302
1948	1503	1721	1826	1075	769	668	480	419	349	385	765	1263	12	0	935
1949	1682	2221	1327	951	757	618	467	385	337	399	716	1153	12	0	918
1950	1559	2519	1581	1185	852	655	592	496	428	485	1059	1649	12	0	1088
1951	1568	1994	1806	1276	899	700	557	476	388	432	377	761	12	0	936
1952	1214	1881	2356	1386	770	706	507	406	404	382	661	791	12	0	955
1953	605	680	839	1040	509	409	354	303	307	330	513	813	12	0	559
1954	743	1261	666	661	632	450	328	273	222	299	420	593	12	0	546
1955	1186	722	913	665	417	380	280	232	248	284	417	1163	12	0	576
1956	1103	712	1184	597	564	532	399	430	352	310	416	1165	12	0	647
1957	1605	1475	1663	1548	952	681	587	465	620	437	784	1202	12	0	1002
1958	955	1535	1249	897	894	752	638	480	585	662	711	847	12	0	850
1959	1815	1408	1250	1094	693	581	497	465	401	428	668	780	12	0	840

Continuação TABELA 5 – Série histórica de vazões da UHE FURNAS

Ano / Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	NumLidos	NumFal	Média
1960	1564	1646	2119	999	859	651	638	508	397	428	548	1311	12	0	972
1961	2747	2902	2754	1457	1223	841	676	571	506	426	636	772	12	0	1293
1962	1300	2389	1573	944	796	696	534	472	464	695	833	1454	12	0	1013
1963	1723	1489	994	640	524	442	399	347	297	369	507	334	12	0	672
1964	1453	1954	823	752	611	469	378	258	225	531	742	1255	12	0	788
1965	2464	3125	2523	1321	1438	1062	947	777	641	973	1188	1869	12	0	1527
1966	3033	2092	2679	1450	1034	726	581	486	484	805	1343	1856	12	0	1381
1967	3014	2594	1916	1168	880	763	624	546	503	523	1080	1303	12	0	1243
1968	1656	988	959	612	471	409	358	367	363	453	390	1337	12	0	697
1969	1171	1193	966	636	413	436	338	313	214	478	1241	1143	12	0	712
1970	1412	1280	1321	761	534	446	430	347	614	527	827	555	12	0	755
1971	612	357	477	401	310	365	309	218	232	470	533	1546	12	0	486
1972	1319	1776	1623	892	596	469	618	442	384	694	1132	1290	12	0	936
1973	1587	1428	920	1133	662	502	438	380	333	486	739	1409	12	0	835
1974	1830	1064	1544	1118	673	661	512	405	314	411	394	1095	12	0	835
1975	1460	1555	871	704	502	380	414	261	241	456	987	1196	12	0	752
1976	958	1143	1266	962	775	753	784	744	1068	917	1373	1915	12	0	1055
1977	1986	1616	1193	1189	698	596	467	363	583	420	832	1449	12	0	949
1978	1919	1268	1224	756	707	699	495	372	354	494	892	1100	12	0	857
1979	1385	2413	1422	963	808	642	578	552	733	527	946	1651	12	0	1052
1980	2690	1929	1121	1709	915	784	674	487	492	459	824	1762	12	0	1154
1981	2713	1297	1216	917	698	704	504	469	355	819	1325	2333	12	0	1113
1982	2417	1820	2845	1651	1061	952	760	627	488	769	798	2073	12	0	1355
1983	3506	3230	3046	2327	1572	2303	1308	921	1889	1822	1989	3123	12	0	2253
1984	2192	1315	994	914	861	577	466	482	547	424	631	1326	12	0	894
1985	2594	2210	2434	1343	881	680	565	476	503	470	759	1036	12	0	1163
1986	1716	1540	1365	806	833	555	565	590	369	294	343	1700	12	0	890
1987	1945	1757	1209	1232	838	703	548	434	573	459	590	1345	12	0	969
1988	1303	1788	1421	843	713	645	435	384	321	563	655	810	12	0	823

Continuação TABELA 5 – Série histórica de vazões da UHE FURNAS

Ano / Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	NumLidos	NumFal	Média
1989	1795	1580	1619	893	596	553	487	476	487	437	512	1128	12	0	880
1990	1364	639	1086	723	630	428	432	405	462	443	384	591	12	0	632
1991	1926	1981	1764	1915	1032	677	579	425	390	666	458	809	12	0	1052
1992	2875	2406	1408	1052	1003	614	597	448	695	796	1298	1188	12	0	1198
1993	1301	1938	1512	1103	717	727	502	435	457	566	437	705	12	0	867
1994	1927	845	1224	775	868	563	458	352	273	306	460	1062	12	0	759
1995	924	2788	1193	998	741	532	471	311	273	637	617	988	12	0	873
1996	1928	1231	1431	829	664	499	442	389	681	518	1455	1736	12	0	984
1997	3621	1824	1498	1066	765	863	578	437	405	502	715	1185	12	0	1122
1998	1191	1248	965	676	571	513	362	360	260	501	525	1010	12	0	682
1999	1681	1410	1545	754	531	502	400	278	290	210	335	796	12	0	728
2000	2248	1817	1376	811	540	493	419	380	558	302	703	1013	12	0	888
2001	896	713	628	494	374	294	250	217	272	400	567	1029	12	0	511
2002	1240	1982	1147	641	512	420	381	308	354	222	549	998	12	0	730
2003	1882	1396	1072	718	531	394	385	271	261	302	433	916	12	0	713
2004	1252	1614	1326	1048	761	692	564	386	294	483	520	1526	12	0	872
2005	2239	1711	1536	887	961	686	571	431	488	390	750	1350	12	0	1000

TABELA 6 – Série histórica de vazões da UHE ILHA SOLTEIRA

Ano / Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	NumLidos	NumFal	Média
1931	9197	15421	14703	11289	6734	4738	4104	3476	3565	3535	3818	5396	12	0	7165
1932	9091	10029	7994	5323	3983	3656	3039	2497	2250	3085	3597	7229	12	0	5148
1933	10536	8048	6307	5720	3924	3139	2861	2452	2300	2776	2757	5266	12	0	4674
1934	7117	5069	5184	3979	3004	2073	1840	1591	1834	2117	2153	4462	12	0	3369
1935	9354	11981	9842	9441	6044	4085	3155	2839	2160	3253	3165	4467	12	0	5816
1936	4486	3386	8973	5997	4024	2811	2465	2102	2177	2025	2720	5151	12	0	3860
1937	9463	5683	5283	4928	3898	3340	2526	2074	1888	2801	4398	8406	12	0	4557
1938	9301	7050	6633	4861	3652	2981	2582	2154	1994	2623	3498	6641	12	0	4498
1939	9391	9864	5026	4359	3563	3011	2397	2125	1839	1958	3029	4872	12	0	4286
1940	8488	11954	10487	5795	4382	3321	2677	2174	1869	2171	4784	5165	12	0	5272
1941	8433	5443	4700	4985	2888	2456	2229	1813	2144	2563	3371	5251	12	0	3856
1942	6827	6617	10644	6799	4314	4902	3495	2389	2210	2357	3924	5723	12	0	5017
1943	13296	12634	11344	6594	4355	3829	3158	2521	2321	3299	4785	5223	12	0	6113
1944	5053	7476	7916	5166	3852	2849	2455	2054	1769	1888	3554	3941	12	0	3998
1945	5258	11516	9622	10248	5421	3887	3365	2605	2200	2630	4376	9832	12	0	5913
1946	13775	9087	10869	7517	4925	3784	3519	2831	2452	2737	3314	4667	12	0	5790
1947	7457	8889	15429	9875	5485	4096	3508	2926	2988	2944	2949	6300	12	0	6071
1948	8764	8985	9859	6907	3878	3672	2757	2445	2106	2174	2676	6258	12	0	5040
1949	7471	11531	9277	6047	4403	3417	2930	2488	2137	2588	3687	5233	12	0	5101
1950	6687	11176	9200	6555	4390	3370	2827	2326	1982	2679	5195	7698	12	0	5340
1951	9635	11675	10182	7677	4777	3889	3196	2739	2275	2401	2397	3710	12	0	5379
1952	5359	8668	13701	7360	4449	3764	3127	2501	2275	2486	3560	4213	12	0	5122
1953	3650	3562	5262	6034	3495	2607	2276	1932	1959	2657	3136	5117	12	0	3474
1954	4162	7030	4114	3576	3207	2673	1994	1683	1455	1482	2337	3755	12	0	3122
1955	5707	4410	4394	4581	2676	2243	1777	1531	1413	1935	2639	5670	12	0	3248
1956	6206	4045	6124	3849	4013	4249	2892	2793	2257	2016	3388	7287	12	0	4093
1957	9293	10282	10665	9759	6081	4513	3704	3059	3205	2680	3729	6394	12	0	6114
1958	6384	9597	7634	6109	5107	4496	3619	2784	2798	3069	3231	4022	12	0	4904
1959	9410	7789	8886	6767	4187	3375	2748	2484	2088	2203	3463	4288	12	0	4807

Continuação TABELA 6 – Série histórica de vazões da UHE ILHA SOLTEIRA

Ano / Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	NumLidos	NumFal	Média
1960	7406	9376	9656	6279	4685	3368	2996	2491	2031	2276	3899	6482	12	0	5079
1961	11814	13583	13933	7683	6261	4165	3221	2725	2440	2275	3465	4089	12	0	6305
1962	8184	10742	10525	6064	4437	3769	3079	2644	2560	3378	3786	9219	12	0	5699
1963	10716	9851	6286	4116	3131	2879	2407	2142	1919	1880	2590	1984	12	0	4158
1964	5070	9470	5869	4394	3316	2382	2232	1792	1430	2631	3633	5906	12	0	4010
1965	9851	12273	14449	8185	5841	4272	3731	2937	2523	3855	5077	8169	12	0	6764
1966	11742	12588	12255	8007	6086	4350	3485	2891	2724	3427	5550	6486	12	0	6633
1967	11382	12436	10210	7078	4898	4164	3114	2639	2433	2249	4190	6962	12	0	5980
1968	8648	7393	8420	4771	3499	2875	2494	2450	2301	2806	3325	6069	12	0	4588
1969	4616	5834	4989	3376	2648	2231	1869	1666	1387	2192	5661	5432	12	0	3492
1970	8296	8939	9400	5400	3729	2896	2644	2113	2582	2777	3566	3256	12	0	4633
1971	2904	2565	3442	2880	2201	2030	1757	1493	1488	2362	3209	7309	12	0	2803
1972	6412	8623	8153	5629	3623	2952	3003	2391	2077	4856	6566	7069	12	0	5113
1973	8895	8546	7292	8741	4909	3964	3187	2469	2116	3036	5112	6617	12	0	5407
1974	9206	6326	10145	9024	5719	4535	3680	2932	2338	2999	2827	5486	12	0	5435
1975	8153	7052	5335	5592	3539	2631	2618	2047	1670	2431	4059	5802	12	0	4244
1976	6022	7408	7886	6209	4601	4009	3498	3179	3819	4204	5825	9745	12	0	5534
1977	11059	10469	6437	7086	4735	4013	3067	2211	3007	2892	4798	7940	12	0	5643
1978	12240	6925	8546	5742	4545	4502	3475	2725	2565	2686	4929	7903	12	0	5565
1979	11266	13841	9280	6429	5063	4179	3501	3197	3757	3776	4537	6706	12	0	6294
1980	12547	14429	8856	8589	5524	4388	3998	3030	3066	3057	4214	8556	12	0	6688
1981	11156	7237	6780	6078	4135	3925	3032	2755	2231	4060	7690	10739	12	0	5818
1982	14074	12586	16434	11172	7350	6212	4941	4203	3667	4947	5264	8599	12	0	8287
1983	17246	20314	15670	12512	8439	8535	6313	4797	6225	7529	8124	12510	12	0	10685
1984	11372	7987	6769	7198	5776	4015	3395	3398	3600	3341	3425	7083	12	0	5613
1985	11776	12234	12666	8773	5744	4577	3856	3312	3043	2915	3996	4707	12	0	6467
1986	8580	7921	7632	5184	4467	3254	3003	3161	2467	2292	2465	6037	12	0	4705
1987	9105	9626	8503	6908	5022	3996	3178	2600	2744	3146	4194	8049	12	0	5589
1988	8014	10515	10862	7857	5250	4473	3318	2852	2518	3338	4115	5441	12	0	5713

Continuação TABELA 6 – Série histórica de vazões da UHE ILHA SOLTEIRA

Ano / Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	NumLidos	NumFal	Média
1989	8544	10002	8819	5845	4252	3689	3215	2979	2957	2531	4017	9861	12	0	5559
1990	10940	5990	6716	5332	4385	3190	2957	2726	2867	3155	2992	3550	12	0	4567
1991	8028	10835	11367	12344	6601	4771	3942	3107	2795	3912	3358	5168	12	0	6352
1992	9809	14040	9152	8091	6430	4264	3599	3066	3878	5107	7481	7871	12	0	6899
1993	6745	11127	8791	7660	4835	4465	3258	3142	3299	3448	3141	6119	12	0	5503
1994	12161	8242	10680	7179	5148	4016	3401	2890	2259	2334	3595	5705	12	0	5634
1995	6886	14226	8339	7484	5549	3959	3343	2523	2247	2962	3297	4592	12	0	5451
1996	8549	5880	7917	5212	3941	3017	2674	2343	2911	2437	5305	7209	12	0	4783
1997	14539	9749	8522	6968	5142	5836	3802	2952	2724	2951	4165	7789	12	0	6262
1998	6499	8567	8121	5716	4473	3650	2870	2839	2275	3058	3597	5815	12	0	4790
1999	9117	7241	9686	5187	3664	3136	2637	2154	2315	1832	2774	4148	12	0	4491
2000	9089	11633	11027	6575	4227	3477	2966	2814	3589	2141	4120	6782	12	0	5703
2001	5960	4965	5378	4152	3212	2641	2145	1874	1958	2519	3713	5848	12	0	3697
2002	9379	12297	8523	5140	3919	3084	2737	2222	2431	1640	2989	4603	12	0	4914
2003	9705	9860	8302	7339	4470	3566	2924	2387	2200	2183	3142	5234	12	0	5109
2004	7260	11539	10747	8257	5660	4637	3587	2737	2099	2816	3255	6595	12	0	5766
2005	11937	8686	9461	5481	4908	3988	3376	2578	2582	2157	3926	9785	12	0	5739

TABELA 7 – Série histórica de vazões da UHE MOXOTÓ/PAULO AFONSO IV

Ano / Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	NumLidos	NumFal	Média
1931	4932	4470	6506	7283	5075	2507	1918	1656	1456	1356	1890	2100	12	0	3429
1932	3729	4726	3369	2113	1460	1317	1193	1014	914	938	1742	3500	12	0	2168
1933	4880	5908	3502	2817	2013	1378	1270	1098	931	1059	1757	3002	12	0	2468
1934	5915	4893	2831	1688	1808	1215	1013	915	1027	1012	905	1539	12	0	2063
1935	4175	5685	5991	4609	4390	2106	1599	1278	1081	1055	1179	2242	12	0	2949
1936	2849	2563	4114	3023	2212	1352	1116	956	871	996	1420	2567	12	0	2003
1937	4477	5572	4772	3389	2464	1511	1263	1057	925	878	2099	4435	12	0	2737
1938	6164	4712	4019	2504	1749	1445	1183	1038	972	900	1321	2909	12	0	2410
1939	5102	5871	5585	2263	1663	1313	1122	1048	949	1244	1029	1666	12	0	2405
1940	3106	4757	6548	5086	2139	1496	1211	1082	879	918	1700	4189	12	0	2759
1941	4857	4930	4864	4862	3234	1725	1437	1305	1030	1079	1609	2305	12	0	2770
1942	4410	4819	5217	3810	2442	1595	1331	1142	1018	1300	1986	5082	12	0	2846
1943	6287	9206	8744	5632	3083	2174	1820	1545	1329	1329	2042	5045	12	0	4020
1944	6403	5146	5231	4032	2692	1783	1502	1302	1129	967	1638	3604	12	0	2952
1945	5678	6972	8193	7572	9046	4580	2683	2133	1746	1831	3043	5398	12	0	4906
1946	7008	10823	4787	5586	3866	2554	2051	1766	1510	1538	1973	3866	12	0	3944
1947	3740	5059	6156	8024	4980	2446	1978	1676	1603	1431	3028	4201	12	0	3694
1948	6233	4753	5652	4383	2317	1879	1614	1392	1212	1241	1426	4682	12	0	3065
1949	7507	9317	13111	8133	3706	2695	2208	1862	1582	1408	2820	2928	12	0	4773
1950	4666	4619	3678	3990	2808	1787	1543	1340	1100	1250	1890	4109	12	0	2732
1951	4454	4200	4774	4972	2823	1901	1525	1302	1129	1025	975	1405	12	0	2540
1952	3262	4574	5873	7205	3735	2038	1654	1348	1172	1183	1535	3389	12	0	3081
1953	4049	1773	2626	3897	2154	1357	1129	993	870	1059	1463	2908	12	0	2023
1954	4839	2714	3176	2541	1488	1266	1000	875	733	654	797	3316	12	0	1950
1955	2608	4157	2313	2624	1633	1093	922	806	696	623	1822	3119	12	0	1868
1956	5390	2684	4413	3057	1738	1677	1415	1090	931	837	1237	3568	12	0	2336
1957	5915	7250	7520	8311	6592	3036	2095	1709	1400	1528	1359	4131	12	0	4237
1958	3998	5108	3810	3202	2563	1745	1424	1457	1111	1426	1916	1599	12	0	2447
1959	3573	3941	3397	3071	1436	1156	1036	921	832	818	1512	2625	12	0	2027

Continuação TABELA 7 – Série histórica de vazões da UHE MOXOTÓ/PAULO AFONSO IV

Ano / Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	NumLidos	NumFal	Média
1960	3225	5701	9090	7453	2713	1858	1423	1182	1004	904	996	3758	12	0	3276
1961	5530	7722	6675	3870	2393	1810	1424	1213	1023	881	1042	1493	12	0	2923
1962	3364	5374	4547	3550	2063	1526	1280	1059	845	1086	1844	2732	12	0	2439
1963	5568	6747	3959	1766	1459	1142	1007	916	811	725	850	1181	12	0	2178
1964	3250	7989	6056	3020	1702	1216	1030	949	755	814	2536	4130	12	0	2787
1965	5208	5053	5467	6250	3170	1921	1537	1306	1089	1294	2503	4135	12	0	3244
1966	4210	6098	6788	5026	2774	1990	1580	1402	1213	1170	1788	2408	12	0	3037
1967	5023	4693	4455	4578	2863	1586	1325	1155	989	899	1465	3770	12	0	2733
1968	5478	4871	6702	5634	2529	1685	1456	1319	1254	1199	1675	4246	12	0	3171
1969	3209	4203	4531	2786	1697	1275	1125	1006	857	856	2183	4842	12	0	2381
1970	6132	6437	5226	2683	2051	1463	1285	1121	1060	1473	2712	2897	12	0	2878
1971	1737	1474	1759	1733	1266	913	840	757	742	1048	2132	6005	12	0	1701
1972	5516	2885	3388	3016	2049	1288	1124	1073	867	1260	1816	3899	12	0	2348
1973	4630	3847	3650	4737	2302	1502	1272	1041	851	1167	3089	4386	12	0	2706
1974	4657	3735	4305	6335	3484	1797	1421	1252	1113	1048	1816	2373	12	0	2778
1975	4206	4117	2921	2415	2201	1285	1319	988	823	873	2217	2832	12	0	2183
1976	2109	1952	2160	1847	1058	1040	828	766	874	1472	2025	4593	12	0	1727
1977	5091	6178	2398	2294	2068	1378	1181	962	910	1143	1335	2740	12	0	2307
1978	5466	5355	6863	4206	2810	2273	1558	1487	1213	1426	2063	3655	12	0	3198
1979	5989	9213	16102	8160	3901	2822	2287	1995	1981	2018	3197	3309	12	0	5081
1980	6072	9827	11431	4781	3794	2423	2244	1911	1693	1802	2227	4524	12	0	4394
1981	5911	5412	4765	6273	3003	2071	1692	1515	1419	1779	4042	6218	12	0	3675
1982	6804	8041	7650	7206	4334	2771	2159	1815	1666	1700	1737	1880	12	0	3980
1983	4737	7691	9721	7417	4915	2797	2151	1981	1538	1961	3801	5818	12	0	4544
1984	6728	3363	2840	4230	2138	1478	1308	1174	1383	1494	1838	3731	12	0	2642
1985	5808	8448	7612	7766	3451	2083	1664	1478	1430	1798	2287	3491	12	0	3943
1986	6020	7886	5402	2638	1912	1429	1329	1312	1249	1061	1198	1855	12	0	2774
1987	3271	2779	2711	3126	1879	1260	1160	926	920	1014	1431	3434	12	0	1993
1988	5588	3712	4653	3594	2241	1317	1109	1128	1106	1101	1719	2510	12	0	2482

Continuação TABELA 7 – Série histórica de vazões da UHE MOXOTÓ/PAULO AFONSO IV

Ano / Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	NumLidos	NumFal	Média
1989	3893	2655	3193	2010	1404	1080	1068	1016	940	980	1699	6032	12	0	2164
1990	9620	4363	3313	2301	1425	1122	1144	1081	1073	1189	1411	1618	12	0	2472
1991	3282	5432	4932	5481	2727	1613	1287	1173	1108	1425	1949	3271	12	0	2807
1992	4733	9134	13912	4732	3050	1971	1574	1450	1465	1925	4069	5068	12	0	4424
1993	6090	4734	4405	2746	1965	1486	1302	1279	1130	1295	1372	1897	12	0	2475
1994	5144	5145	4887	5396	2376	1718	1430	1175	1197	933	991	3097	12	0	2791
1995	3105	2995	3237	2837	1893	1490	1122	1012	811	955	1696	3121	12	0	2023
1996	4729	2457	2199	1986	1382	1079	903	710	688	824	1549	3457	12	0	1830
1997	5991	5241	4323	4612	2707	1804	1394	1260	1113	1152	1318	3033	12	0	2829
1998	3574	3346	3341	1686	1252	983	851	787	719	709	1842	3204	12	0	1858
1999	3196	1957	3892	2714	1336	933	797	697	782	619	1479	3223	12	0	1802
2000	4364	5092	4530	3789	1855	1243	964	1018	934	852	1653	3616	12	0	2493
2001	3553	1826	1767	1377	862	850	685	631	668	737	1135	2147	12	0	1353
2002	5244	4766	3671	2362	1110	894	847	662	501	672	909	1783	12	0	1952
2003	4087	4574	2720	2712	1406	998	896	755	687	507	823	1582	12	0	1812
2004	3017	4910	6771	5422	2941	1526	1316	1027	905	883	1044	1734	12	0	2625
2005	4276	4940	4887	4069	2320	1560	1186	1028	920	837	1166	4504	12	0	2641

TABELA 8 – Série histórica de vazões da UHE SANTA BRANCA

Ano / Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	NumLidos	NumFal	Média
1931	128	191	139	95	74	64	53	48	58	71	70	119	12	0	93
1932	138	112	145	79	96	73	55	57	48	62	56	105	12	0	86
1933	104	75	67	50	50	41	39	34	49	48	48	82	12	0	57
1934	144	97	89	70	52	45	40	36	45	49	46	119	12	0	69
1935	90	198	116	85	61	54	44	41	54	77	53	48	12	0	77
1936	58	72	191	119	70	55	46	48	58	48	48	83	12	0	75
1937	123	115	80	79	76	57	43	38	32	57	75	105	12	0	73
1938	124	144	114	89	71	68	54	66	62	84	82	99	12	0	88
1939	122	119	91	130	74	59	52	40	41	44	60	81	12	0	76
1940	144	184	111	75	63	49	40	36	38	53	61	74	12	0	77
1941	89	84	93	63	45	39	38	29	69	69	71	96	12	0	65
1942	94	94	90	85	56	47	51	38	37	41	56	87	12	0	65
1943	91	92	88	57	40	38	32	39	32	51	46	68	12	0	56
1944	80	177	190	89	72	51	45	37	34	34	56	53	12	0	77
1945	84	159	114	97	62	79	59	41	45	39	49	60	12	0	74
1946	121	87	108	81	53	49	43	34	27	61	61	67	12	0	66
1947	160	160	176	108	80	106	80	70	82	82	97	145	12	0	112
1948	124	171	166	108	93	72	60	63	57	51	60	73	12	0	92
1949	138	120	107	83	57	60	52	44	43	50	62	75	12	0	74
1950	152	212	171	119	86	66	55	47	45	62	72	128	12	0	101
1951	150	166	191	141	92	73	66	60	49	64	59	76	12	0	99
1952	132	184	161	91	68	81	59	55	61	52	67	71	12	0	90
1953	54	80	72	76	72	51	45	45	44	44	69	63	12	0	60
1954	62	75	72	60	71	53	44	36	37	50	41	50	12	0	54
1955	90	55	62	64	49	41	34	34	32	33	71	67	12	0	53
1956	67	77	108	68	73	67	52	62	47	56	61	69	12	0	67
1957	120	90	112	107	66	60	54	47	72	53	78	71	12	0	78
1958	99	92	104	88	104	81	62	52	62	70	106	124	12	0	87
1959	127	159	125	115	71	58	52	55	44	40	62	67	12	0	81

Continuação TABELA 8 – Série histórica de vazões da UHE SANTA BRANCA

Ano / Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	NumLidos	NumFal	Média
1960	77	154	134	66	65	52	56	54	48	59	69	122	12	0	80
1961	141	207	201	118	85	69	62	54	50	44	56	81	12	0	97
1962	123	170	146	81	66	55	53	54	64	81	77	144	12	0	93
1963	126	153	104	70	54	51	47	47	34	46	64	46	12	0	70
1964	53	99	71	62	55	46	51	44	38	52	53	80	12	0	59
1965	159	110	116	82	87	68	62	49	51	73	75	115	12	0	87
1966	158	116	163	127	88	65	62	66	60	76	123	146	12	0	104
1967	215	308	277	145	101	93	81	63	69	85	104	111	12	0	138
1968	125	88	113	90	67	56	48	53	48	46	40	70	12	0	70
1969	74	116	100	73	55	55	44	45	38	59	92	107	12	0	72
1970	142	166	138	84	63	57	56	54	63	63	71	76	12	0	86
1971	79	93	112	73	62	68	55	61	55	71	80	110	12	0	77
1972	114	170	110	76	54	45	48	49	53	69	72	70	12	0	78
1973	131	115	78	82	77	49	52	40	50	49	63	109	12	0	75
1974	211	101	95	77	56	66	49	39	37	41	40	84	12	0	75
1975	114	146	87	65	56	49	45	33	33	57	82	130	12	0	75
1976	130	147	123	109	103	82	106	84	100	80	86	124	12	0	106
1977	203	97	83	98	65	62	47	45	63	57	67	103	12	0	83
1978	138	85	79	51	55	62	48	33	32	36	65	69	12	0	63
1979	80	74	106	67	64	48	52	52	65	53	90	98	12	0	71
1980	131	135	90	97	51	57	46	49	44	58	61	102	12	0	77
1981	139	80	99	100	58	58	53	44	36	52	71	98	12	0	74
1982	117	89	119	90	60	89	60	64	55	86	79	142	12	0	88
1983	143	144	133	163	132	190	102	82	152	104	105	145	12	0	133
1984	124	68	81	92	80	55	51	58	61	50	56	72	12	0	71
1985	183	182	192	163	106	77	61	54	66	50	57	74	12	0	105
1986	76	147	157	82	77	54	66	65	59	57	72	182	12	0	91
1987	171	153	99	133	124	111	72	59	69	70	55	62	12	0	98
1988	111	175	124	101	106	89	57	49	57	69	72	85	12	0	91

Continuação TABELA 8 – Série histórica de vazões da UHE SANTA BRANCA

Ano / Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	NumLidos	NumFal	Média
1989	126	191	143	105	77	82	90	65	68	53	60	81	12	0	95
1990	82	55	87	73	53	41	49	45	50	67	53	42	12	0	58
1991	114	131	163	123	79	66	52	41	51	86	43	54	12	0	84
1992	97	74	74	57	66	36	48	39	56	61	91	99	12	0	67
1993	81	138	128	81	57	63	44	36	72	63	34	51	12	0	71
1994	72	95	113	91	69	55	46	35	37	48	58	82	12	0	67
1995	94	236	110	70	63	53	57	45	41	102	78	89	12	0	87
1996	184	304	244	133	99	74	62	57	86	67	81	105	12	0	125
1997	161	98	71	64	55	66	46	39	57	61	94	78	12	0	74
1998	108	137	106	68	79	63	45	44	69	95	64	77	12	0	80
1999	162	161	106	84	57	64	50	40	52	50	55	69	12	0	79
2000	146	119	104	84	56	47	52	51	67	43	84	109	12	0	80
2001	90	120	85	53	56	42	42	41	52	59	49	79	12	0	64
2002	141	136	78	58	55	44	42	38	46	35	70	97	12	0	70
2003	121	71	77	50	38	34	36	29	30	50	52	53	12	0	53
2004	87	119	82	84	66	73	68	41	36	50	58	70	12	0	70
2005	141	115	87	125	84	55	52	38	59	66	75	93	12	0	83

TABELA 9 – Série histórica de vazões da UHE SOBRADINHO

Ano / Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	NumLidos	NumFal	Média
1929	5315	5911	7381	6333	3668	2443	2081	1775	1517	1192	1629	4121	12	0	3613,83
1930	3696	3653	3658	2803	2070	1550	1322	1144	996	934	2884	4956	12	0	2472,17
1931	4674	4803	6628	7331	4465	2395	1867	1617	1446	1373	1933	2205	12	0	3394,75
1932	4034	4529	3211	1974	1422	1289	1173	993	902	980	2104	3592	12	0	2183,58
1933	5011	5513	3426	2690	1902	1354	1248	1070	912	1192	1796	3334	12	0	2454,00
1934	6107	4220	2295	1613	1782	1165	994	894	796	874	902	1603	12	0	1937,08
1935	4517	5439	5406	4714	3737	2008	1554	1234	1053	1077	1175	2583	12	0	2874,75
1936	2693	2661	4171	2761	2107	1297	1089	931	858	884	1595	2721	12	0	1980,67
1937	4640	5595	4239	2885	2234	1452	1228	1034	897	917	2392	4700	12	0	2684,42
1938	6305	4234	3847	2369	1611	1417	1155	1031	954	911	1536	2955	12	0	2360,42
1939	5093	5895	4888	2153	1625	1256	1104	1033	933	1282	1017	1705	12	0	2332,00
1940	3101	4736	5497	4295	1911	1413	1185	1052	858	923	2135	3790	12	0	2574,67
1941	5002	4420	4129	4789	2718	1656	1420	1257	1019	1134	1667	2312	12	0	2626,92
1942	4621	4417	5274	3357	2271	1544	1297	1114	1021	1321	2271	5167	12	0	2806,25
1943	6183	9463	7963	5094	2878	2110	1771	1519	1286	1391	2202	5147	12	0	3917,25
1944	6325	4860	4746	3726	2515	1735	1465	1275	1100	959	1649	3845	12	0	2850,00
1945	5629	6941	7969	7147	8760	3936	2588	2075	1700	1975	3264	5590	12	0	4797,83
1946	7281	10073	4592	5588	3578	2450	2006	1722	1494	1515	2168	3766	12	0	3852,75
1947	3746	5139	5702	7280	4315	2350	1939	1623	1610	1433	3109	4245	12	0	3540,92
1948	6340	4517	5418	4013	2207	1843	1578	1356	1203	1321	1501	5152	12	0	3037,42
1949	7846	9216	13040	7131	3496	2586	2151	1817	1544	1461	2925	2941	12	0	4679,50
1950	4447	4712	3457	3780	2617	1739	1512	1301	1072	1262	2135	4124	12	0	2679,83
1951	4175	4152	4435	4851	2518	1842	1483	1272	1099	1023	938	1638	12	0	2452,17
1952	3306	4714	5788	6934	3253	1967	1600	1307	1188	1132	1778	3389	12	0	3029,67
1953	3559	1789	2681	3736	1930	1303	1103	967	852	1156	1407	3185	12	0	1972,33
1954	4401	2775	2776	2425	1439	1195	974	847	710	640	876	3540	12	0	1883,17
1955	2306	4047	2161	2611	1432	1067	894	782	671	655	1973	3301	12	0	1825,00
1956	5366	2211	4581	2538	1768	1634	1320	1061	897	835	1464	3683	12	0	2279,83
1957	5944	7114	6899	7959	5810	2762	2027	1638	1366	1516	1411	4338	12	0	4065,33

Continuação TABELA 9 – Série histórica de vazões da UHE SOBRADINHO

Ano / Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	NumLidos	NumFal	Média
1958	3619	5208	3381	3099	2415	1691	1406	1414	1121	1512	1833	1794	12	0	2374,42
1959	3597	3655	3490	2702	1357	1132	1008	898	813	841	1595	2707	12	0	1982,92
1960	3287	5725	6119	6052	2461	1757	1380	1143	970	894	1071	4167	12	0	2918,83
1961	5323	6270	5593	3445	2395	1745	1349	1159	972	880	1018	1583	12	0	2644,33
1962	3183	4800	3643	2829	2048	1640	1526	1080	841	1108	1787	3090	12	0	2297,92
1963	6179	7017	3396	1687	1498	1289	1249	1197	1124	1054	1215	1347	12	0	2354,33
1964	3152	6392	4214	2228	1461	1202	1107	1088	1005	1206	3183	4042	12	0	2523,33
1965	4268	4423	5404	5770	2747	1908	1725	1542	1354	1705	2880	4103	12	0	3152,42
1966	3619	6067	6208	4213	2552	1994	1765	1697	1481	1733	2248	2462	12	0	3003,25
1967	4162	4134	3601	3294	2460	1680	1532	1438	1298	1267	1786	3390	12	0	2503,50
1968	5498	4075	5910	4897	2360	1845	1720	1634	1580	1581	1960	4053	12	0	3092,75
1969	2593	3515	3585	2327	1782	1446	1526	1483	1263	1260	2141	4011	12	0	2244,33
1970	4997	5906	4506	2494	1971	1623	1525	1451	1529	1937	3118	2870	12	0	2827,25
1971	2082	2015	2060	1533	1233	1016	912	867	787	1025	1860	4929	12	0	1693,25
1972	3718	2279	3000	2816	1804	1380	1288	1216	1166	1517	1811	3795	12	0	2149,17
1973	4490	3464	3066	4345	1992	1495	1368	1210	1238	1599	3517	4444	12	0	2685,67
1974	4052	2855	2844	4738	2831	1897	1674	1459	1278	1360	2001	2186	12	0	2431,25
1975	3718	3761	2251	2426	2011	1408	1351	1185	1026	1346	2238	2281	12	0	2083,50
1976	1816	1877	1937	1667	1277	1552	1382	1414	1456	1552	1879	3689	12	0	1791,50
1977	3533	5309	2153	1868	1812	1524	1381	1159	1130	1639	1759	2659	12	0	2160,50
1978	4464	4384	5963	4418	2606	2092	1543	1419	1154	1565	1869	3113	12	0	2882,50
1979	4835	7763	15059	6494	3457	2520	1969	1674	1727	1823	3019	2947	12	0	4440,58
1980	5123	9281	10081	4109	2942	2113	2036	1764	1578	1830	2273	4147	12	0	3939,75
1981	5030	4121	3249	5174	2399	2009	1570	1508	1371	1719	3545	5756	12	0	3120,92
1982	6342	7851	6732	6535	3199	2379	2050	1789	1711	1765	1650	1493	12	0	3624,67
1983	4295	6849	9465	6731	4530	2559	2128	1775	1406	1793	3630	5579	12	0	4228,33
1984	6150	2696	2456	3220	1836	1457	1356	1245	1314	1356	1604	3226	12	0	2326,33
1985	3912	7034	6017	4463	2170	1644	1437	1321	1251	1542	1987	2878	12	0	2971,33
1986	5721	6885	4321	2056	1790	1438	1331	1315	1265	1266	1405	1769	12	0	2546,83

Continuação TABELA 9 – Série histórica de vazões da UHE SOBRADINHO

Ano / Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	NumLidos	NumFal	Média
1987	2452	2201	2530	2543	1632	1399	1230	1160	1067	1128	1399	3231	12	0	1831,00
1988	4381	2882	3229	2511	1642	1249	1190	1103	1045	1148	1664	2593	12	0	2053,08
1989	3019	2213	2438	1571	1209	1067	1111	995	899	960	1695	4323	12	0	1791,67
1990	8120	3070	2724	1689	1235	1014	1016	885	868	850	1152	1577	12	0	2016,67
1991	2616	3414	3449	4842	2122	1300	1131	1036	1001	1224	1937	2904	12	0	2248,00
1992	3925	8604	12462	3247	2508	1610	1436	1249	1271	1607	3589	4695	12	0	3850,25
1993	5858	4013	3345	2048	1546	1288	1132	1008	985	1268	1262	1871	12	0	2135,33
1994	4822	4287	4067	4032	1843	1419	1270	1099	997	937	1038	2816	12	0	2385,58
1995	2652	2553	2163	2240	1584	1235	1129	1010	902	991	1665	2869	12	0	1749,42
1996	3425	1732	1975	1549	1304	1149	1021	980	940	1022	1672	2498	12	0	1605,58
1997	4221	3554	3652	3629	2289	1637	1366	1191	1202	1313	1431	2613	12	0	2341,50
1998	2548	2799	2676	1509	1210	1133	904	858	796	881	1935	2972	12	0	1685,08
1999	2583	1506	3295	1723	1228	1053	991	878	737	811	1432	2713	12	0	1579,17
2000	3536	3843	3309	2737	1594	1260	1197	1120	1143	1026	2030	3347	12	0	2178,50
2001	2600	1533	1675	1155	929	811	712	630	629	709	1134	1827	12	0	1195,33
2002	3423	3517	2405	1678	915	906	907	810	790	996	1183	1782	12	0	1609,33
2003	3427	3418	2269	2394	1371	1078	940	841	802	763	1008	1380	12	0	1640,92
2004	2857	3994	4925	4072	2079	1185	1103	1035	931	997	1113	1823	12	0	2176,17
2005	3300	4384	4255	3396	1770	1263	1087	1007	954	940	1517	4070	12	0	2328,58

TABELA 10 – Série histórica de vazões da UHE TRÊS MARIAS

Ano / Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	NumLidos	NumFal	Média
1931	940	1932	1858	1189	687	472	380	312	375	385	469	579	12	0	798
1932	1134	959	655	409	316	273	215	172	161	322	593	1344	12	0	546
1933	1994	809	686	534	371	286	246	208	200	318	435	1388	12	0	623
1934	1343	486	520	380	279	199	168	147	179	150	337	584	12	0	398
1935	1258	1835	987	1036	636	447	357	296	240	299	344	629	12	0	697
1936	437	441	814	625	335	228	193	169	229	211	611	784	12	0	423
1937	1643	1683	690	504	487	321	252	199	165	394	1052	2421	12	0	818
1938	1729	1207	926	597	470	351	280	267	240	324	694	1576	12	0	722
1939	2379	1946	825	649	488	359	308	253	224	370	393	676	12	0	739
1940	1100	1377	1349	530	367	269	218	184	177	272	1043	1321	12	0	684
1941	1820	905	924	1158	515	342	295	220	220	304	361	1097	12	0	680
1942	1595	896	1276	674	397	297	236	190	211	304	827	1603	12	0	709
1943	3257	1853	1590	885	613	474	400	346	294	378	684	1566	12	0	1028
1944	783	1394	1101	744	416	318	270	221	182	213	389	914	12	0	579
1945	1340	2116	1395	1684	819	582	461	348	298	354	959	2172	12	0	1044
1946	2485	1094	1409	1212	622	449	356	282	267	327	658	730	12	0	824
1947	1417	1698	2228	1307	626	456	383	301	362	387	598	1269	12	0	919
1948	1431	1075	1043	577	331	276	213	178	152	217	648	1549	12	0	641
1949	1975	3273	1701	1329	730	529	430	341	273	391	560	1029	12	0	1047
1950	922	1485	1109	786	504	379	291	230	209	277	787	1216	12	0	683
1951	1055	1442	1385	1433	642	479	378	304	251	274	268	542	12	0	704
1952	989	2030	2716	1236	655	461	407	331	357	285	575	812	12	0	905
1953	366	530	736	755	365	258	202	164	163	242	537	1029	12	0	446
1954	521	701	354	466	300	197	152	123	108	105	389	439	12	0	321
1955	953	570	522	561	216	183	136	107	94	212	395	1359	12	0	442
1956	1006	610	986	369	414	348	229	205	187	179	287	1139	12	0	497
1957	1472	1113	1355	1450	655	401	324	269	262	255	626	1403	12	0	799
1958	759	816	676	472	347	271	263	191	244	326	327	481	12	0	431
1959	855	584	892	423	269	192	148	133	119	220	521	544	12	0	408

Continuação TABELA 10 – Série histórica de vazões da UHE TRÊS MARIAS

Ano / Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	NumLidos	NumFal	Média
1960	1202	1239	1489	562	343	252	202	164	188	194	538	1270	12	0	637
1961	2136	2337	1774	761	590	372	277	202	169	150	315	590	12	0	806
1962	1402	1565	1325	638	401	306	217	192	196	285	575	1837	12	0	745
1963	1680	1161	569	334	248	206	164	165	154	165	212	163	12	0	435
1964	1175	1686	635	333	281	184	214	155	119	368	705	1074	12	0	577
1965	1739	2545	2504	994	628	390	299	247	187	592	886	1131	12	0	1012
1966	2371	1986	1411	785	587	440	373	296	229	389	788	1344	12	0	917
1967	1932	1947	1260	873	522	448	367	279	257	286	919	1260	12	0	863
1968	1333	1265	1309	655	431	334	304	277	279	423	388	1154	12	0	679
1969	832	825	532	359	269	263	214	144	150	335	1174	1270	12	0	531
1970	1359	987	656	596	306	215	207	201	297	445	610	328	12	0	517
1971	221	219	287	157	137	64	58	95	155	332	832	2143	12	0	392
1972	893	918	1075	749	403	305	299	242	264	559	1159	941	12	0	651
1973	1376	1186	1392	935	453	313	279	239	201	570	1206	1200	12	0	779
1974	1370	717	1085	648	396	338	282	262	184	308	299	1035	12	0	577
1975	1692	1184	454	560	387	285	314	221	206	375	734	728	12	0	595
1976	497	494	500	296	283	177	126	144	294	314	862	1591	12	0	465
1977	1307	1102	536	646	309	267	186	181	195	172	585	828	12	0	526
1978	1575	935	820	558	403	391	287	249	208	302	556	1437	12	0	643
1979	1675	4435	1772	1115	718	534	439	384	427	417	723	1051	12	0	1141
1980	2682	2274	789	1180	543	488	401	330	280	232	600	1145	12	0	912
1981	1383	659	913	588	387	371	253	252	177	607	1849	2036	12	0	790
1982	2877	1783	2504	1455	758	561	451	352	319	492	460	1049	12	0	1088
1983	3009	3744	2382	2095	1287	1062	747	487	531	957	1631	2496	12	0	1702
1984	1422	719	653	623	394	304	212	189	351	329	415	1297	12	0	576
1985	2545	2243	2117	979	656	467	384	333	355	396	608	790	12	0	989
1986	2172	1606	876	541	444	337	322	331	193	110	225	861	12	0	668
1987	1360	826	619	799	371	290	237	168	178	245	335	1252	12	0	557
1988	863	1575	963	513	321	246	164	166	136	276	319	644	12	0	516

Continuação TABELA 10 – Série histórica de vazões da UHE TRÊS MARIAS

Ano / Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	NumLidos	NumFal	Média
1989	737	813	770	297	218	194	136	145	151	216	497	1193	12	0	447
1990	1172	569	525	329	266	179	173	134	165	153	278	282	12	0	352
1991	1817	1636	1389	1300	540	359	273	215	242	367	442	602	12	0	765
1992	2043	3606	1328	847	641	394	324	275	344	497	1358	1495	12	0	1096
1993	1164	1452	992	805	421	381	270	237	248	290	292	659	12	0	601
1994	2301	681	1483	649	538	344	296	230	194	209	358	762	12	0	670
1995	488	1316	867	580	411	272	250	172	127	245	528	1187	12	0	537
1996	1486	639	659	408	283	197	165	80	190	204	1097	1272	12	0	557
1997	3503	1173	1375	946	575	562	404	358	254	338	428	1637	12	0	963
1998	1240	1241	770	511	457	379	256	248	196	262	681	698	12	0	578
1999	907	600	1637	533	343	216	193	106	104	133	608	759	12	0	512
2000	1069	2131	1451	688	419	310	239	166	240	112	570	915	12	0	693
2001	741	322	445	215	158	138	117	111	119	199	428	796	12	0	316
2002	1329	1808	961	428	304	233	187	112	159	86	345	860	12	0	568
2003	1656	1178	883	488	327	249	218	169	151	101	220	718	12	0	530
2004	1288	1791	1838	1050	477	394	332	261	195	196	210	1009	12	0	753
2005	1709	1240	1614	601	566	398	310	255	242	187	690	1560	12	0	781

**ANEXO C – ESTUDOS DOS INDICADORES DE REGIME HIDROLÓGICO
DOS CORPOS HIDRICOS – APRESENTAÇÃO DAS CURVAS DE
PERMANÊNCIA DE VAZÕES**

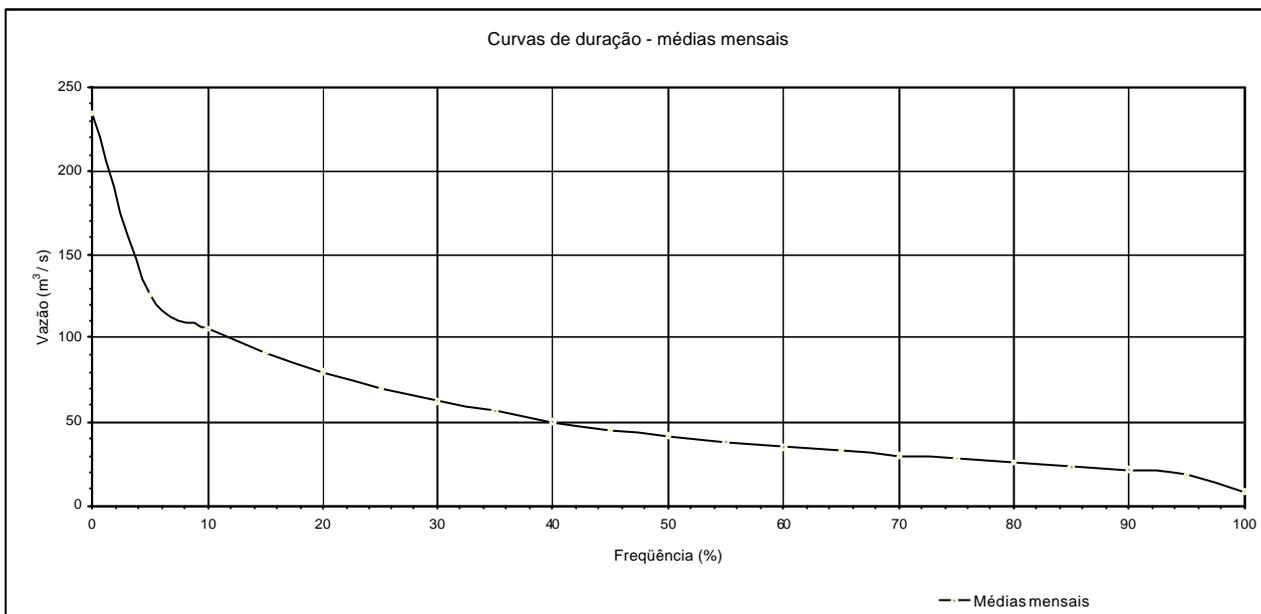


Gráfico 1 – Curva de permanência série histórica completa UHE Caconde

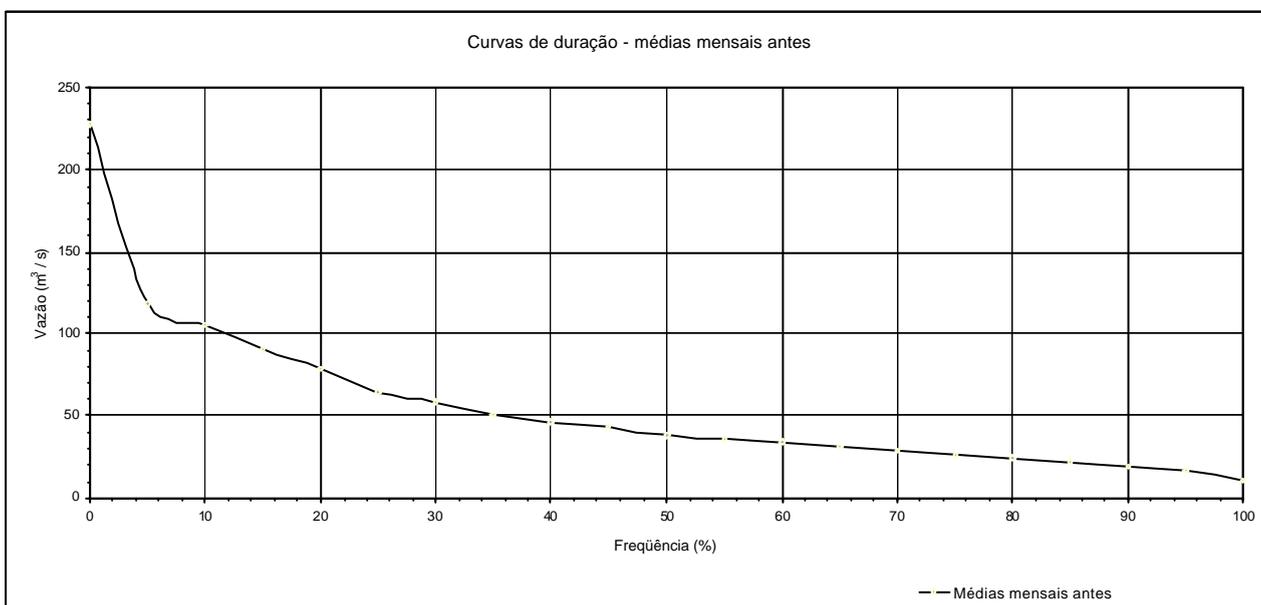


Gráfico 2– Curva de permanência série histórica projeto UHE Caconde

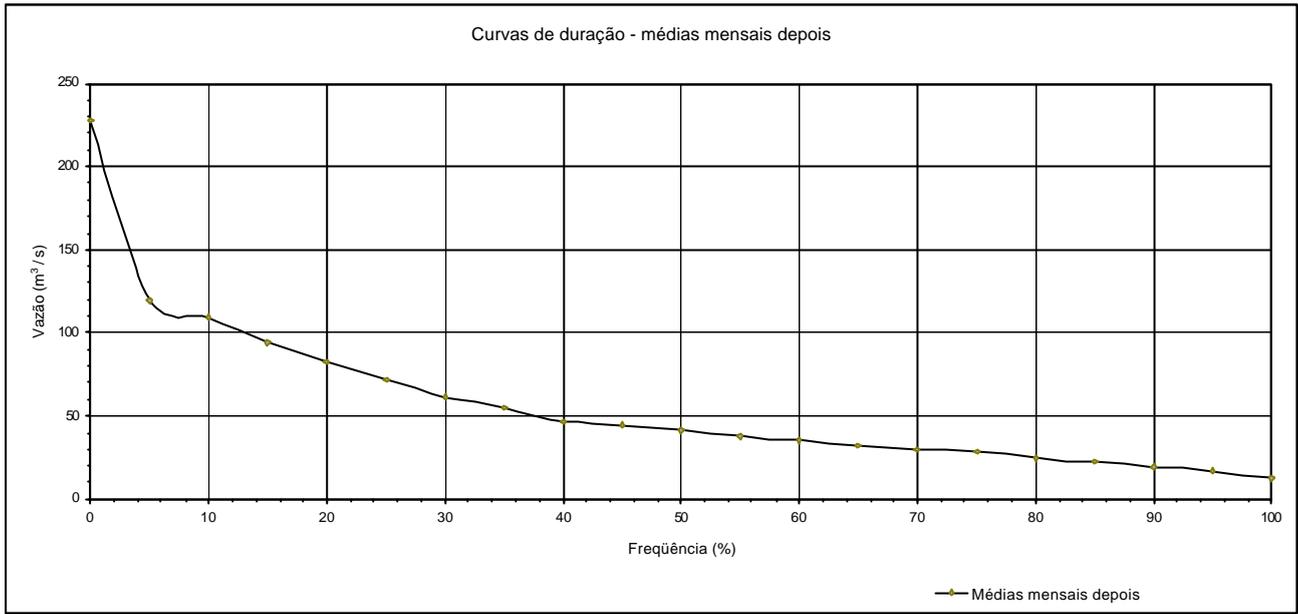


Gráfico 3 – Curva de permanência série histórica operação UHE Caconde

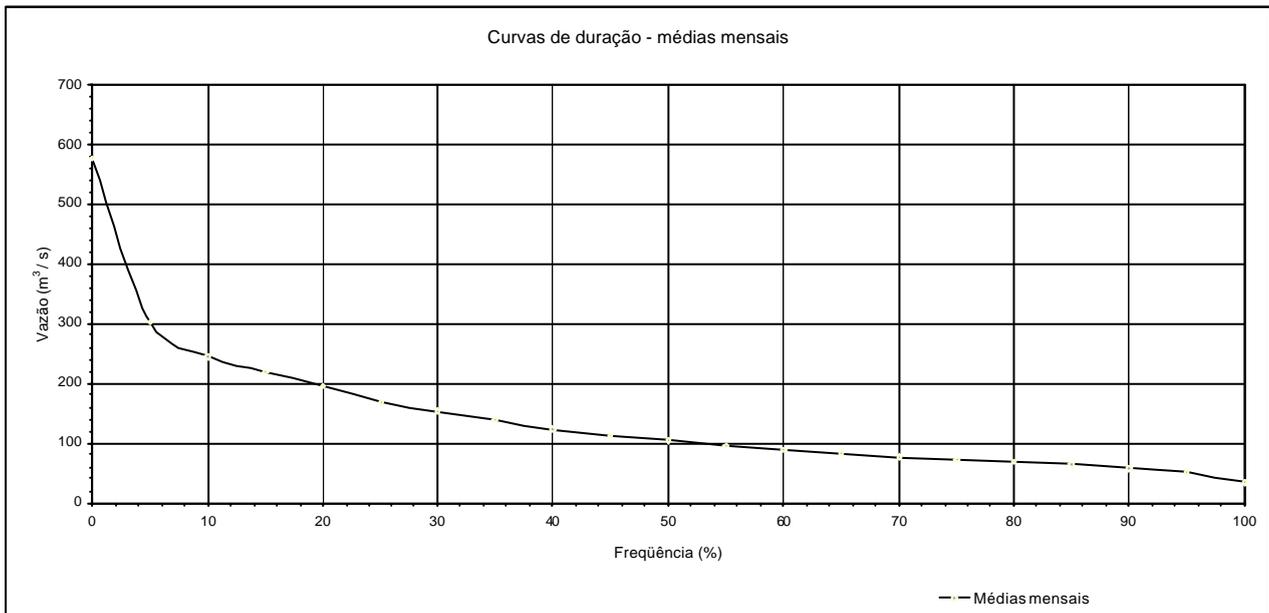


Gráfico 4 – Curva de permanência série histórica completa UHE Camargos

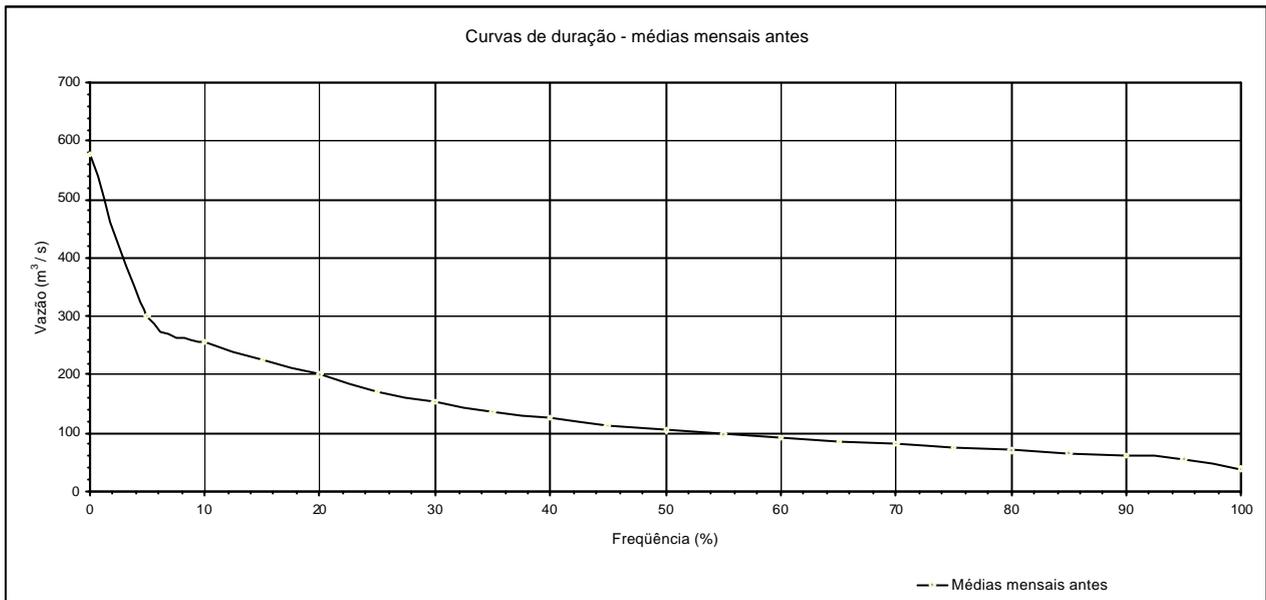


Gráfico 5 – Curva de permanência série histórica projeto UHE Camargos

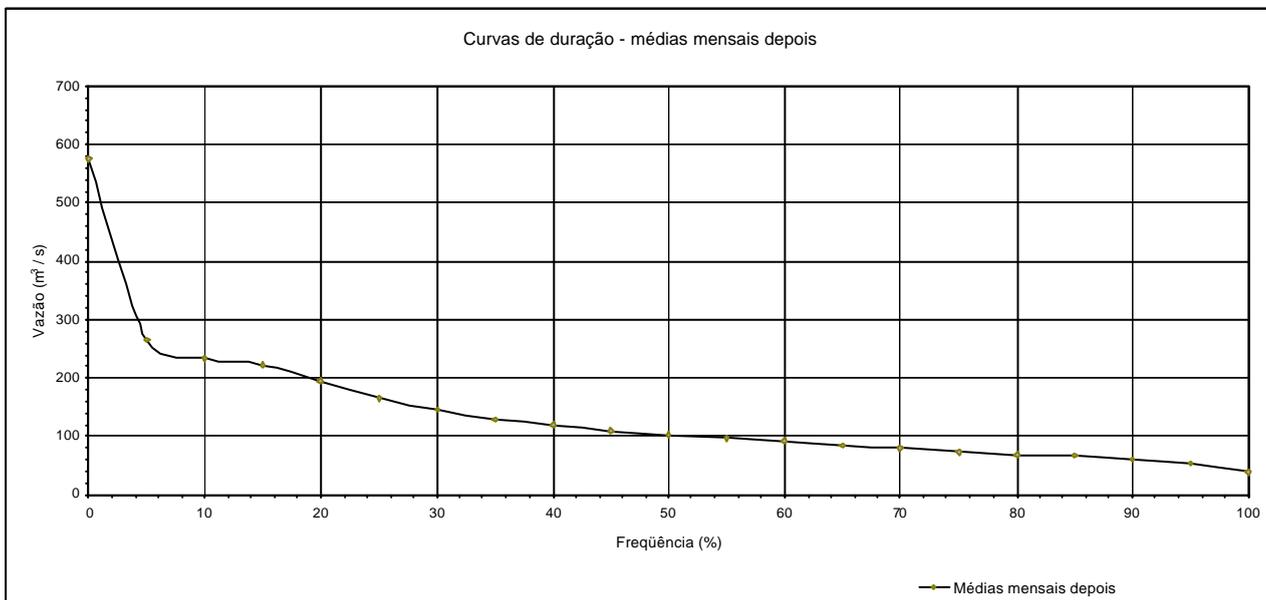


Gráfico 6 – Curva de permanência série histórica operação UHE Camargos

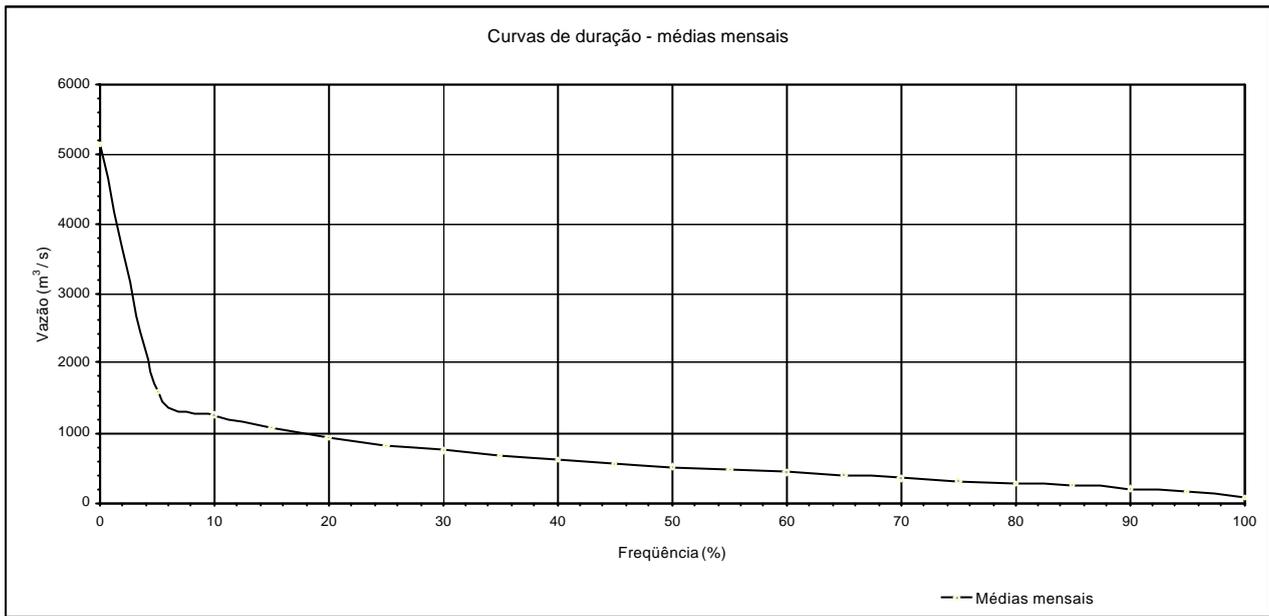


Gráfico 7 – Curva de permanência série histórica completa UHE Foz do Areia

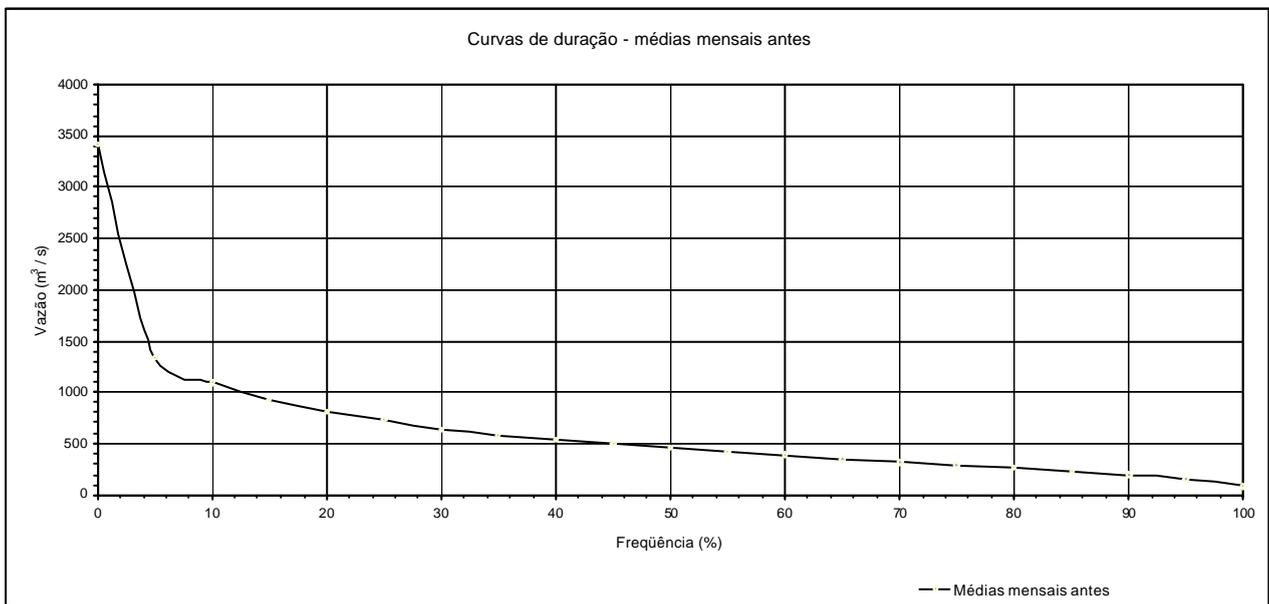


Gráfico 8 – Curva de permanência série histórica projeto UHE Foz do Areia

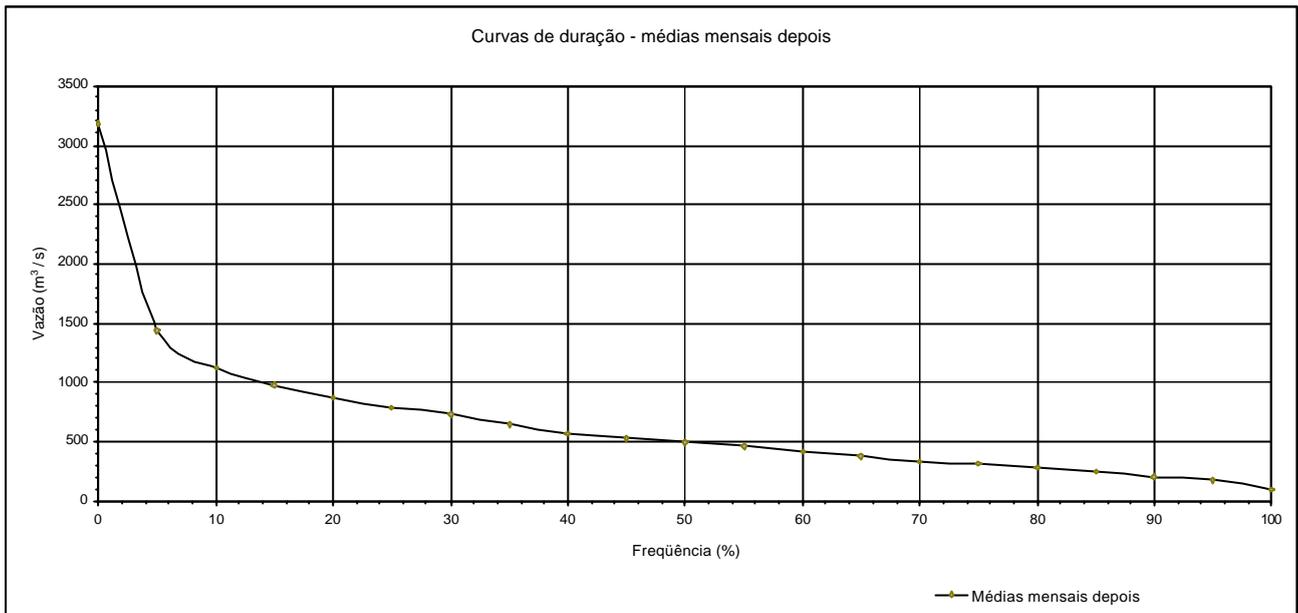


Gráfico 9 – Curva de permanência série histórica operação UHE Foz do Areia

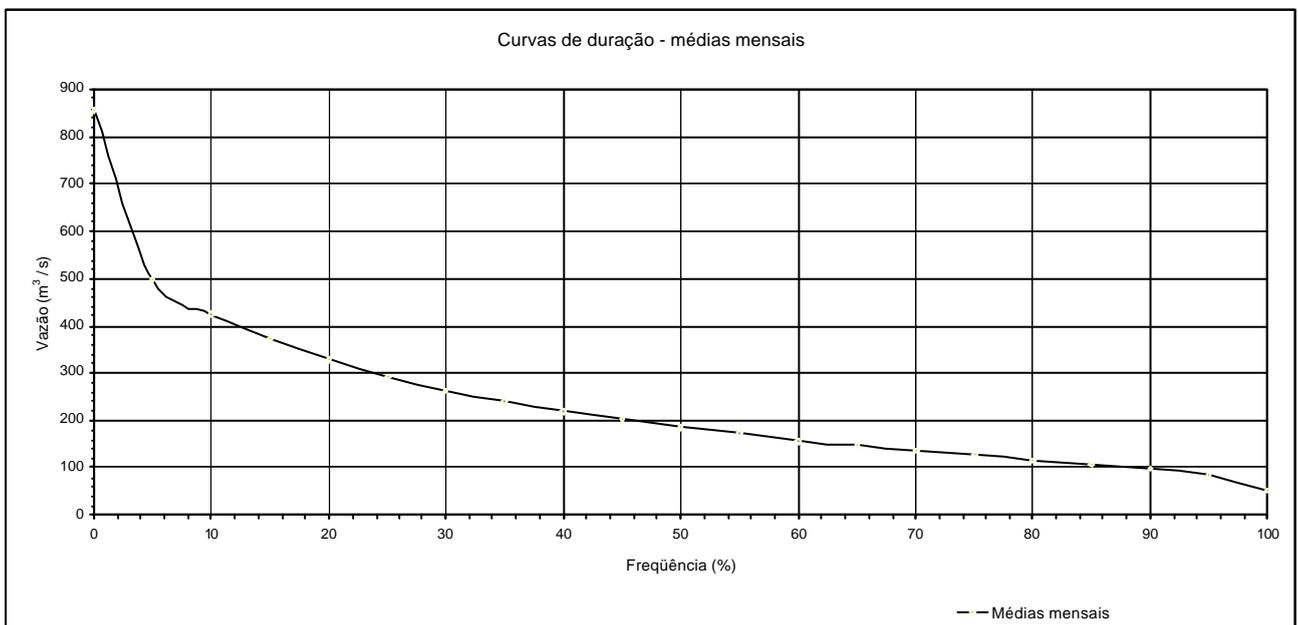


Gráfico 10 – Curva de permanência série histórica completa UHE Funil

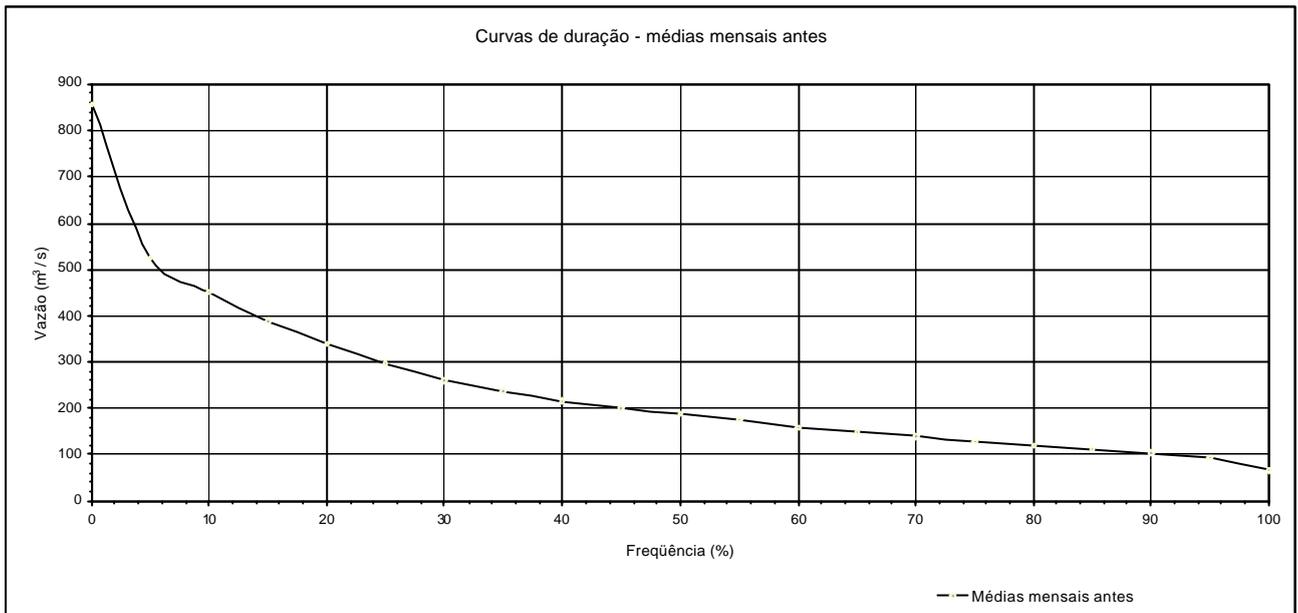


Gráfico 11 – Curva de permanência série histórica projeto UHE Funil

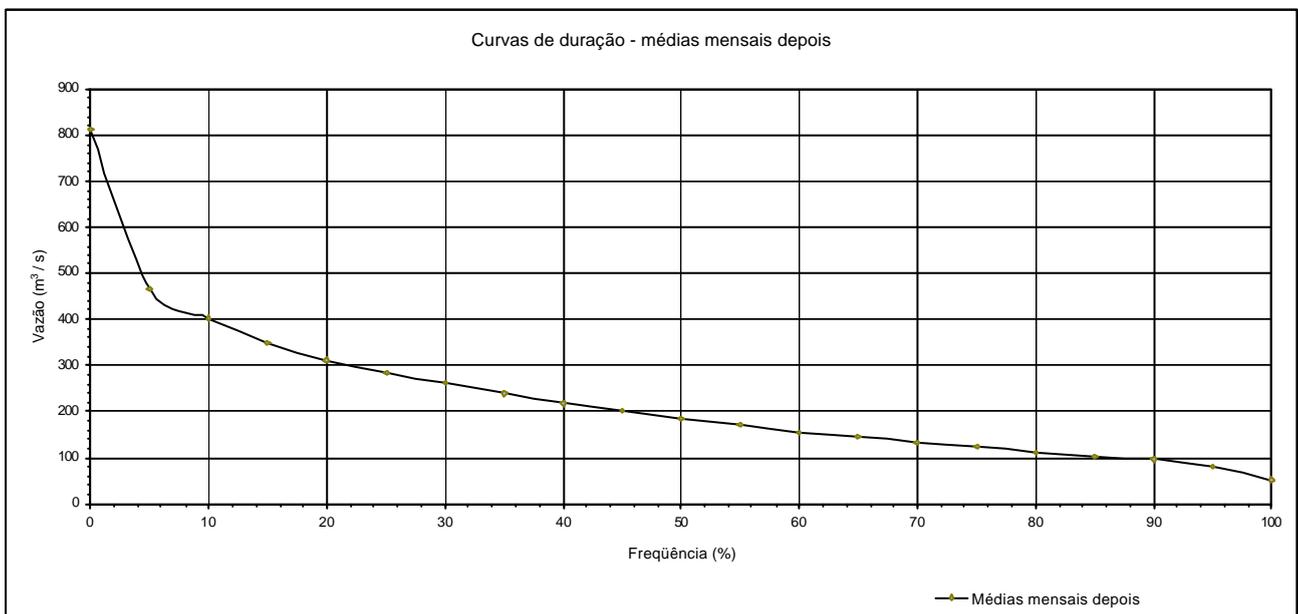


Gráfico 12 – Curva de permanência série histórica operação UHE Funil

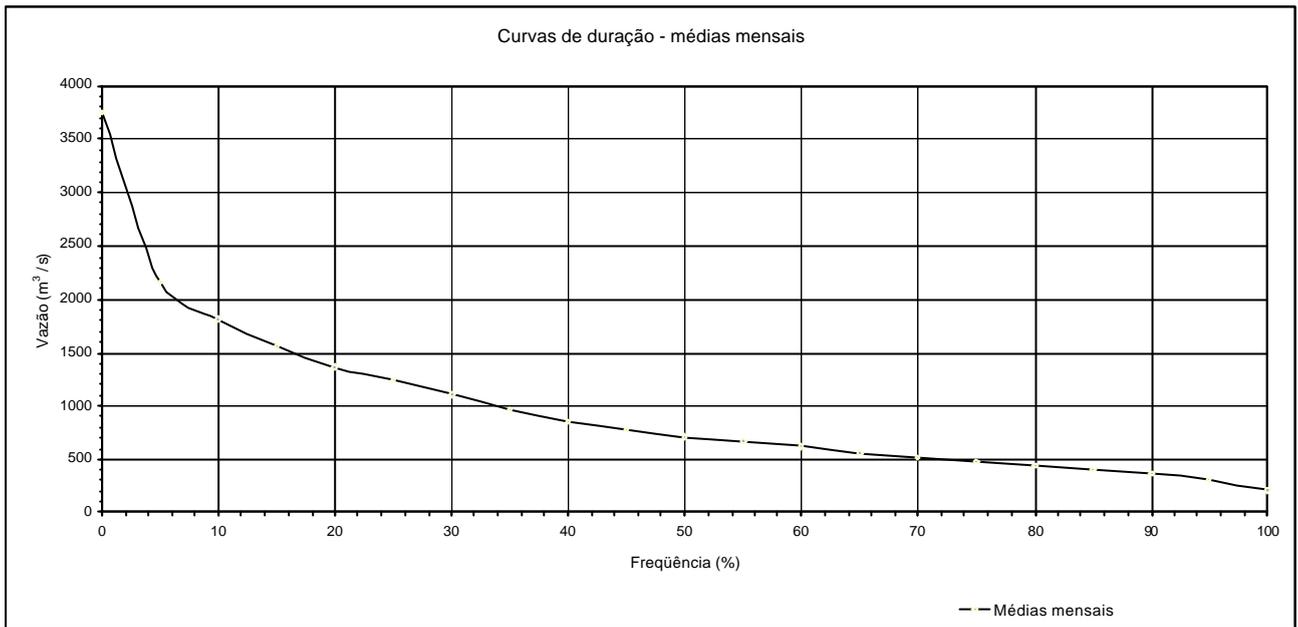


Gráfico 13 – Curva de permanência série histórica completa UHE Furnas

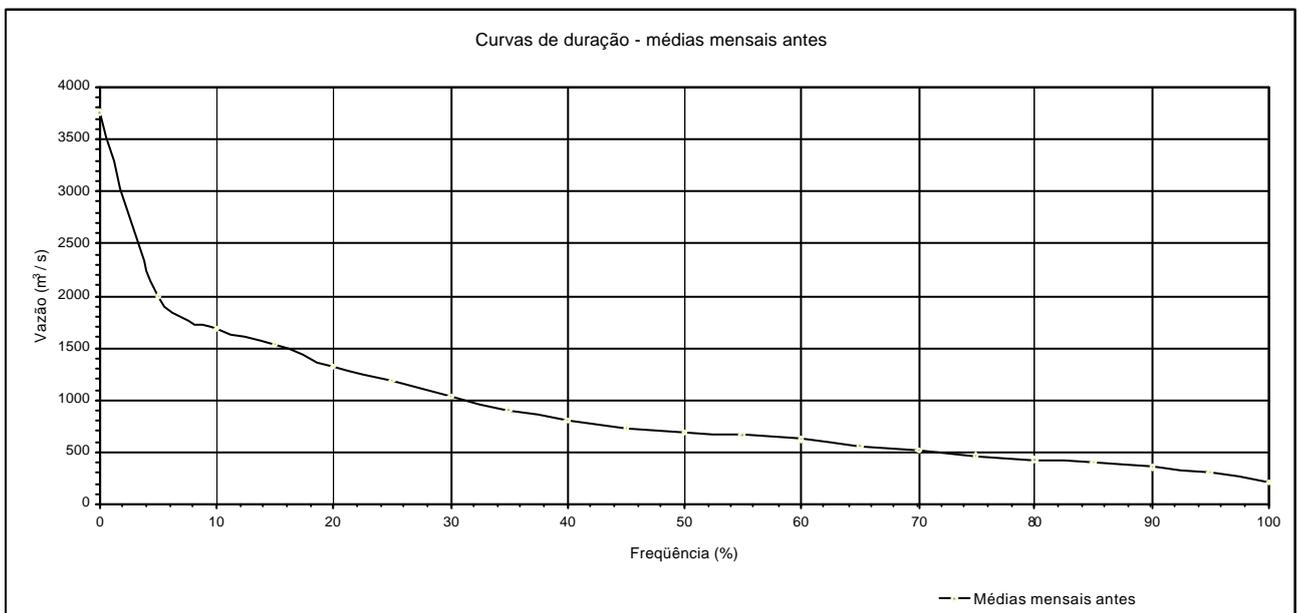


Gráfico 14 – Curva de permanência série histórica projeto UHE Furnas

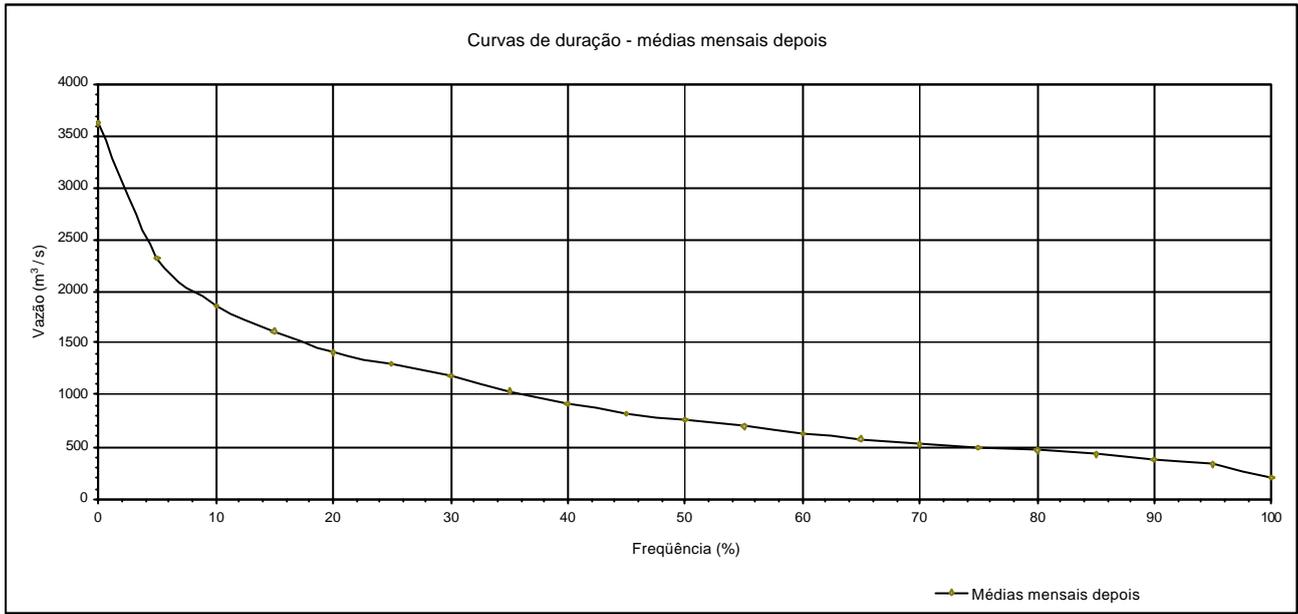


Gráfico 15 – Curva de permanência série histórica operação UHE Furnas

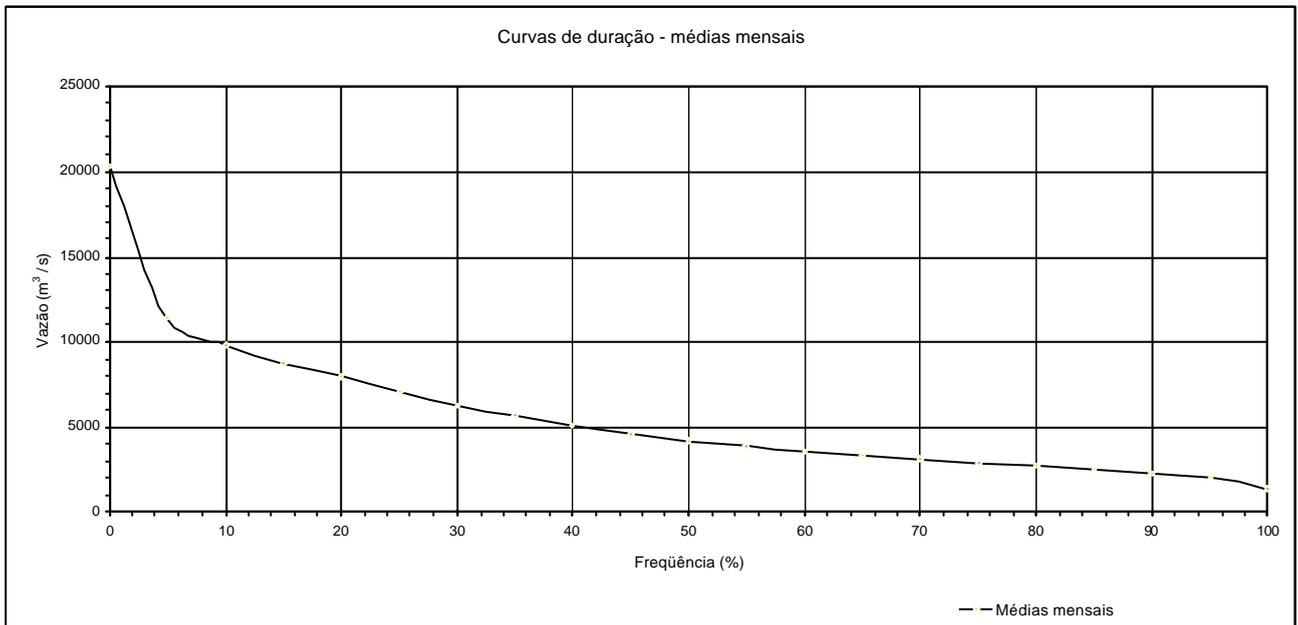


Gráfico 16 – Curva de permanência série histórica completa UHE Ilha Solteira

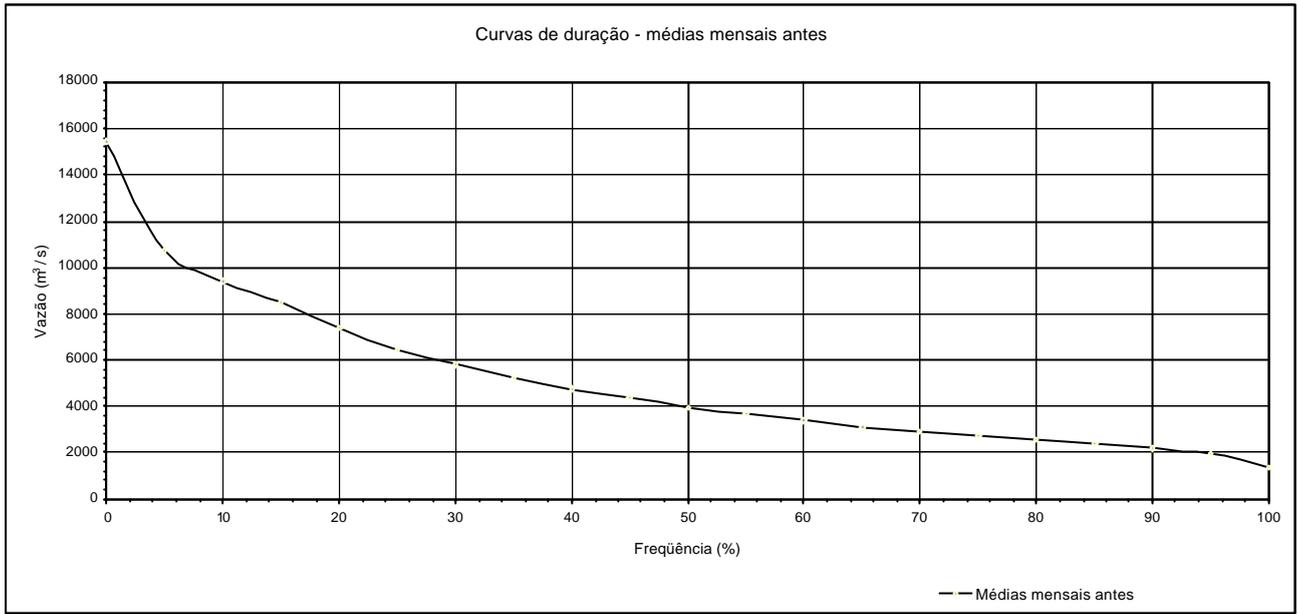


Gráfico 17 – Curva de permanência série histórica projeto UHE Ilha Solteira

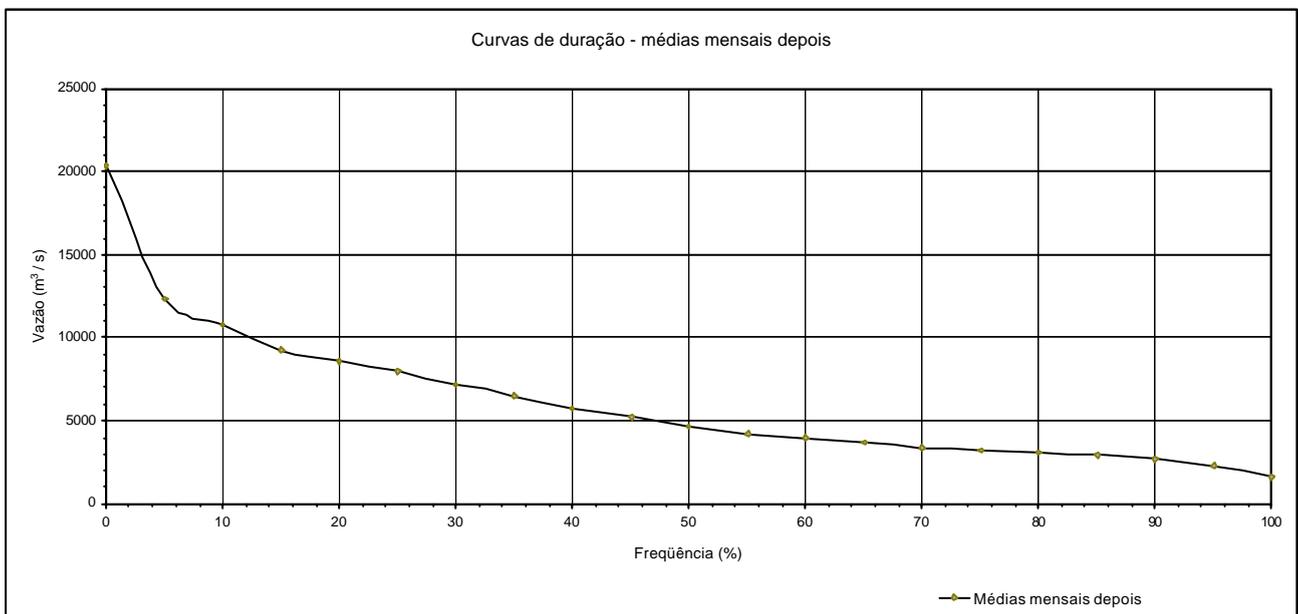


Gráfico 18 – Curva de permanência série histórica operação UHE Ilha Solteira

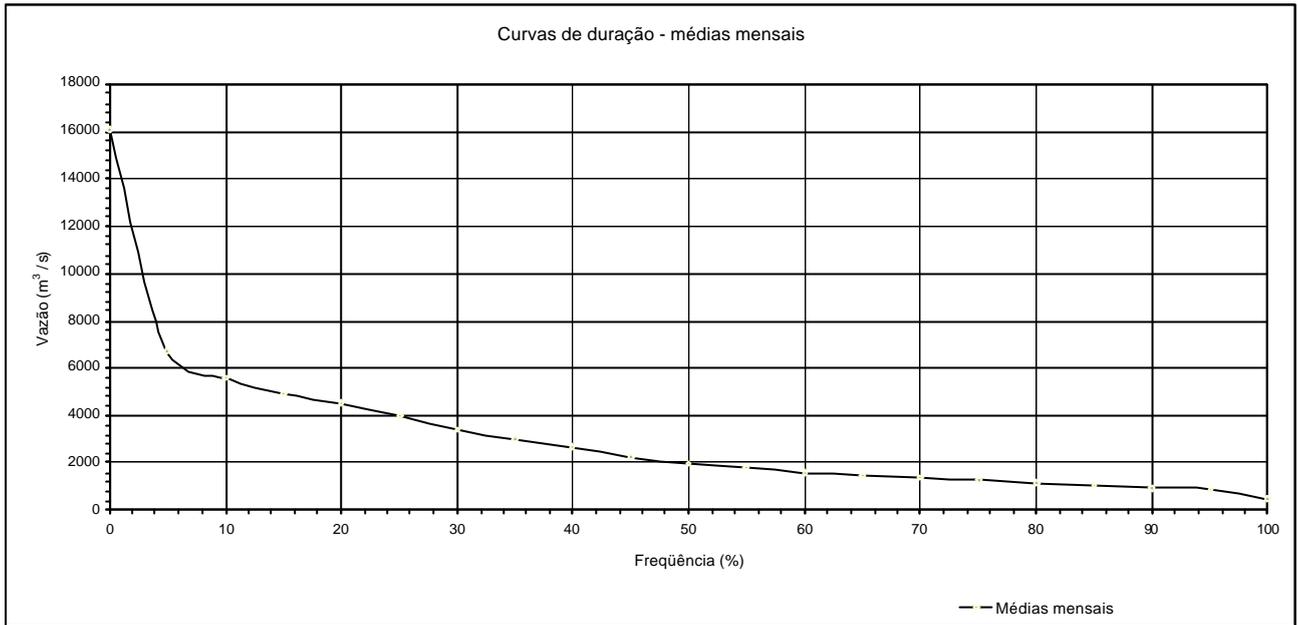


Gráfico 19 – Curva de permanência série histórica completa UHE Moxotó/Paulo Afonso IV

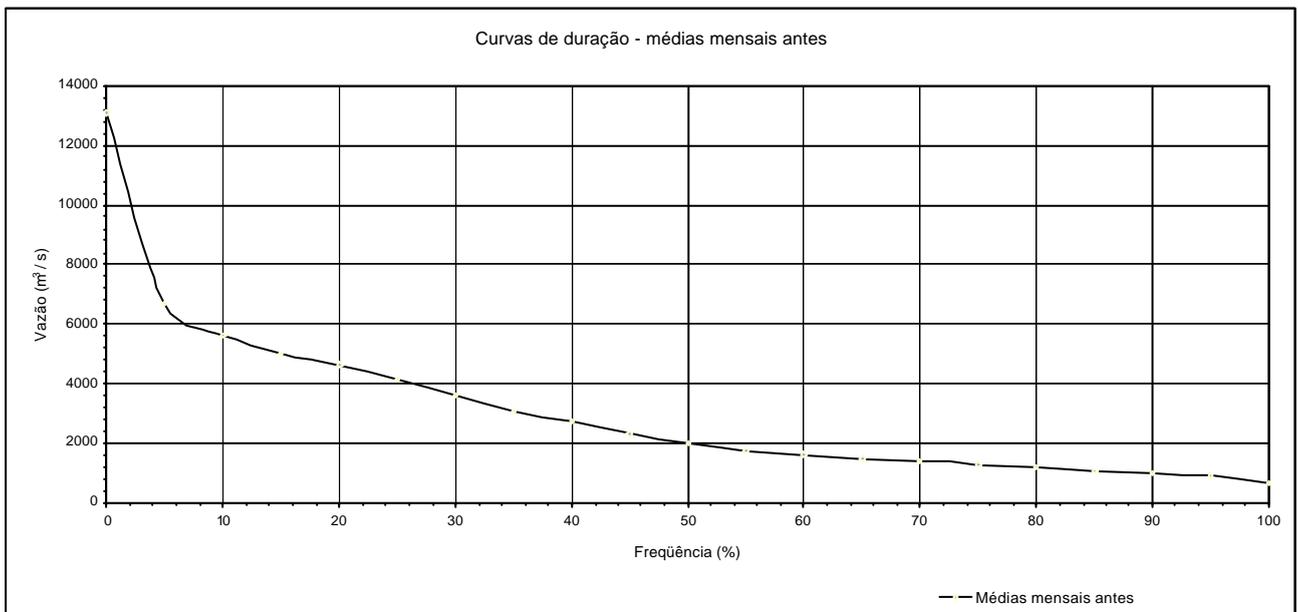


Gráfico 20 – Curva de permanência série histórica projeto UHE Moxotó/Paulo Afonso IV

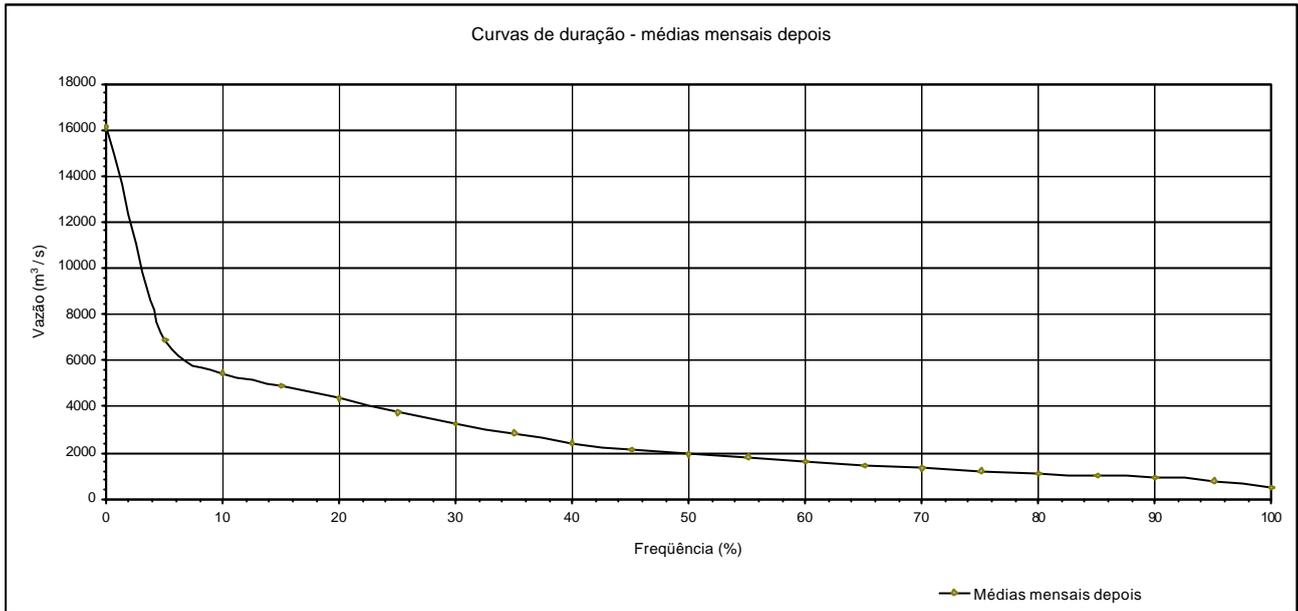


Gráfico 21 – Curva de permanência série histórica operação UHE Moxotó/Paulo Afonso IV

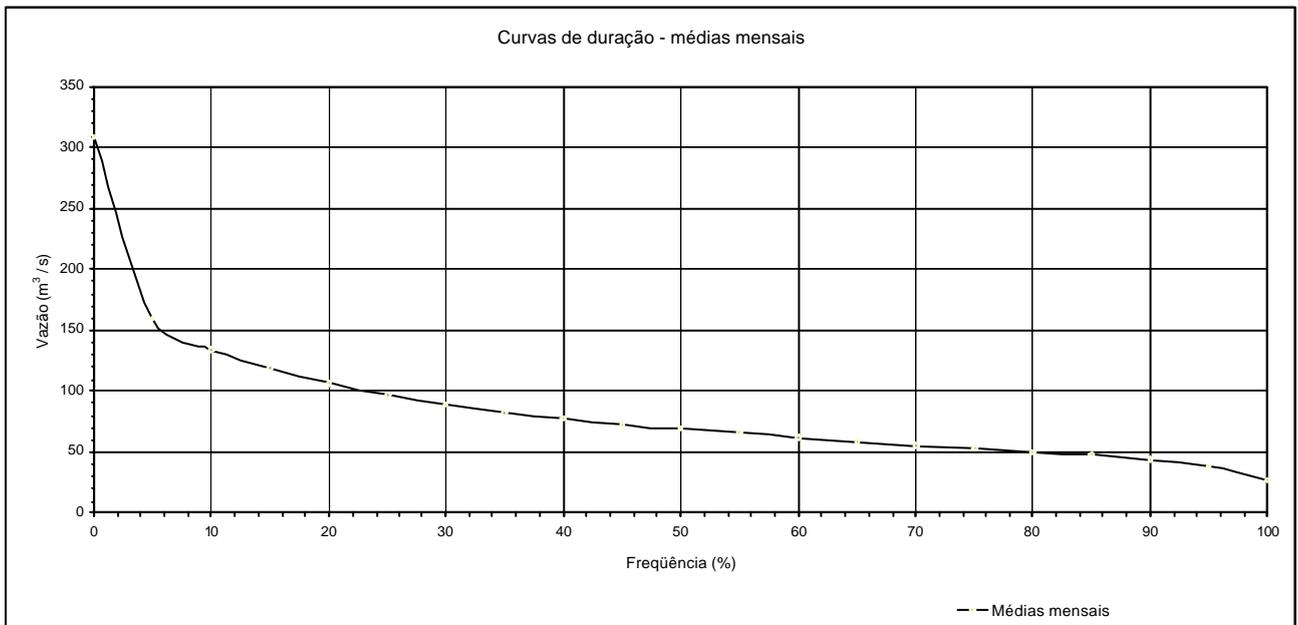


Gráfico 22 – Curva de permanência série histórica completa UHE Santa Branca

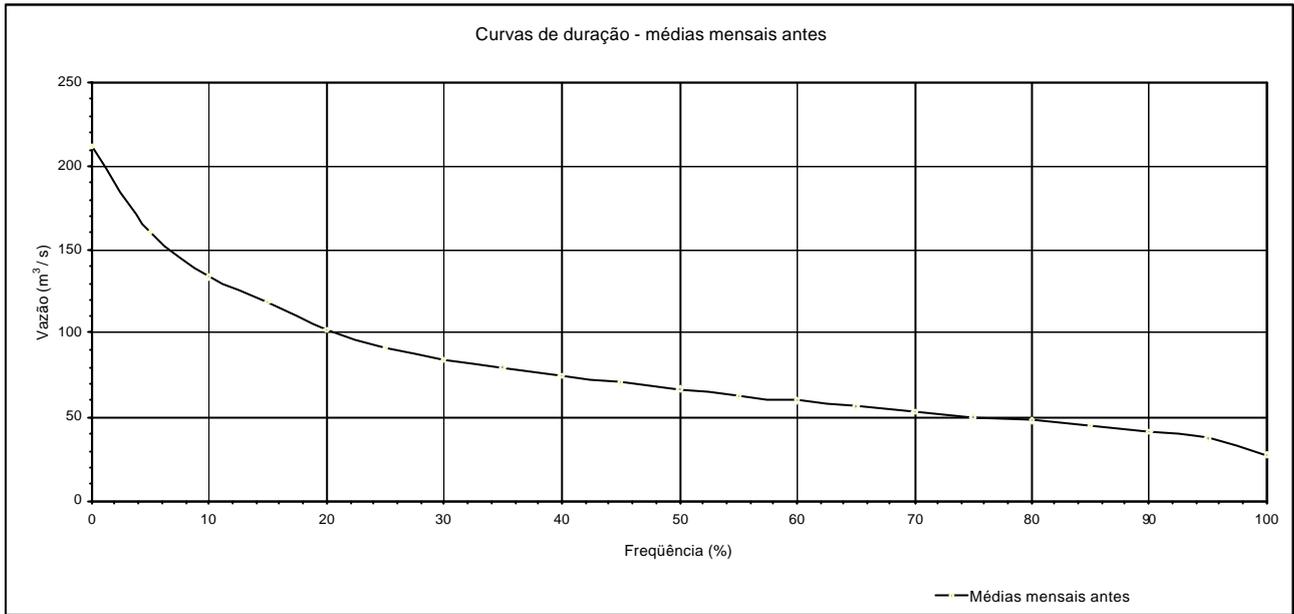


Gráfico 23 – Curva de permanência série histórica projeto UHE Santa Branca

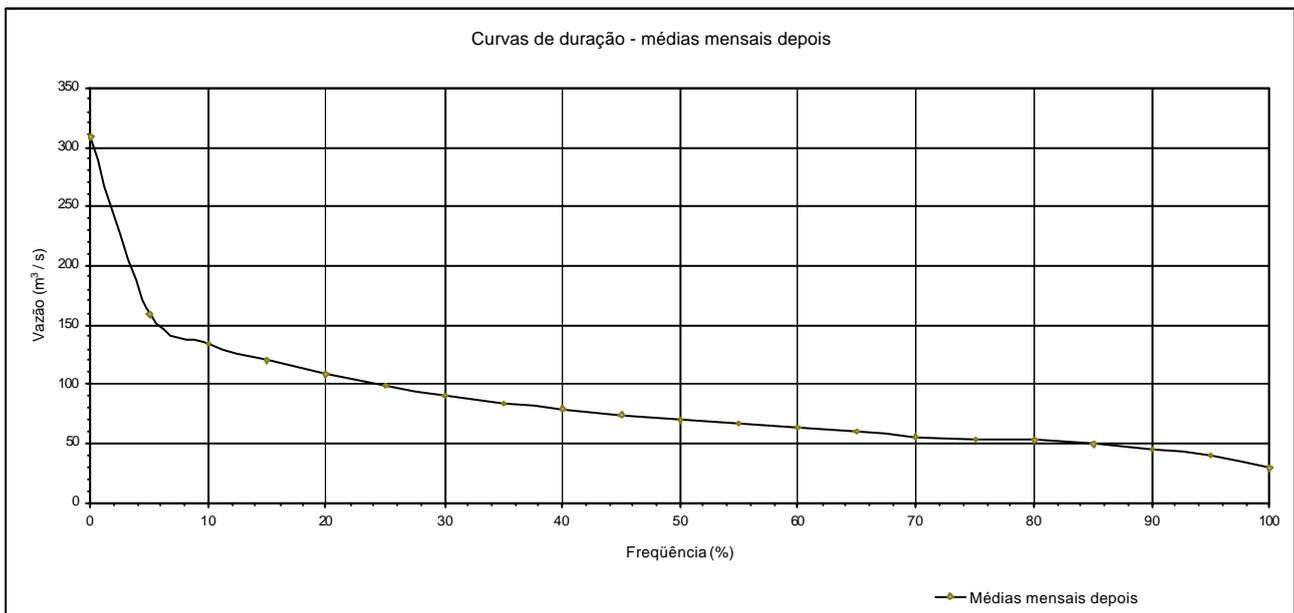


Gráfico 24 – Curva de permanência série histórica operação UHE Santa Branca

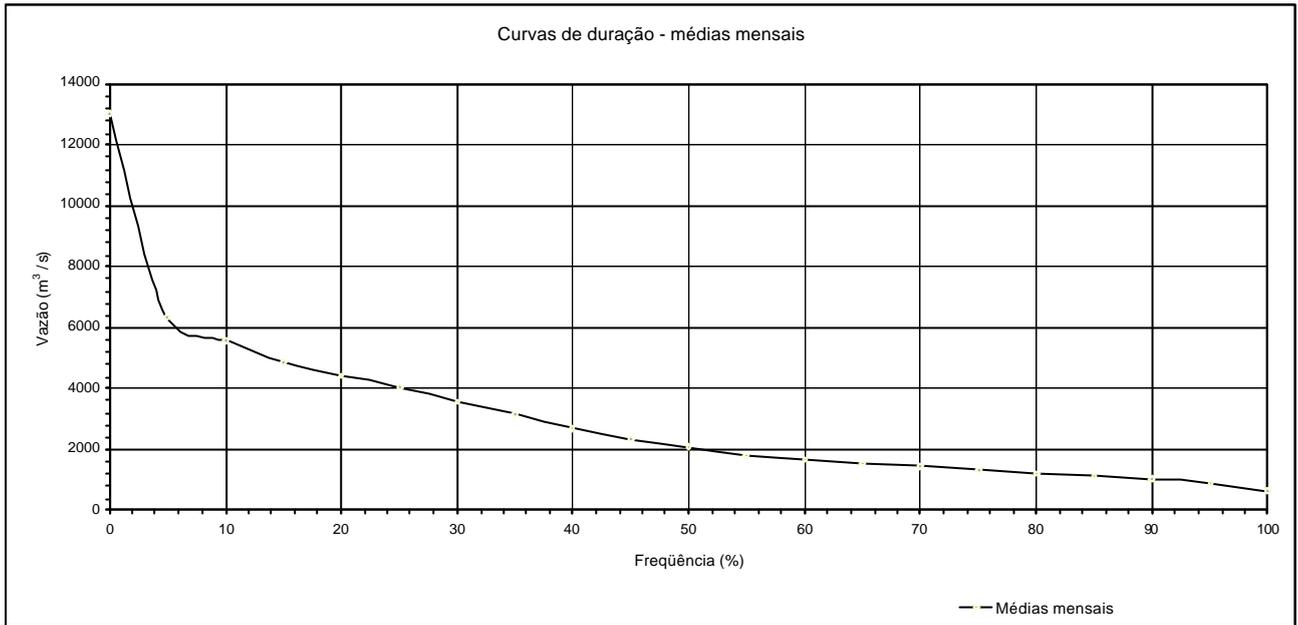


Gráfico 25 – Curva de permanência série histórica completa UHE Sobradinho

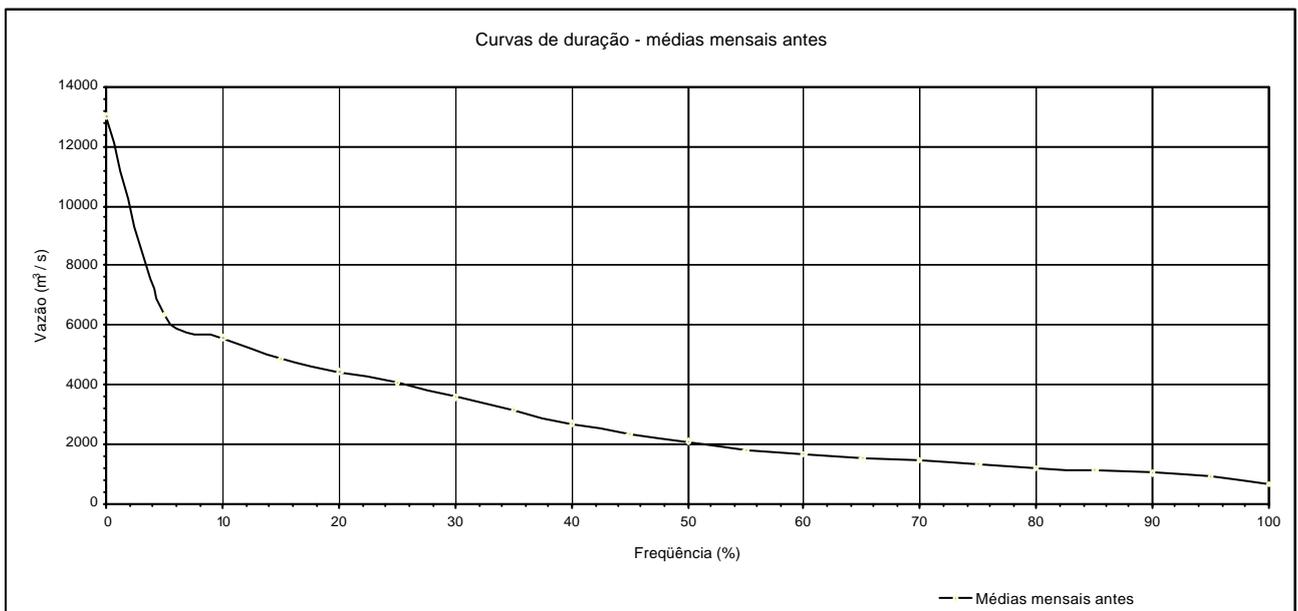


Gráfico 26 – Curva de permanência série histórica projeto UHE Sobradinho

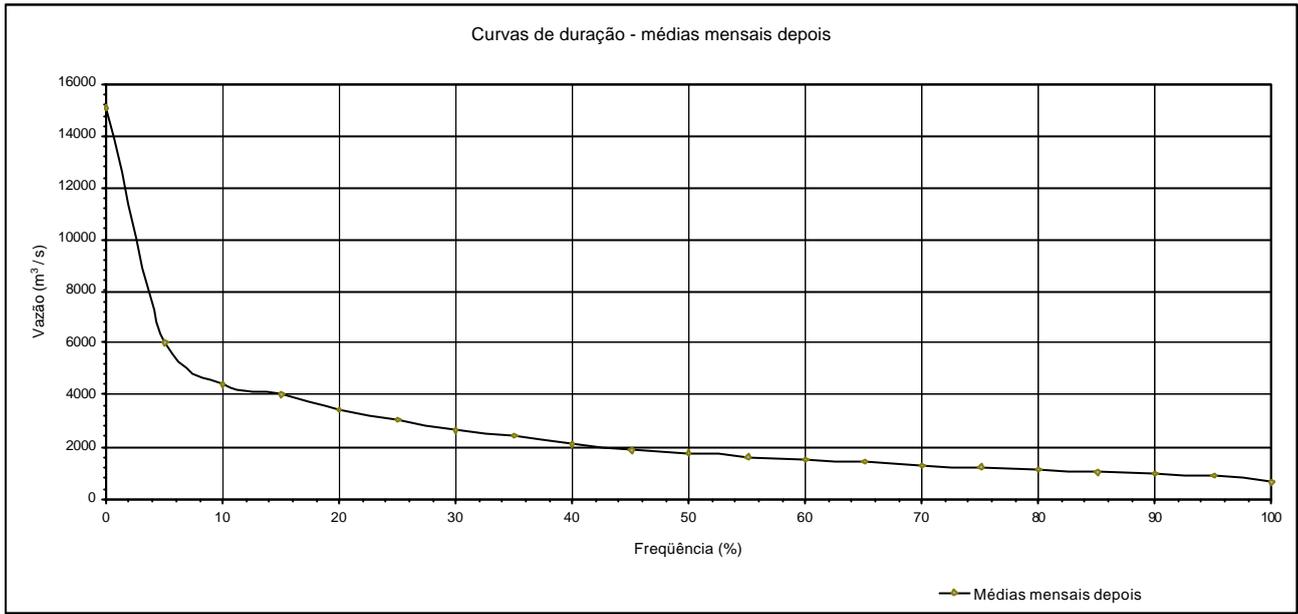


Gráfico 27 – Curva de permanência série histórica operação UHE Sobradinho

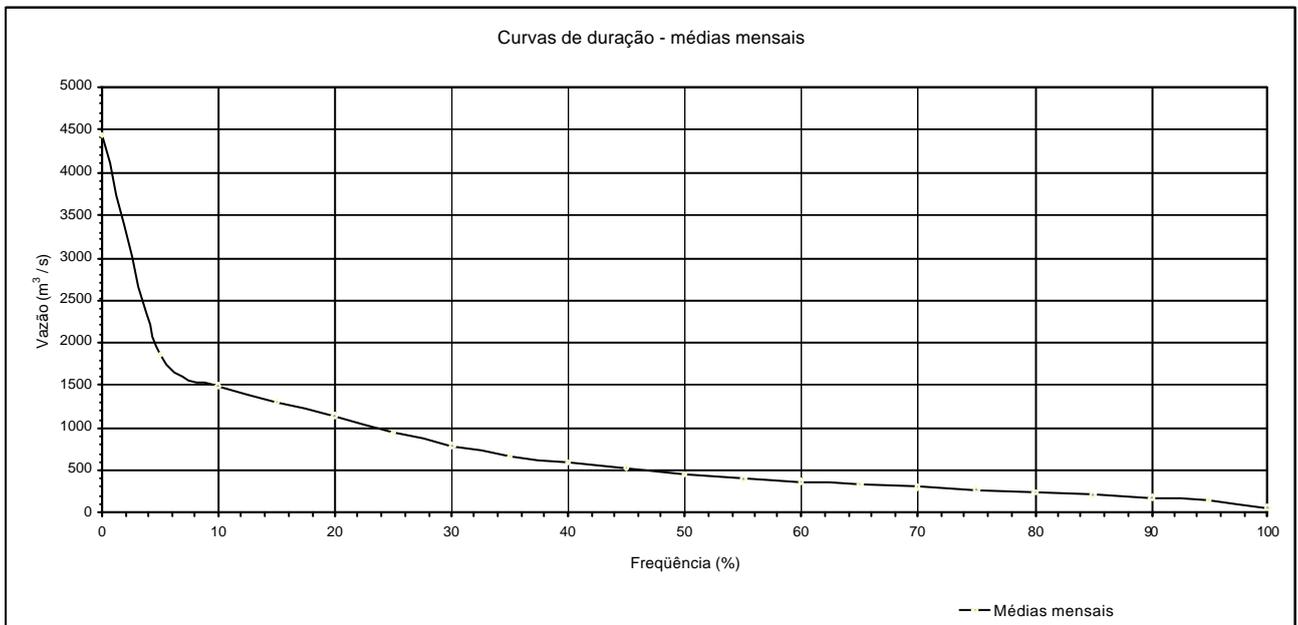


Gráfico 28 – Curva de permanência série histórica completa UHE Três Marias

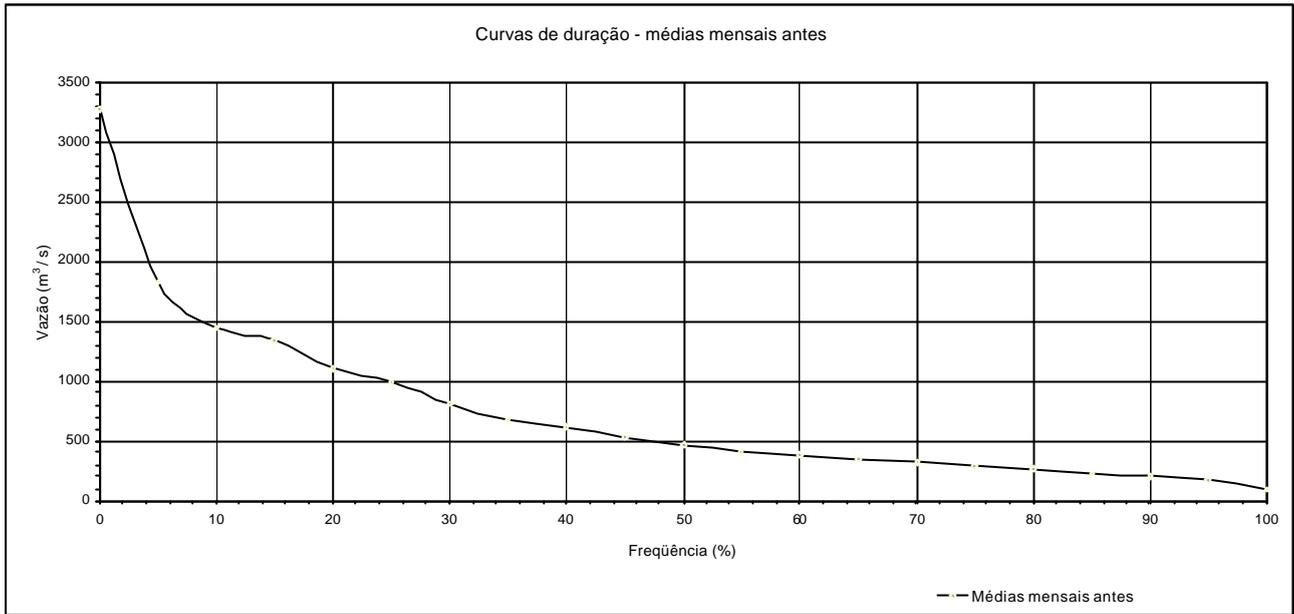


Gráfico 29 – Curva de permanência série histórica projeto UHE Três Marias

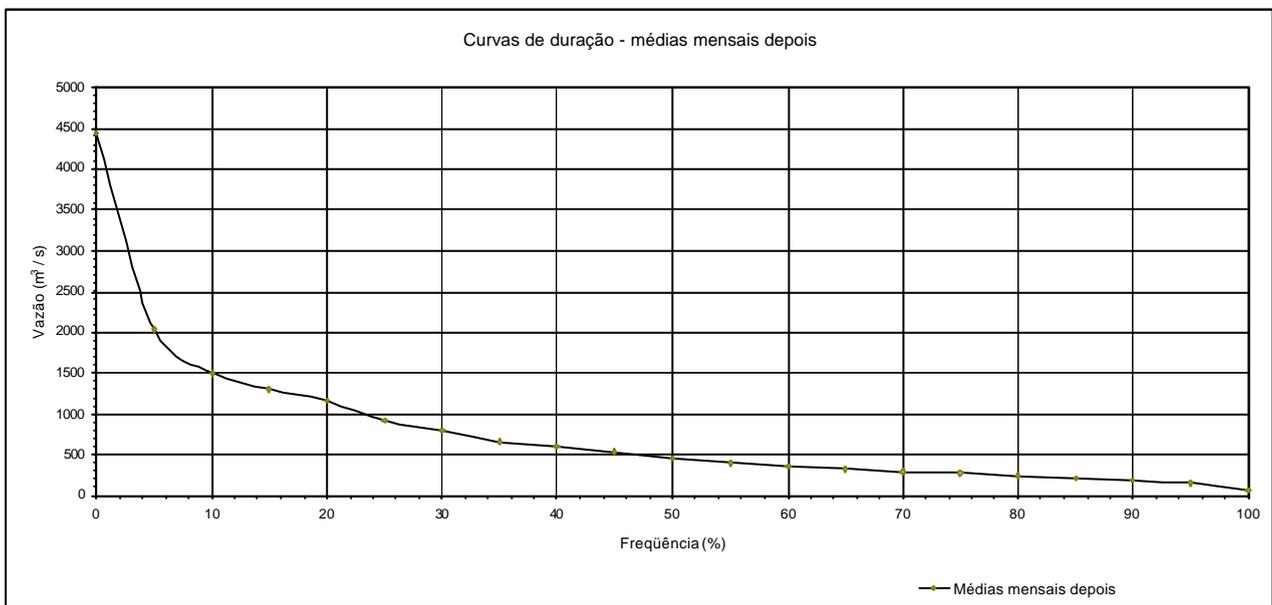


Gráfico 30 – Curva de permanência série histórica operação UHE Três Marias

**ANEXO D – ESTUDO DO COMPROMETIMENTO HIDROLÓGICO DO
VOLUME ÚTIL – APRESENTAÇÃO DOS DIAGRAMAS DE RIPPL PARA A
SÉRIE HISTÓRICA COMPLETA**

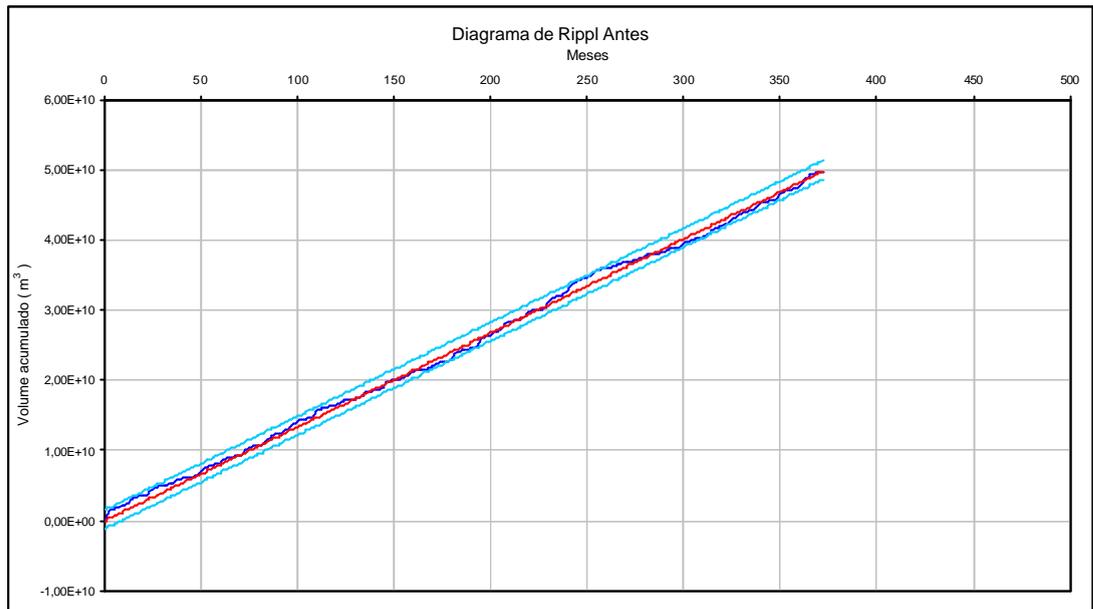


Gráfico 1 – Diagrama de Rippl clássico para o período de projeto da UHE CACONDE

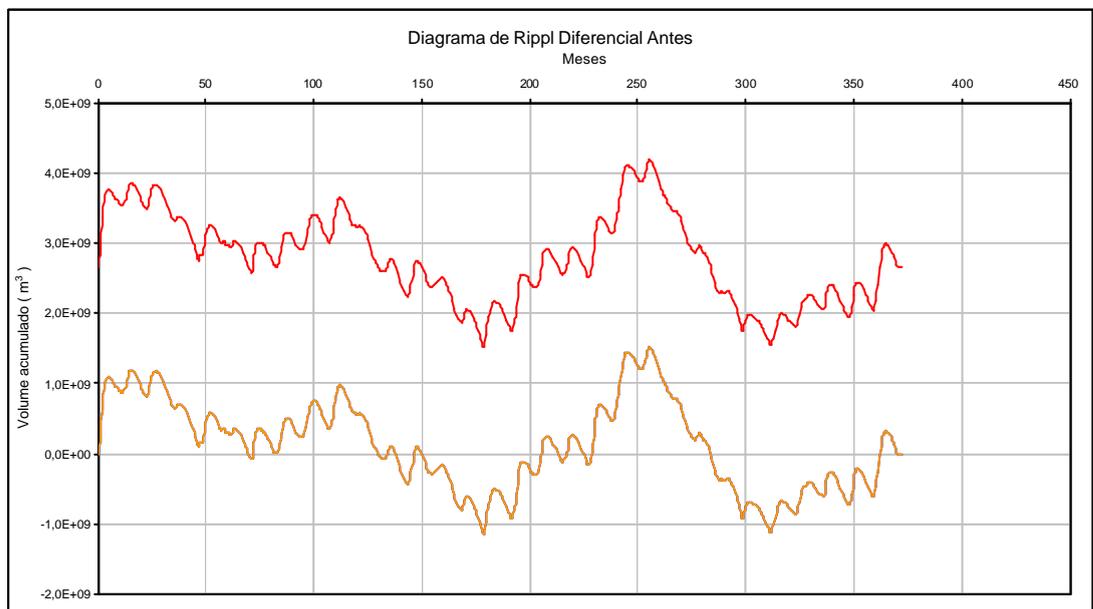


Gráfico 2 – Diagrama de Rippl diferencial para o período de projeto da UHE CACONDE

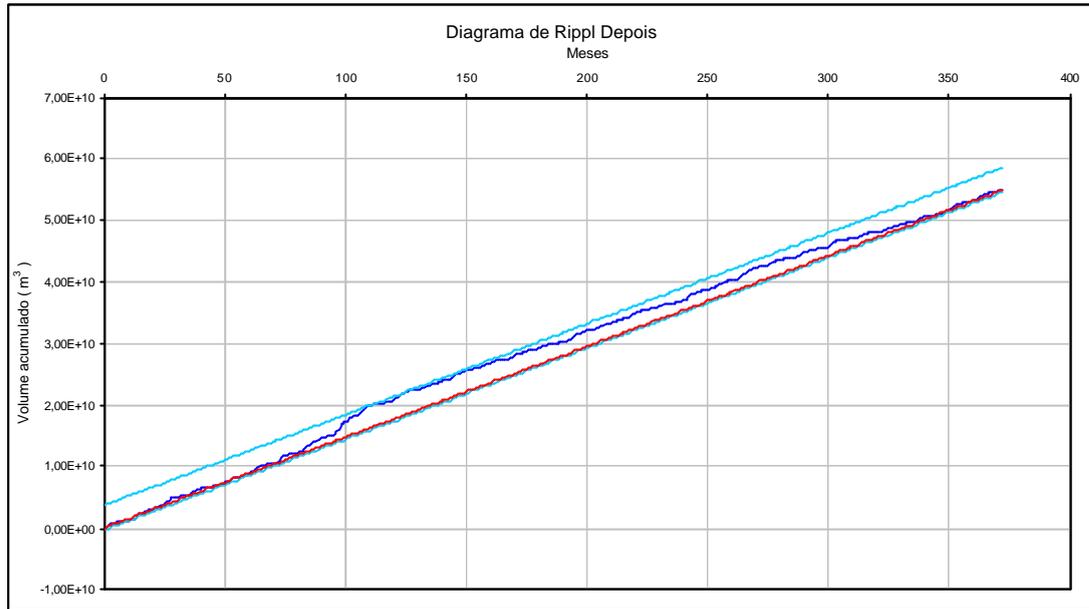


Gráfico 3 – Diagrama de Rippl clássico para o período de operação da UHE CACONDE

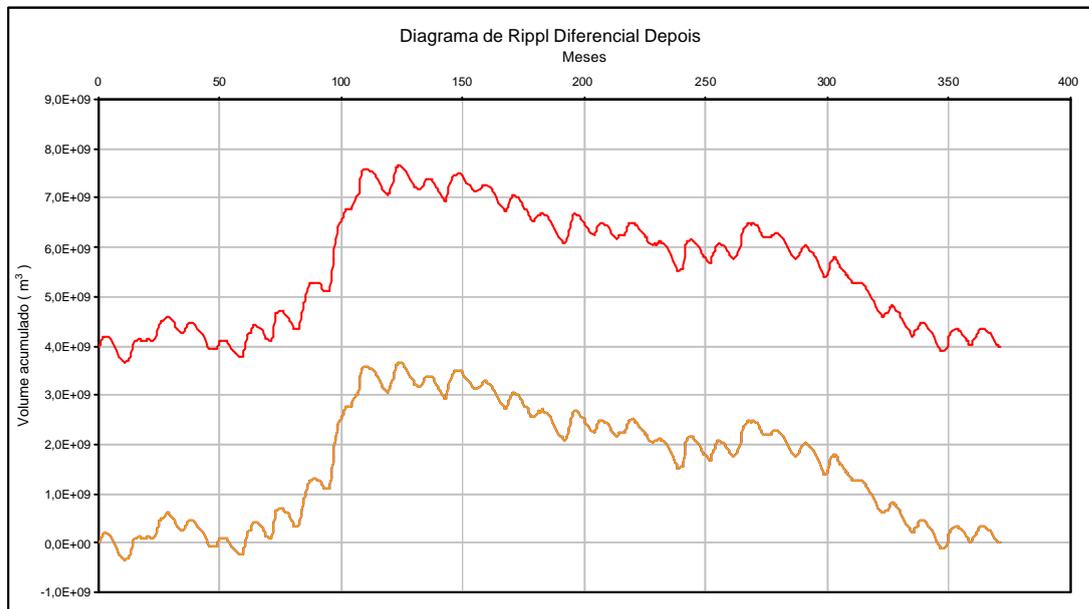


Gráfico 4 – Diagrama de Rippl diferencial para o período de operação da UHE CACONDE

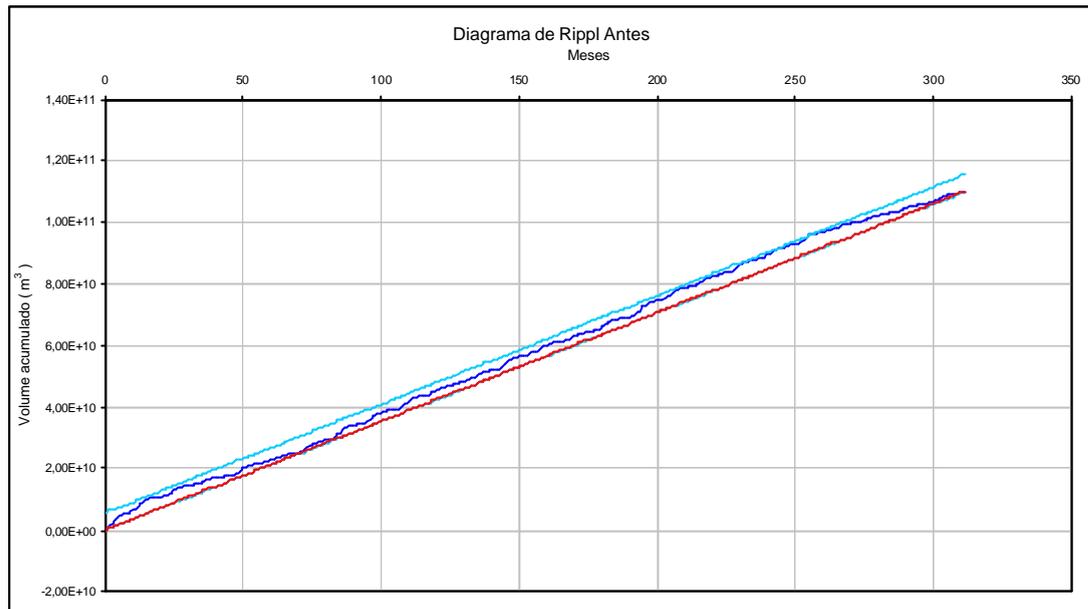


Gráfico 5 – Diagrama de Rippl clássico para o período de projeto da UHE CAMARGOS

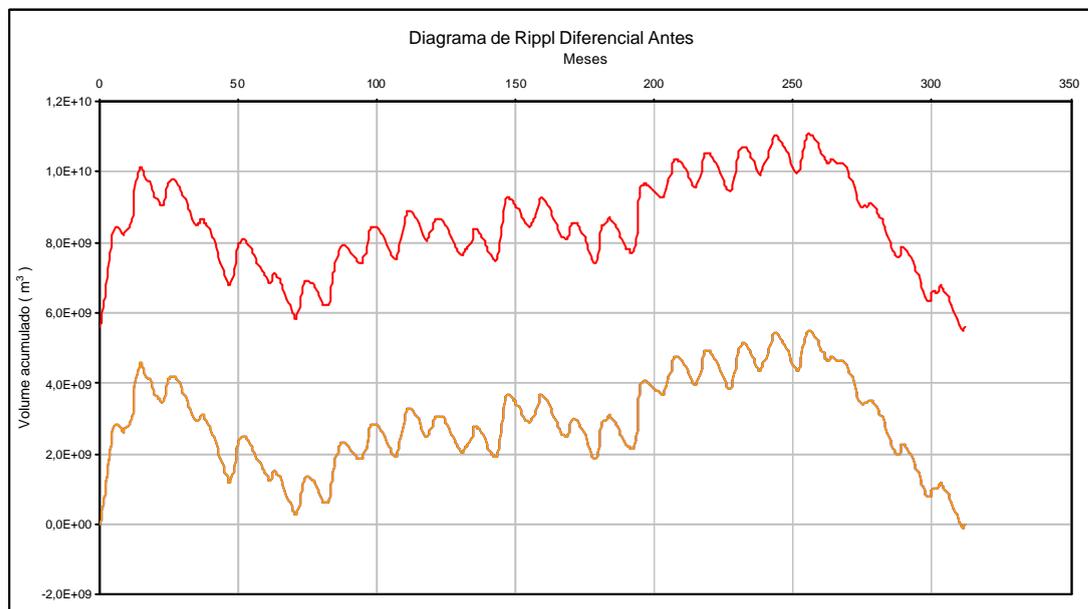


Gráfico 6 – Diagrama de Rippl diferencial para o período de projeto da UHE CAMARGOS

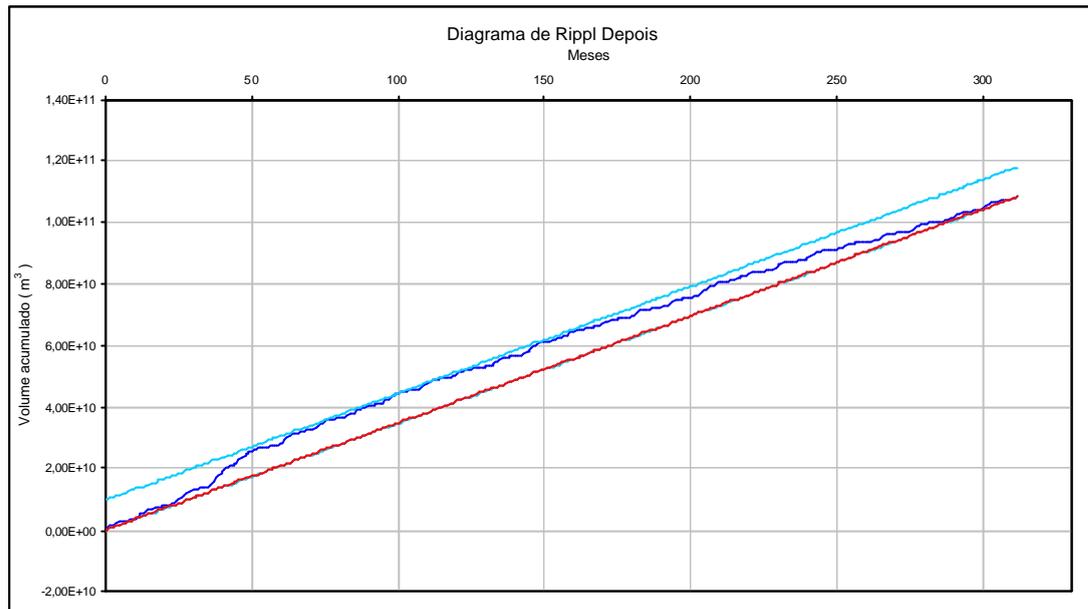


Gráfico 7 – Diagrama de Rippl clássico para o período de operação da UHE CAMARGOS

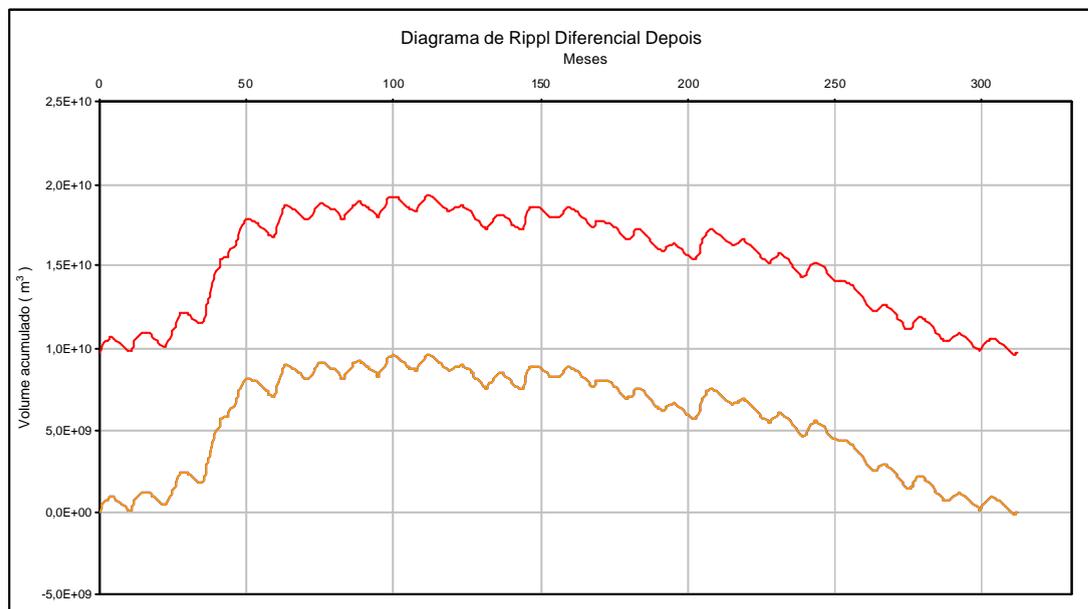


Gráfico 8 – Diagrama de Rippl diferencial para o período de operação da UHE CAMARGOS

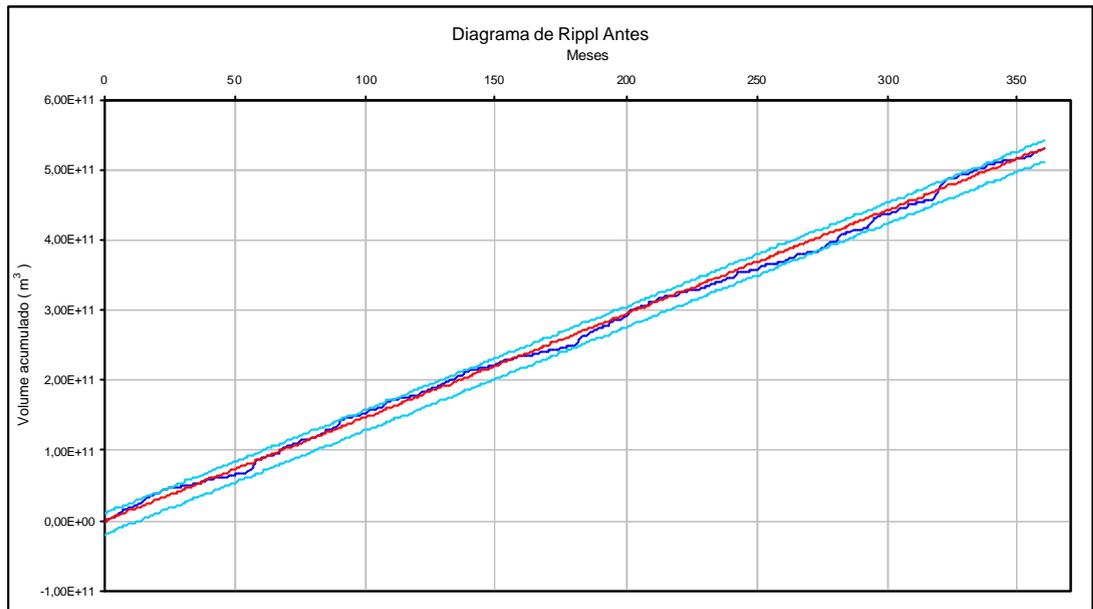


Gráfico 9 – Diagrama de Rippl clássico para o período de projeto da UHE FOZ do AREIA

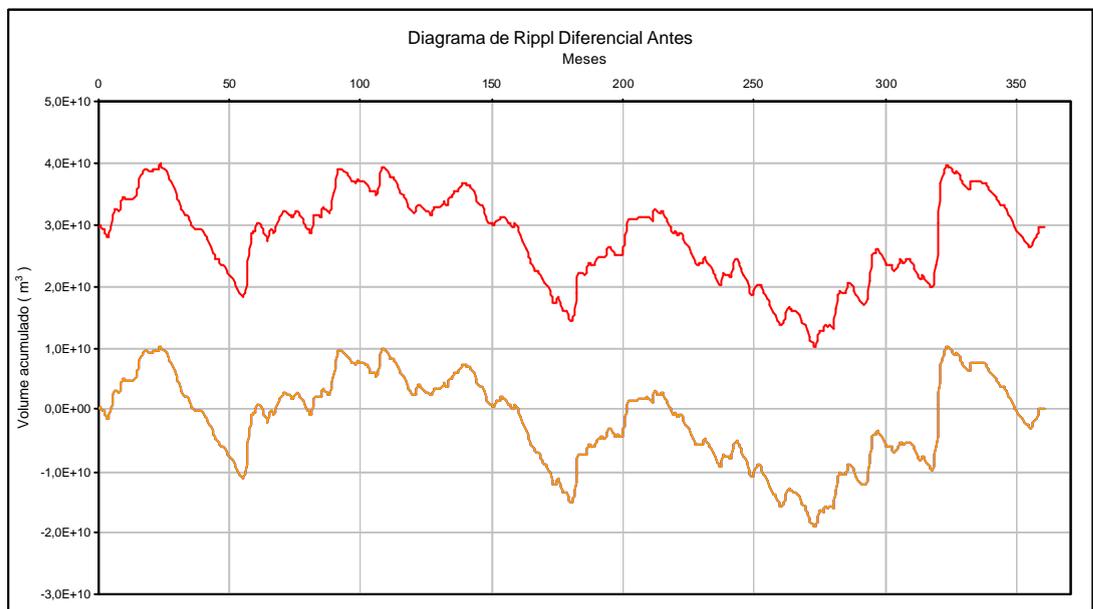


Gráfico 10 – Diagrama de Rippl diferencial para o período de projeto da UHE FOZ do AREIA

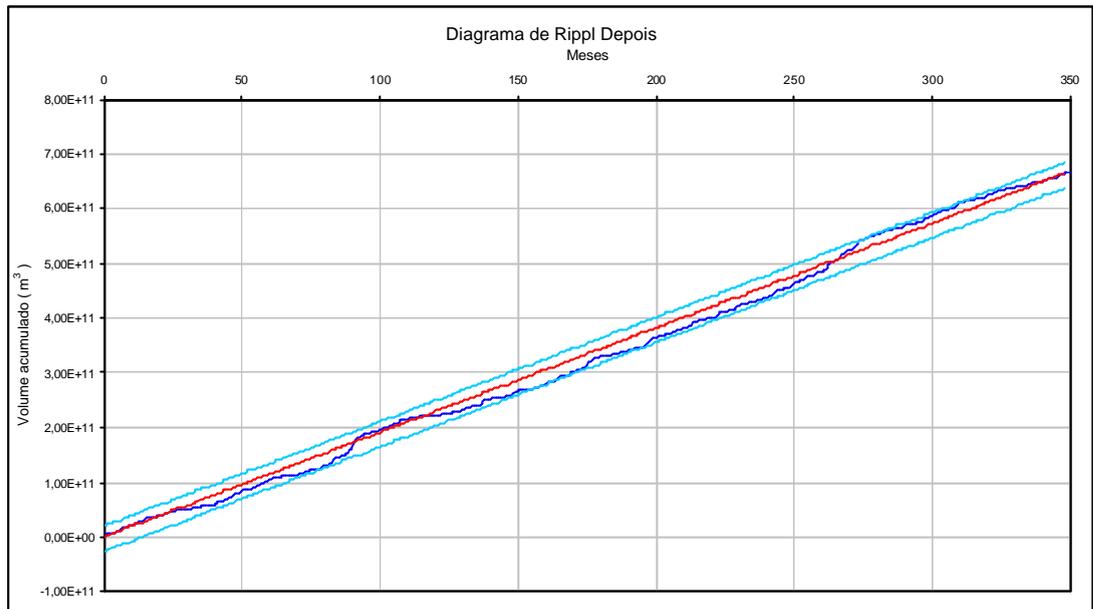


Gráfico 11 – Diagrama de Rippl clássico para o período de operação da UHE FOZ do AREIA

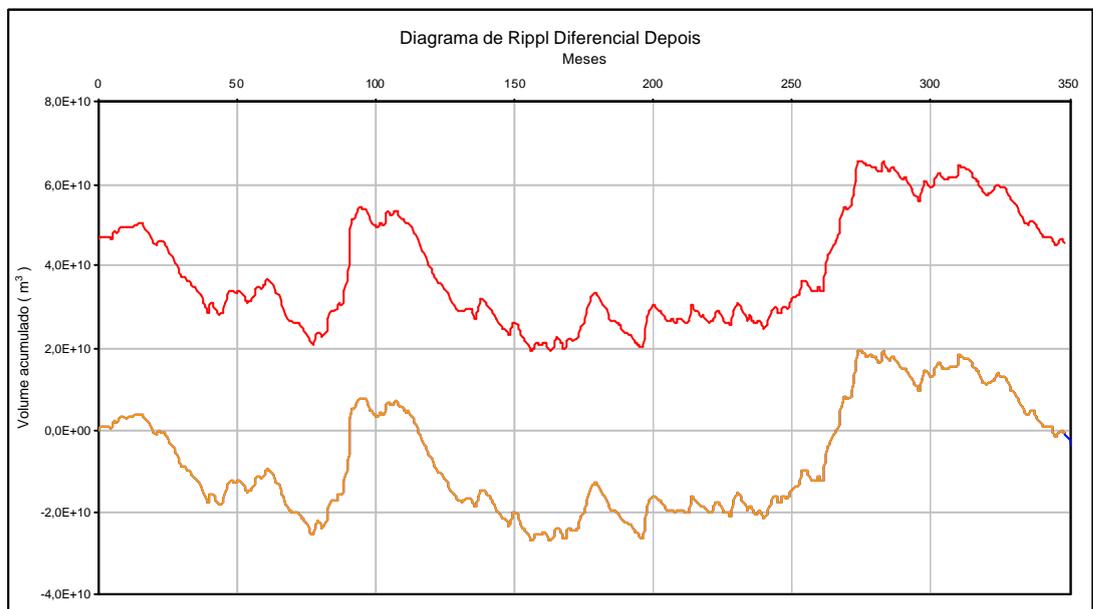


Gráfico 12 – Diagrama de Rippl diferencial para o período de operação da UHE FOZ do AREIA

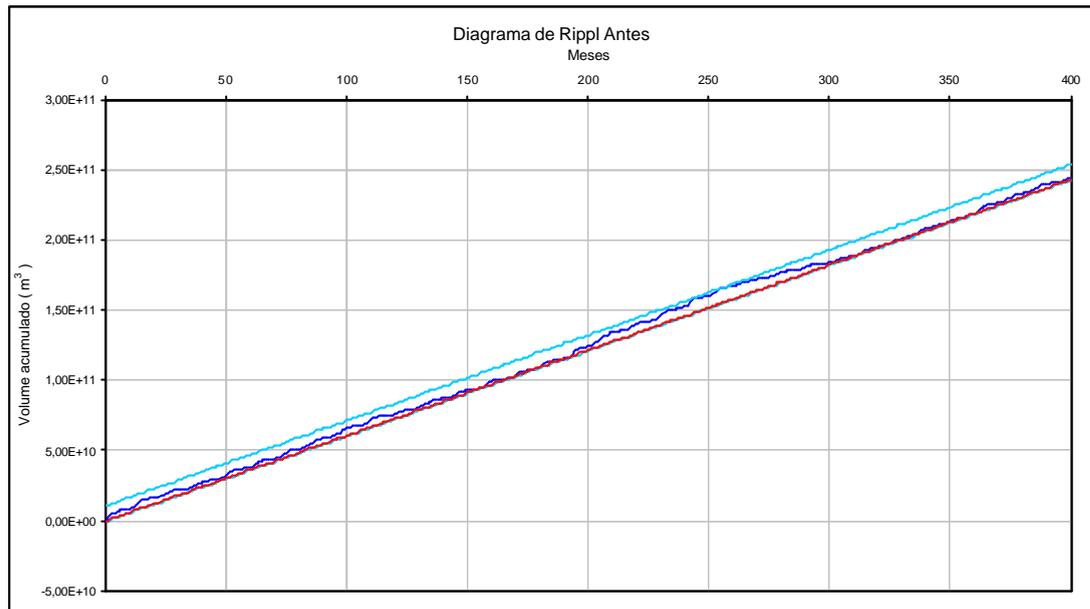


Gráfico 13 – Diagrama de Rippl clássico para o período de projeto da UHE FUNIL

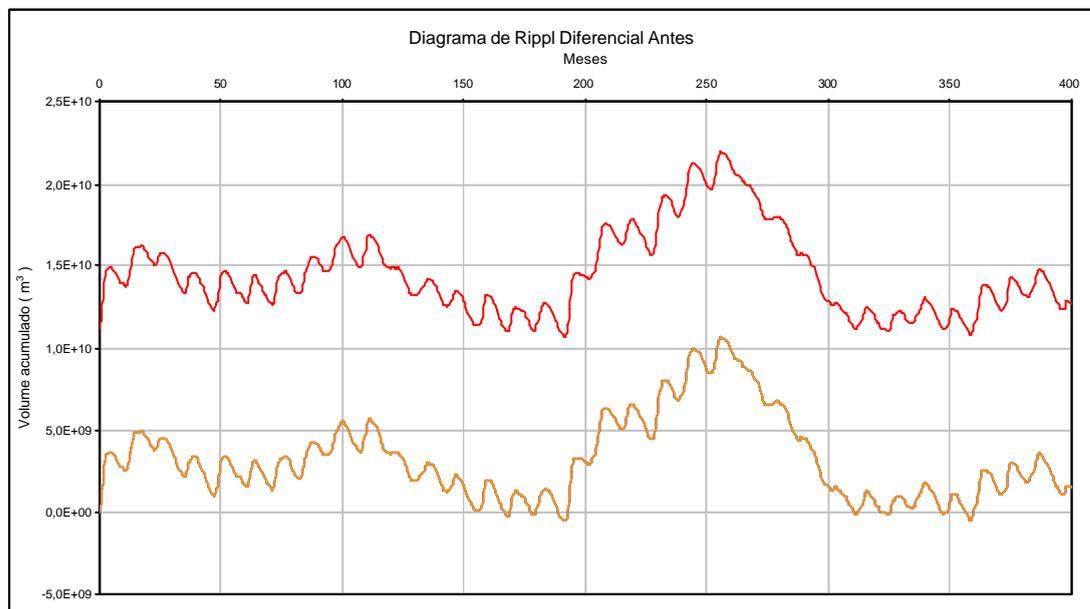


Gráfico 14 – Diagrama de Rippl diferencial para o período de projeto da UHE FUNIL

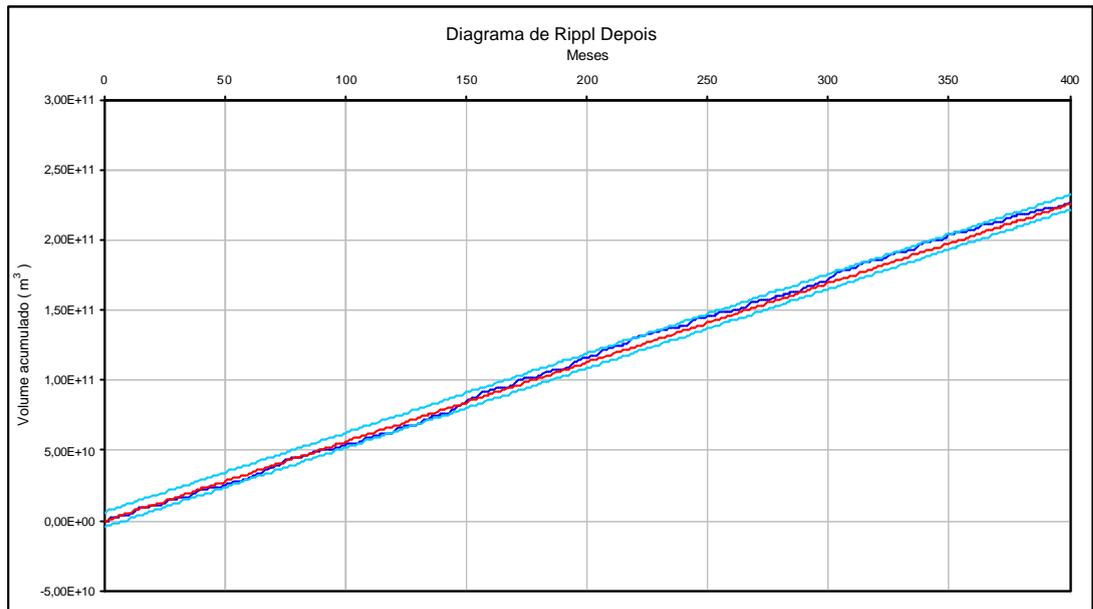


Gráfico 15 – Diagrama de Rippl clássico para o período de operação da UHE FUNIL

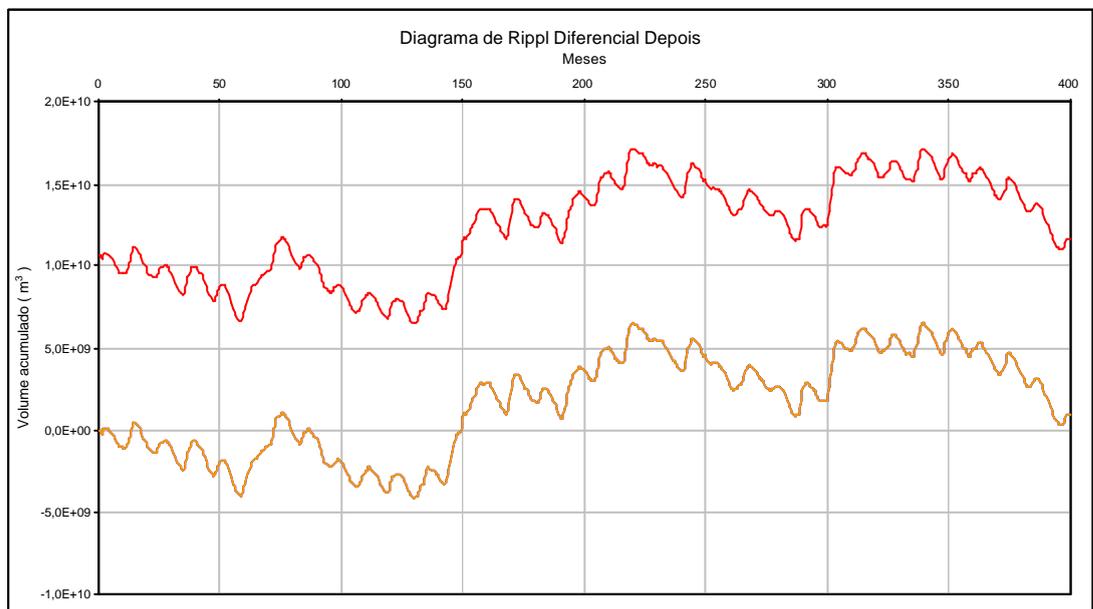


Gráfico 16 – Diagrama de Rippl diferencial para o período de operação da UHE FUNIL

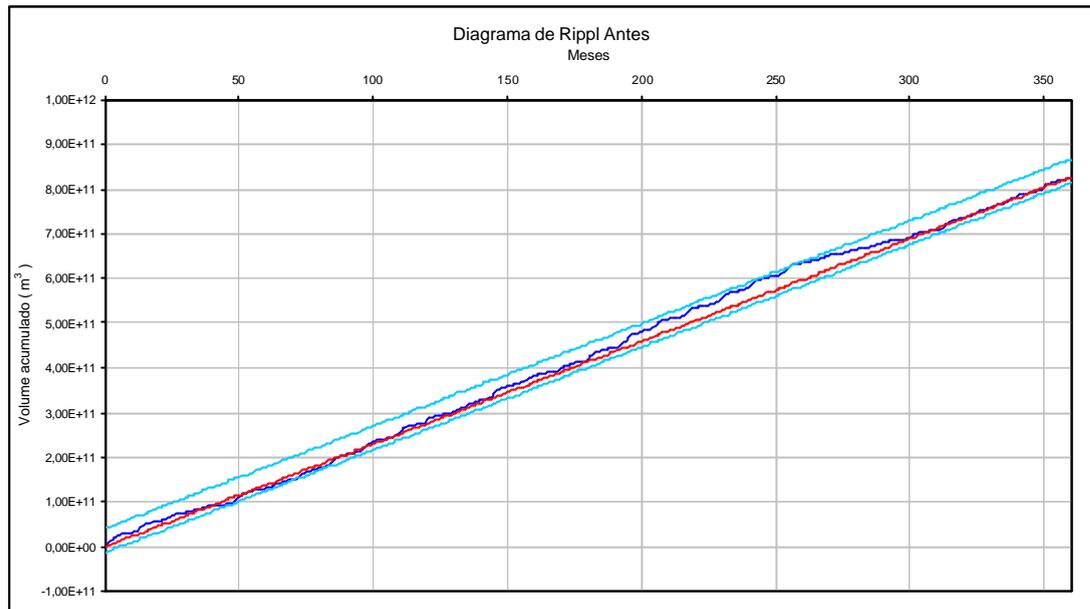


Gráfico 17 – Diagrama de Rippl clássico para o período de projeto da UHE FURNAS

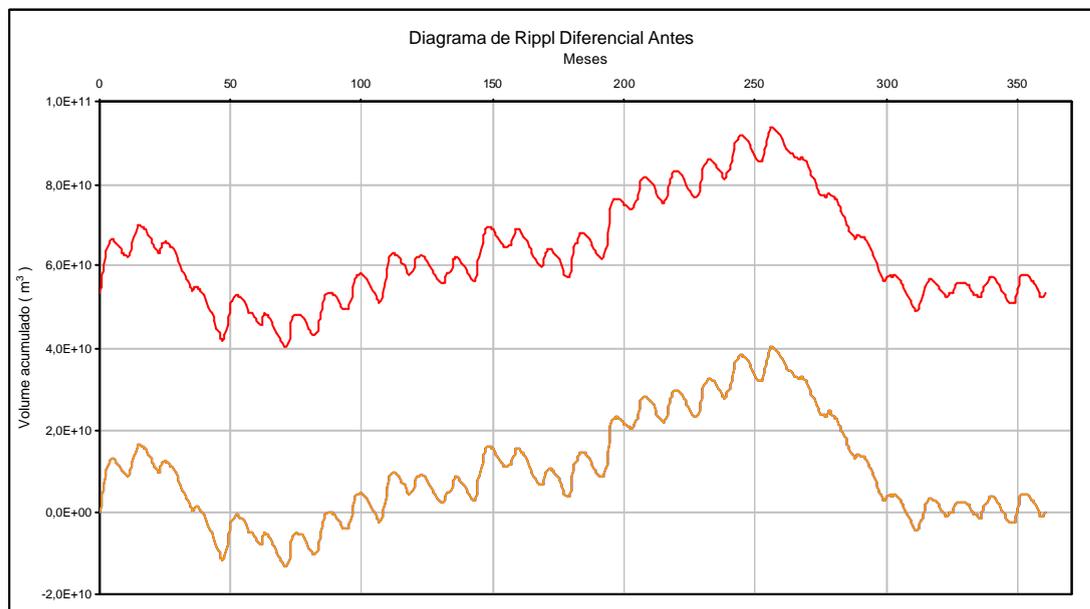


Gráfico 18 – Diagrama de Rippl diferencial para o período de projeto da UHE FURNAS

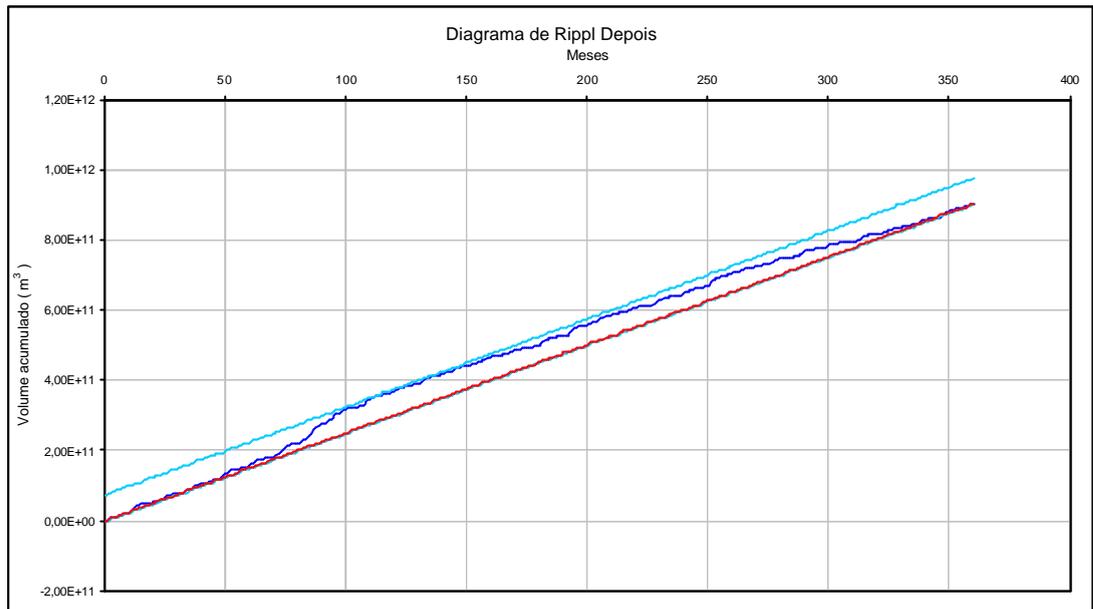


Gráfico 19 – Diagrama de Rippl clássico para o período de operação da UHE FURNAS

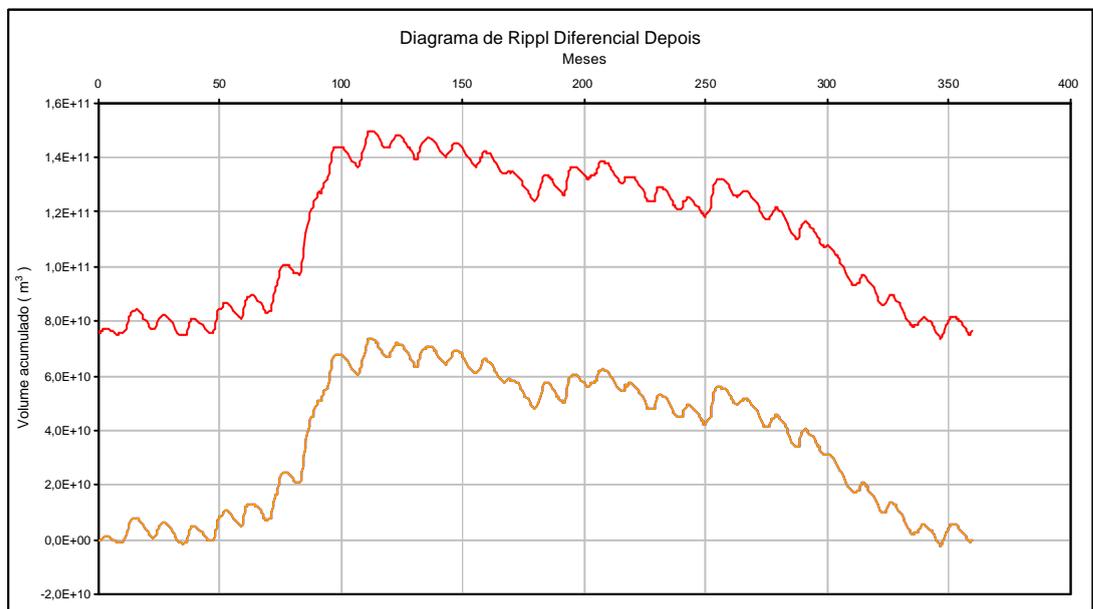


Gráfico 20 – Diagrama de Rippl diferencial para o período de operação da UHE FURNAS

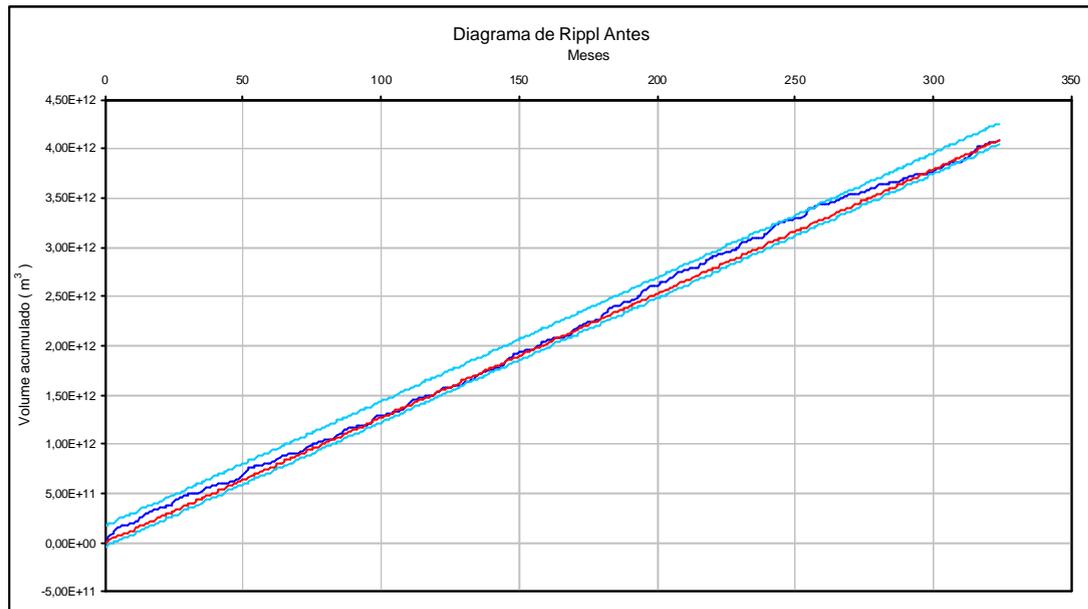


Gráfico 21 – Diagrama de Rippl clássico para o período de projeto da UHE ILHA SOLTEIRA

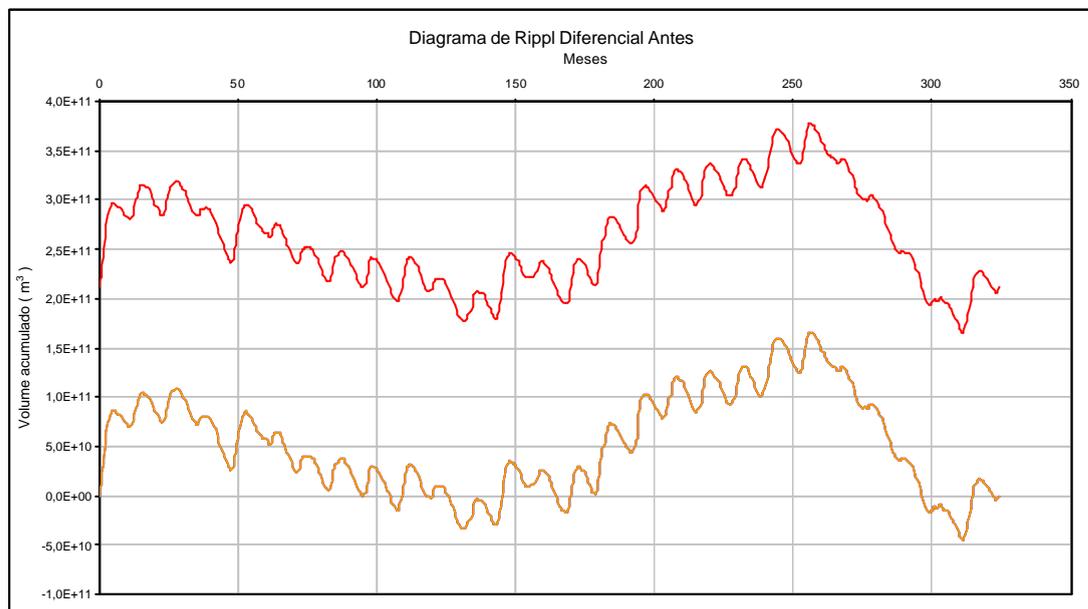


Gráfico 22 – Diagrama de Rippl diferencial para o período de projeto da UHE ILHA SOLTEIRA

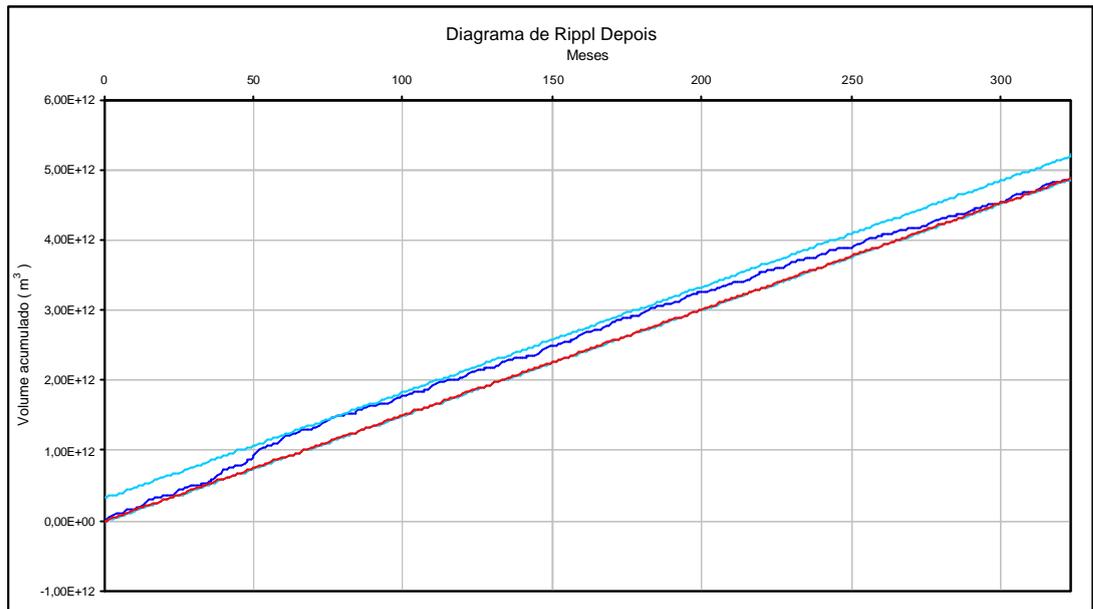


Gráfico 23 – Diagrama de Rippl clássico para o período de operação da UHE ILHA SOLTEIRA

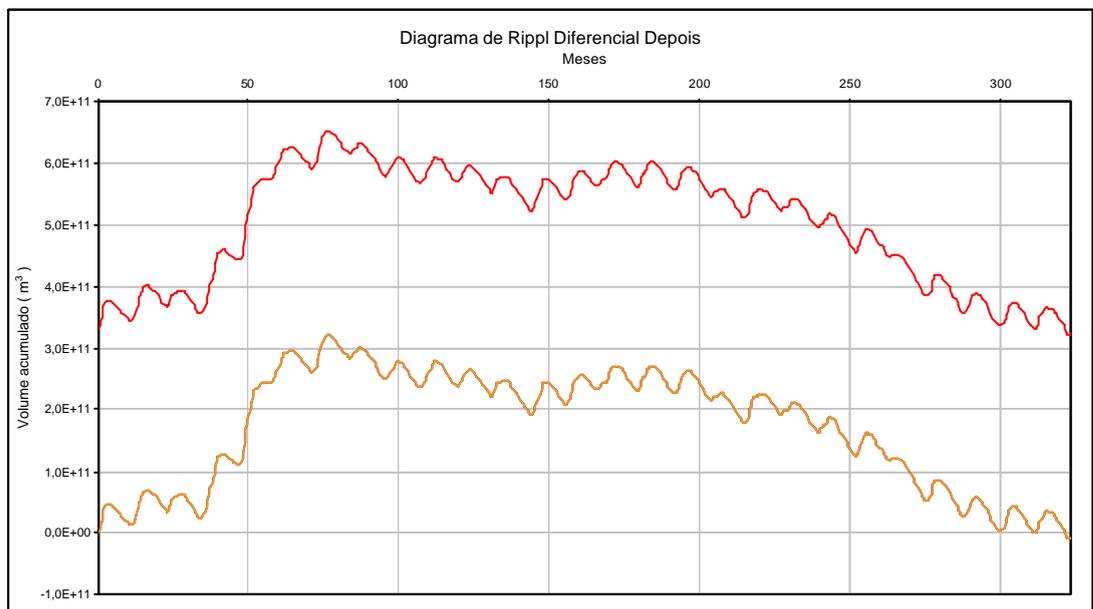


Gráfico 24 – Diagrama de Rippl diferencial para o período de operação da UHE ILHA SOLTEIRA

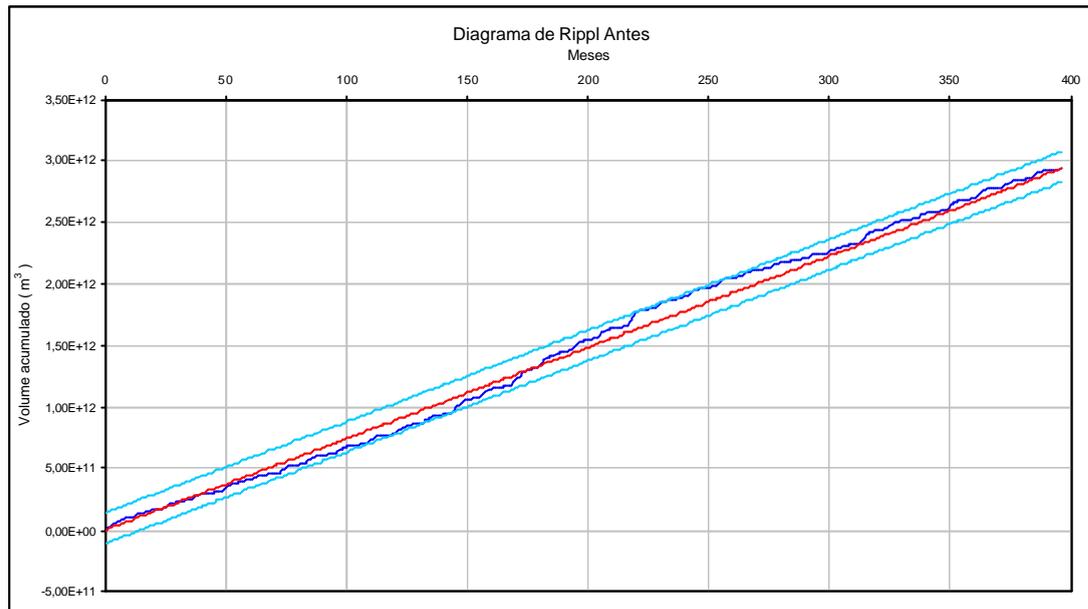


Gráfico 25 – Diagrama de Rippl clássico para o período de projeto da UHE MOXOTÓ/PAULO AFONSO IV

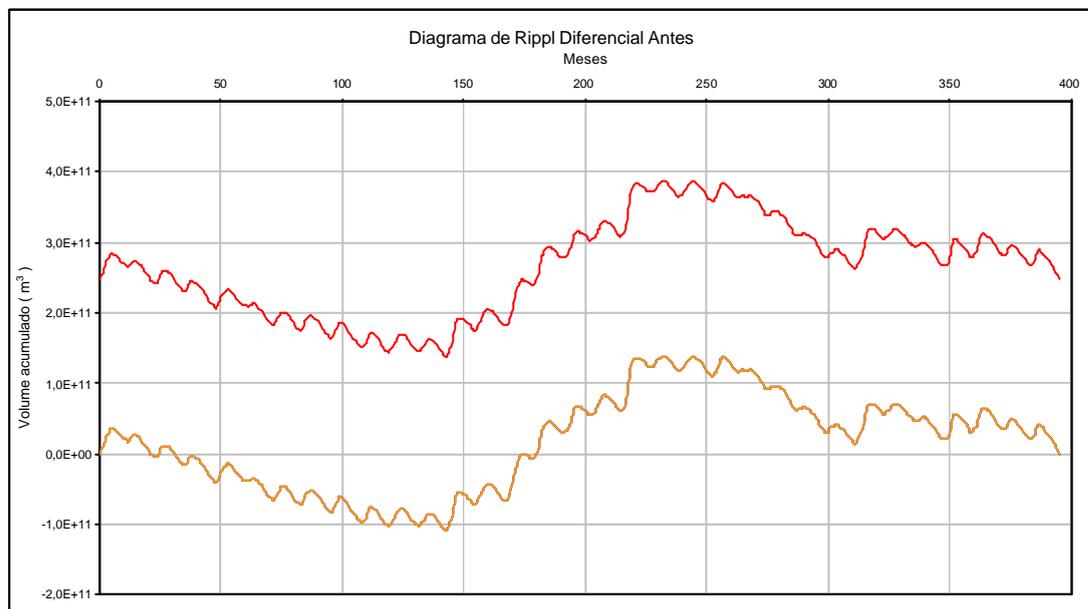


Gráfico 26 – Diagrama de Rippl diferencial para o período de projeto da UHE MOXOTÓ/PAULO AFONSO IV

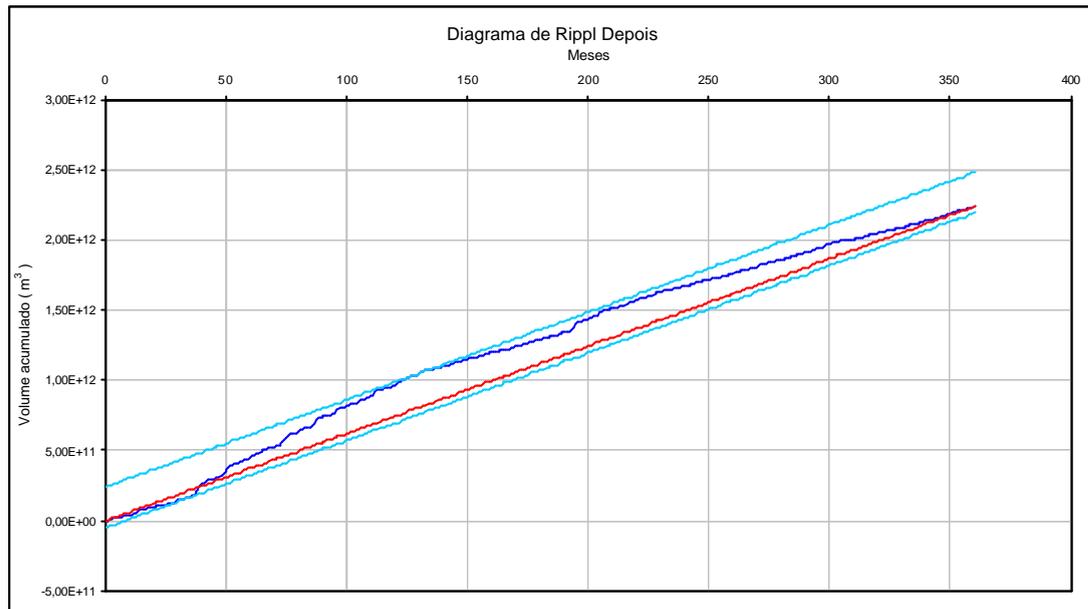


Gráfico 27 – Diagrama de Rippl clássico para o período de operação da UHE MOXOTÓ/PAULO AFONSO IV

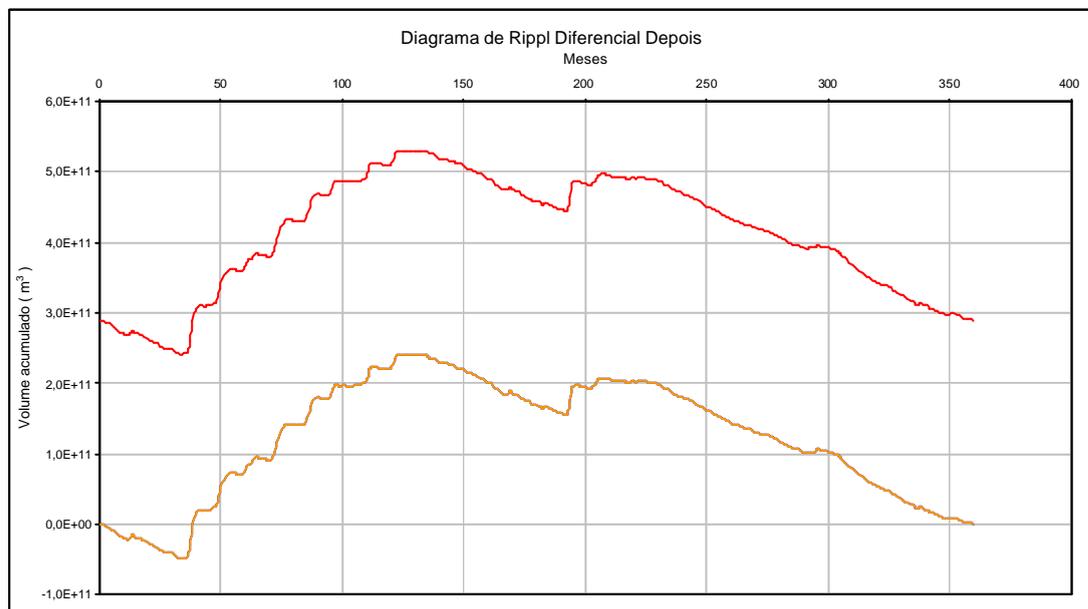


Gráfico 28 – Diagrama de Rippl diferencial para o período de operação da UHE MOXOTÓ/PAULO AFONSO IV

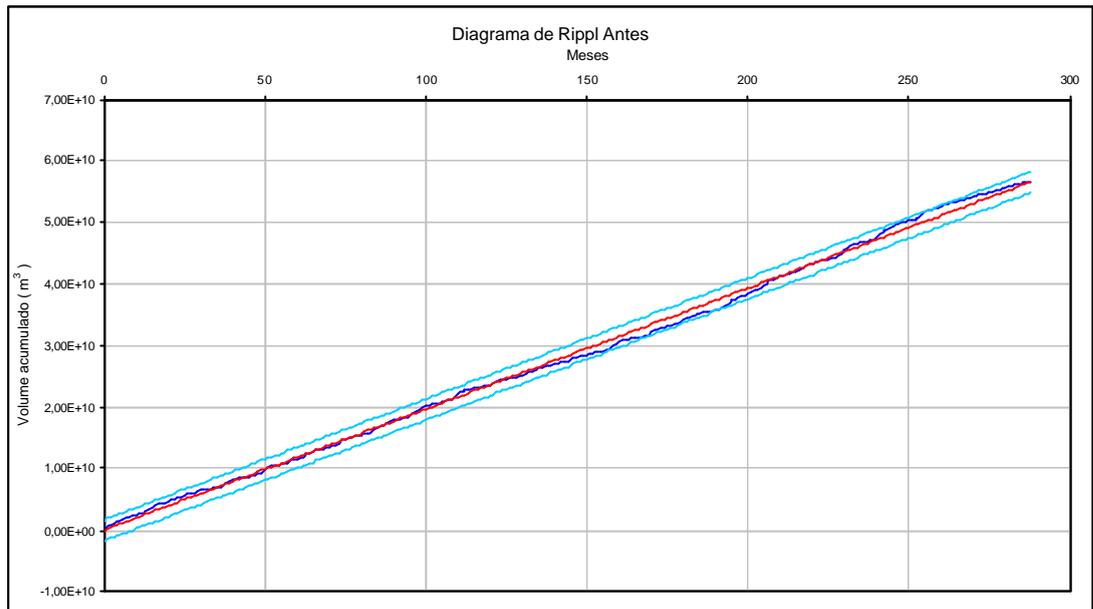


Gráfico 29 – Diagrama de Rippl clássico para o período de projeto da UHE SANTA BRANCA

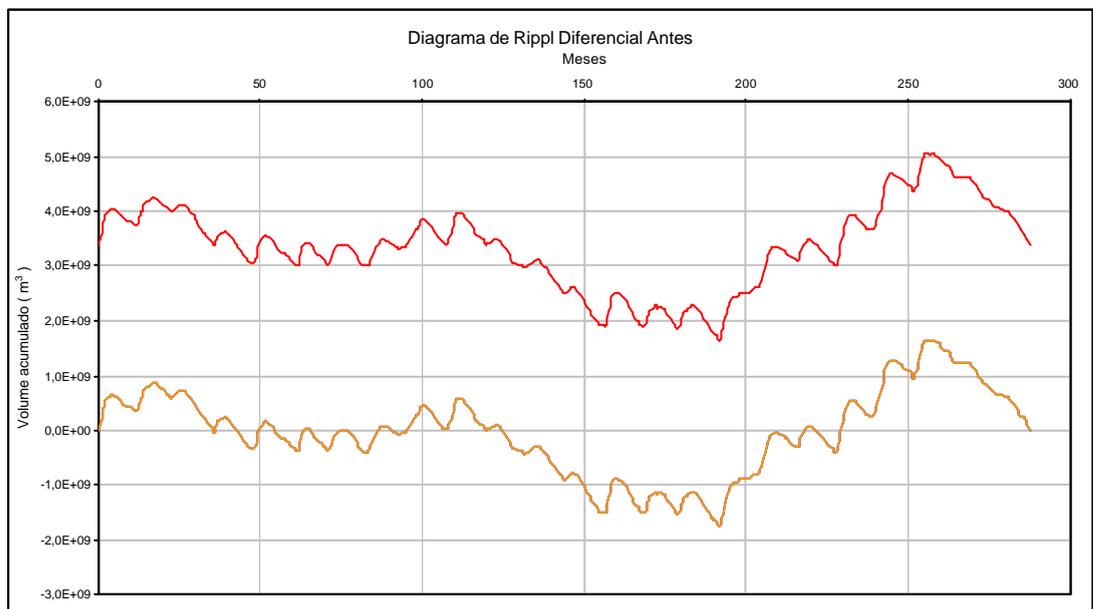


Gráfico 30 – Diagrama de Rippl diferencial para o período de projeto da UHE SANTA BRANCA

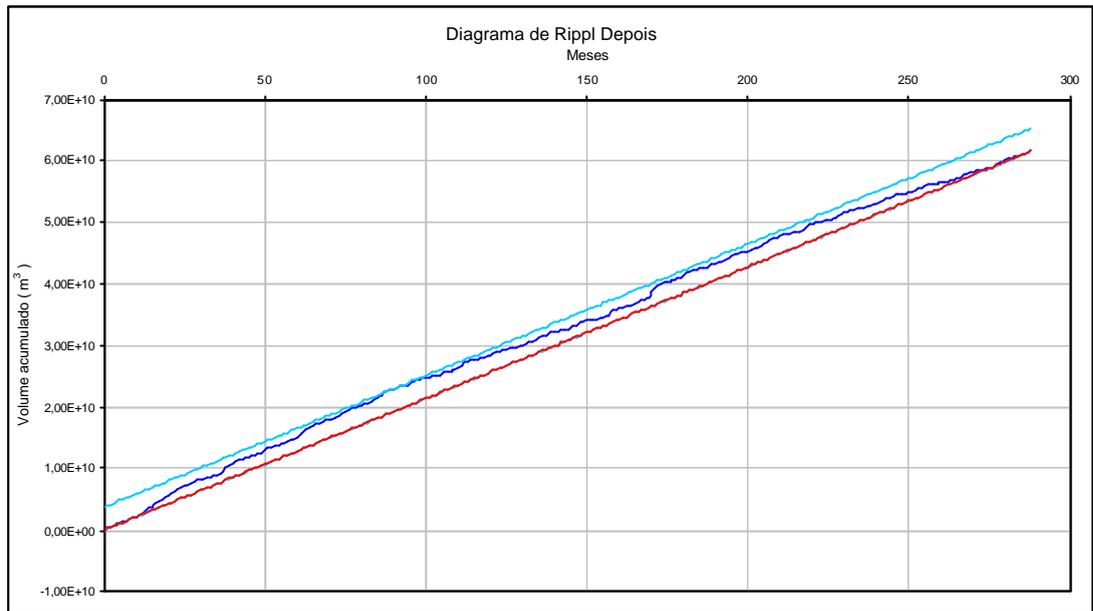


Gráfico 31 – Diagrama de Rippl clássico para o período de operação da UHE SANTA BRANCA

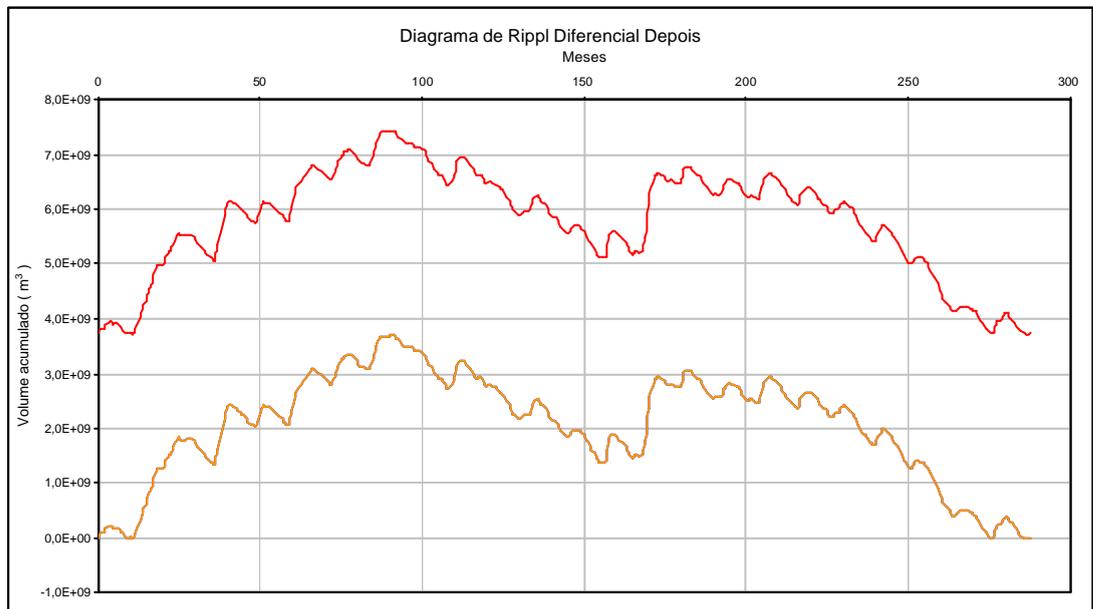


Gráfico 32 – Diagrama de Rippl diferencial para o período de operação da UHE SANTA BRANCA

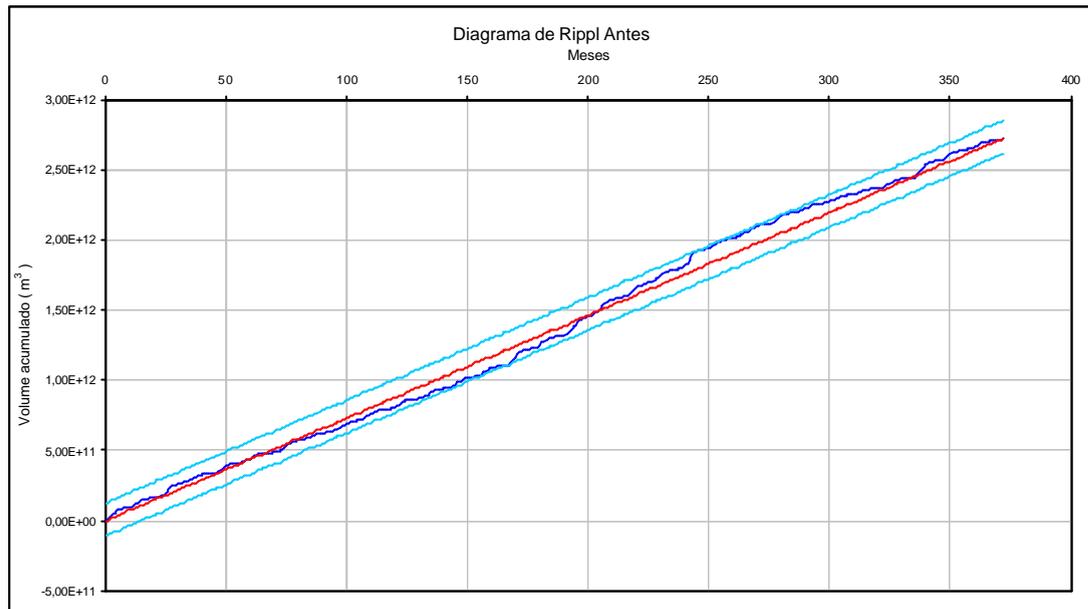


Gráfico 33 – Diagrama de Rippl clássico para o período de projeto da UHE SOBRADINHO

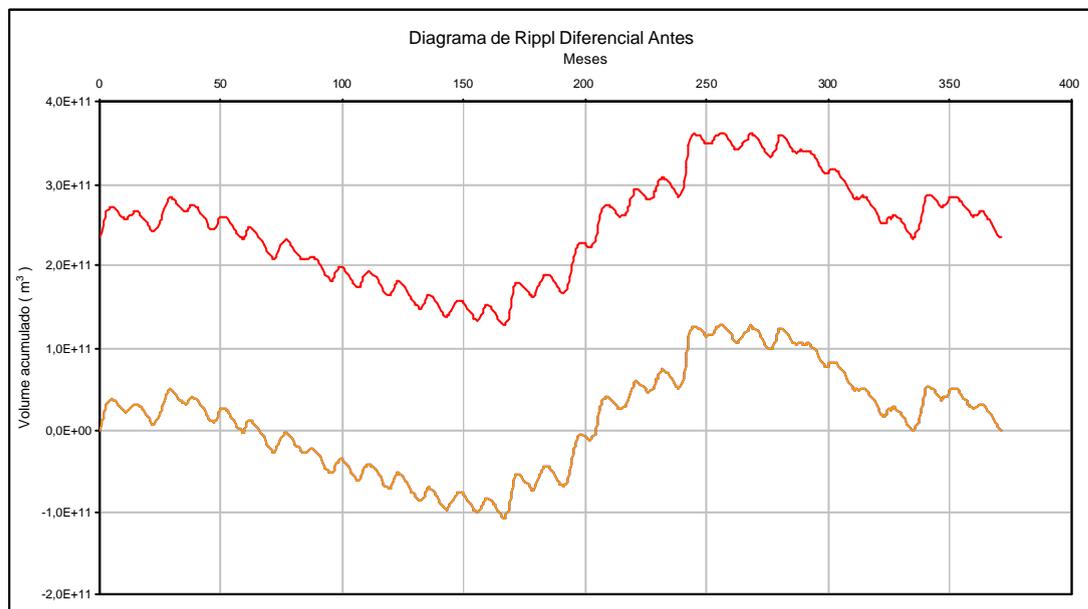


Gráfico 34 – Diagrama de Rippl diferencial para o período de projeto da UHE SOBRADINHO

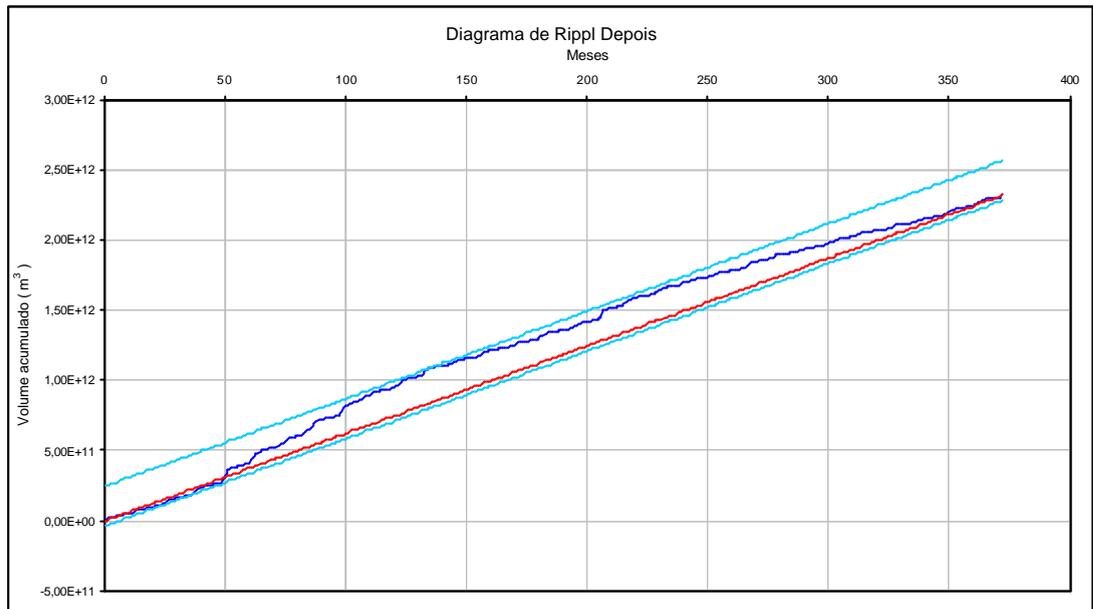


Gráfico 35 – Diagrama de Rippl clássico para o período de operação da UHE SOBRADINHO

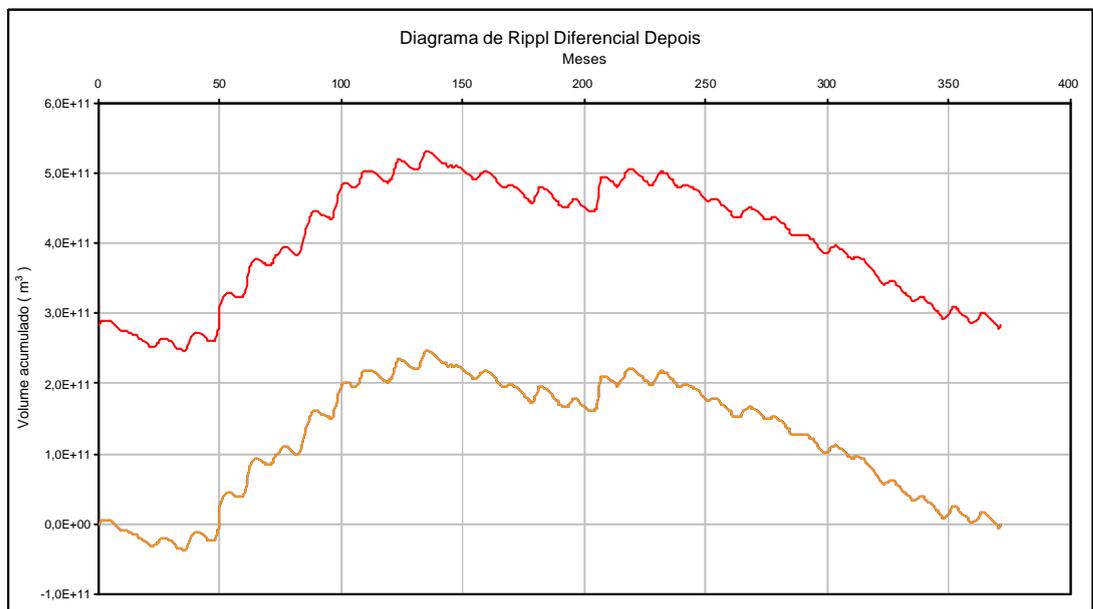


Gráfico 36 – Diagrama de Rippl diferencial para o período de operação da UHE SOBRADINHO

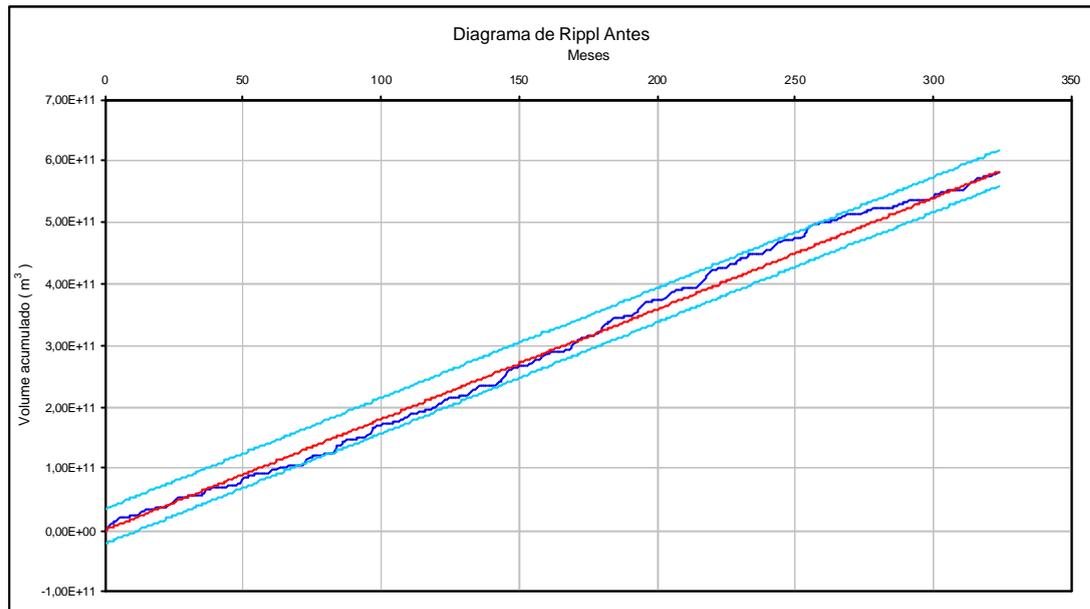


Gráfico 37 – Diagrama de Rippl clássico para o período de projeto da UHE TRÊS MARIAS

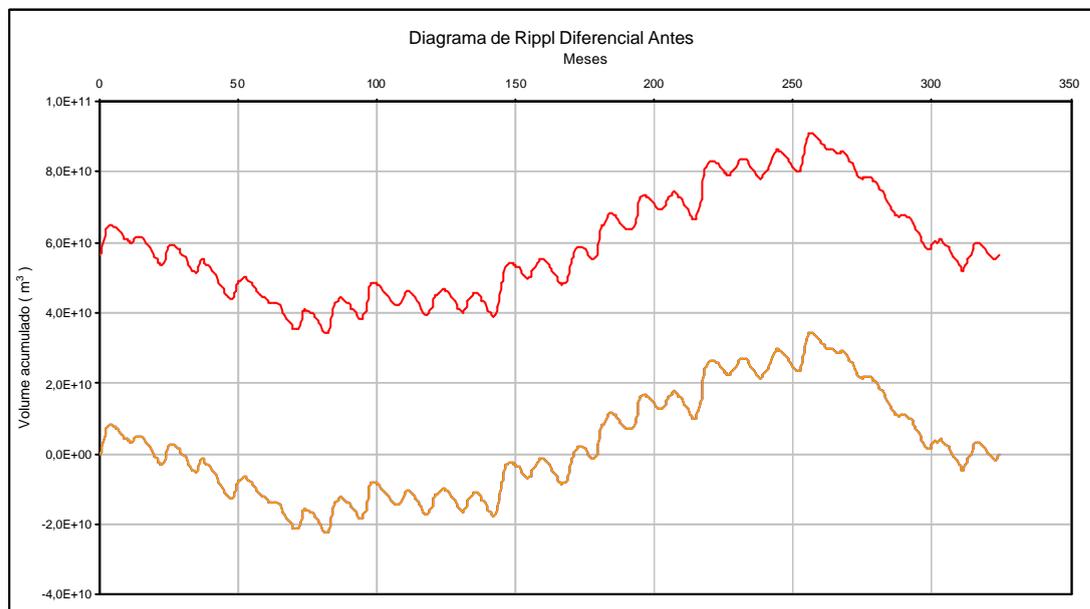


Gráfico 38 – Diagrama de Rippl diferencial para o período de projeto da UHE TRÊS MARIAS

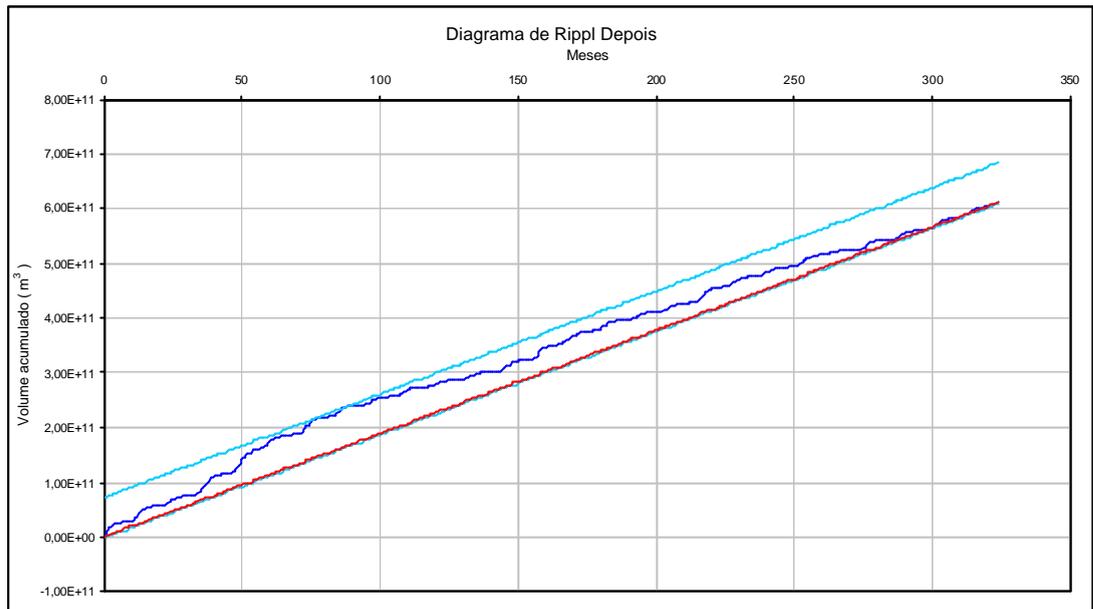


Gráfico 39 – Diagrama de Rippl clássico para o período de operação da UHE TRÊS MARIAS

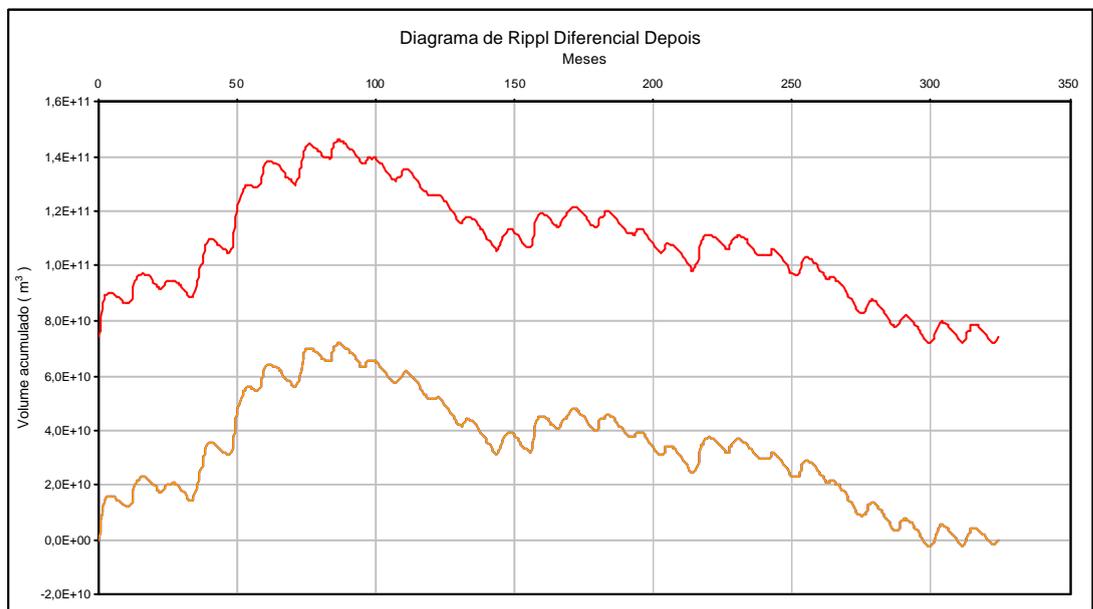


Gráfico 40 – Diagrama de Rippl diferencial para o período de operação da UHE TRÊS MARIAS

**ANEXO E – ESTUDO DO COMPROMETIMENTO HIDROLÓGICO DO
VOLUME ÚTIL – APRESENTAÇÃO DOS DIAGRAMAS DE RIPPL PARA
OS “TAS” IDENTIFICADOS**

Diagrama de Rippl Antes trem de anos secos caconde

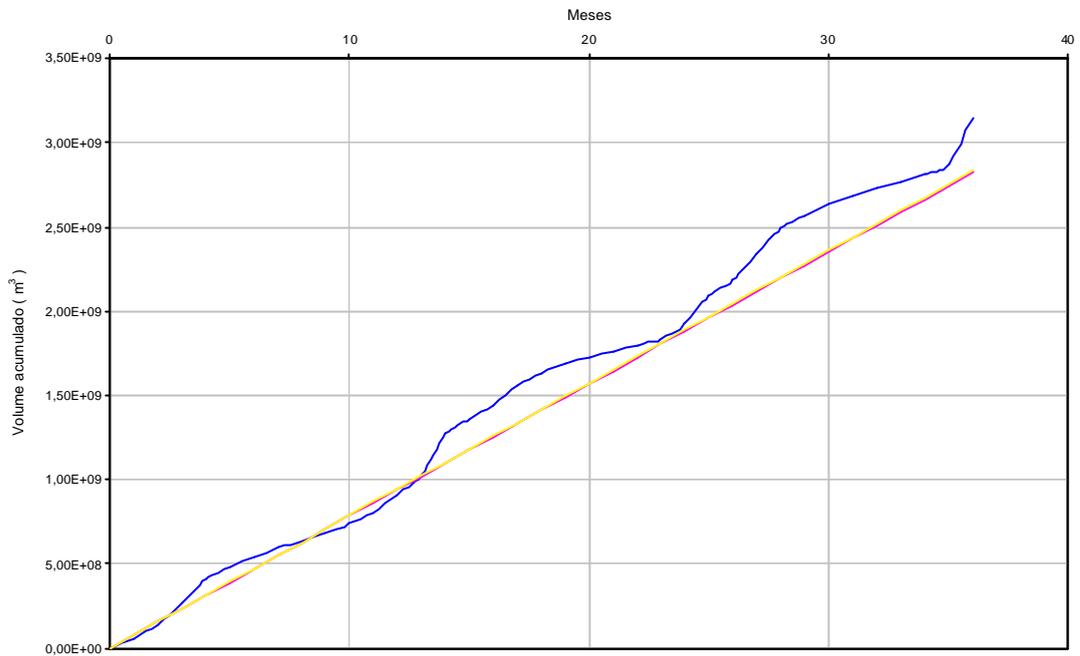


Gráfico 1 – Diagrama de Rippl para o “TAS” do período de projeto da UHE CACONDE

Diagrama de Rippl Depois trem de anos secos caconde década 1980

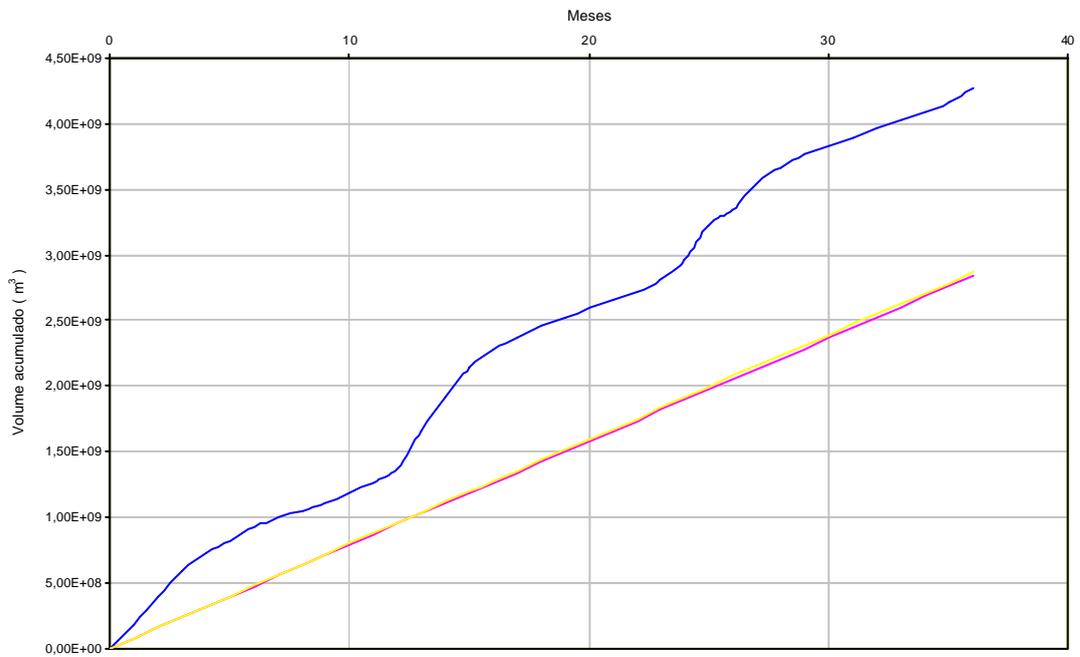


Gráfico 2 – Diagrama de Rippl para o “TAS década de 1980” do período de operação da UHE CACONDE

Diagrama de Rippl Depois trem de anos secos caconde década 2000

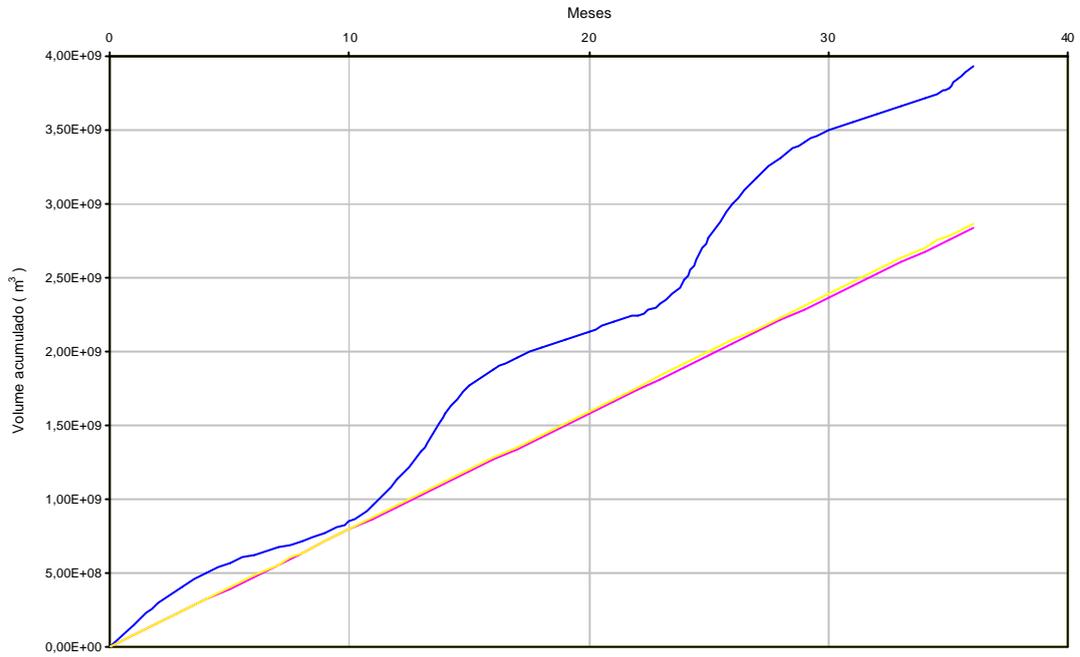


Gráfico 3 – Diagrama de Rippl para o “TAS década de 2000” do período de operação da UHE CACONDE

Diagrama de Rippl Antes Trem de Anos Secos Camargos

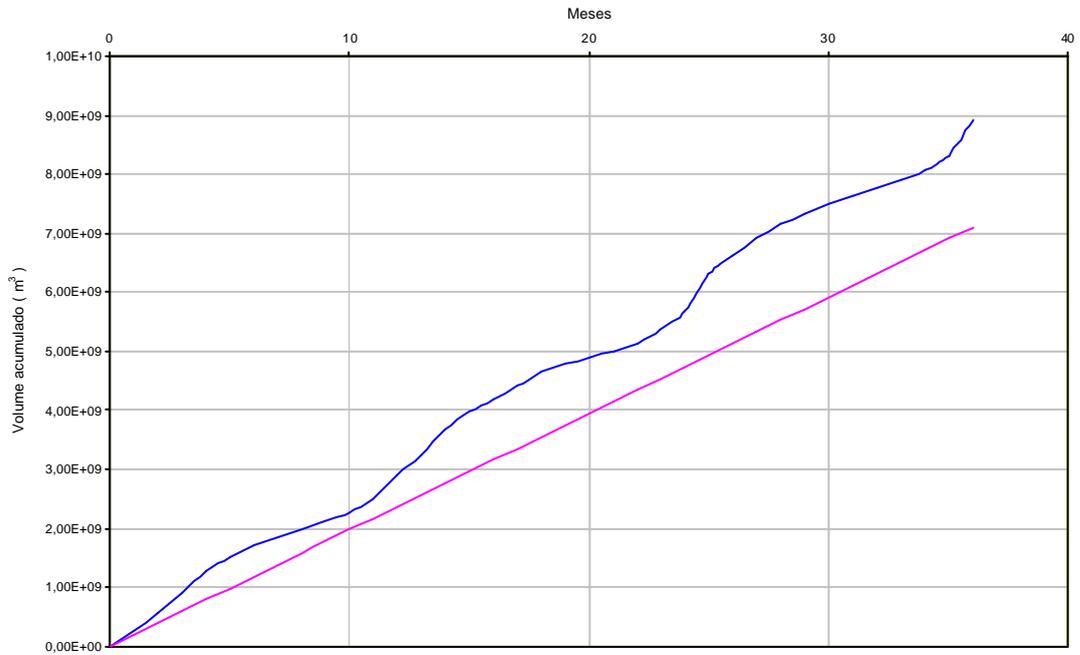


Gráfico 4 – Diagrama de Rippl para o “TAS” do período de projeto da UHE CAMARGOS

Diagrama de Rippl Depois Trem de Anos Secos Camargos década 1980

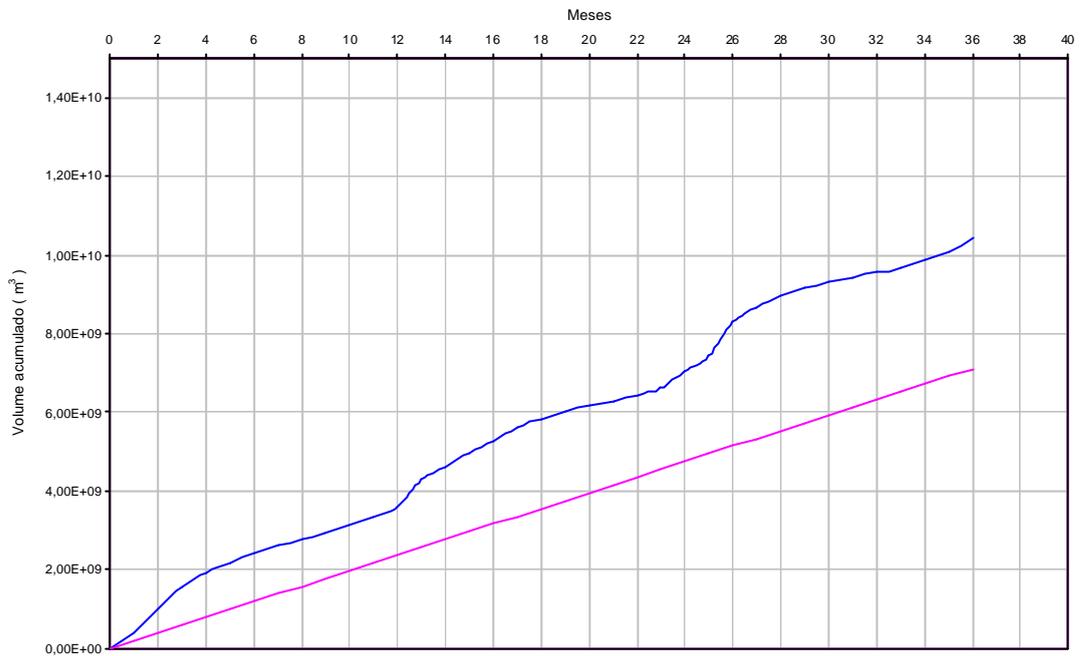


Gráfico 5 – Diagrama de Rippl para o “TAS década de 1980” do período de operação da UHE CAMARGOS

Diagrama de Rippl Depois Trem de Anos Secos Camargos década 2000

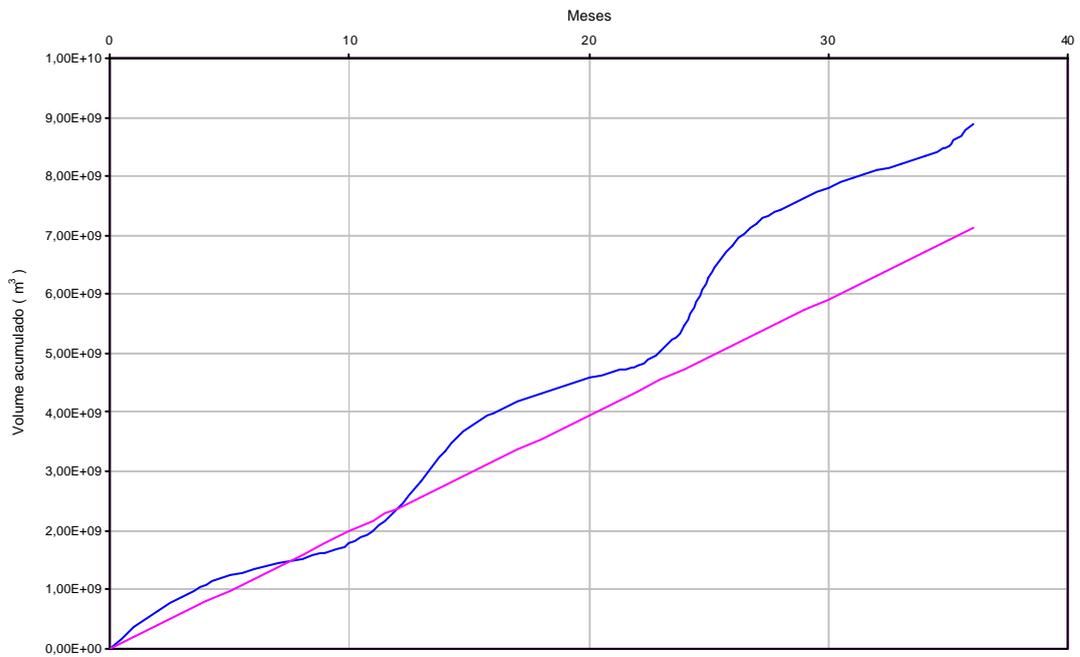


Gráfico 6 – Diagrama de Rippl para o “TAS década de 2000” do período de operação da UHE CAMARGOS

Diagrama de Rippl Antes Trem de Anos Secos Foz do Areia



Gráfico 7 – Diagrama de Rippl para o “TAS” do período de projeto da UHE FOZ do AREIA

Diagrama de Rippl Depois Trem de Anos Secos Foz do Areia década de 1980

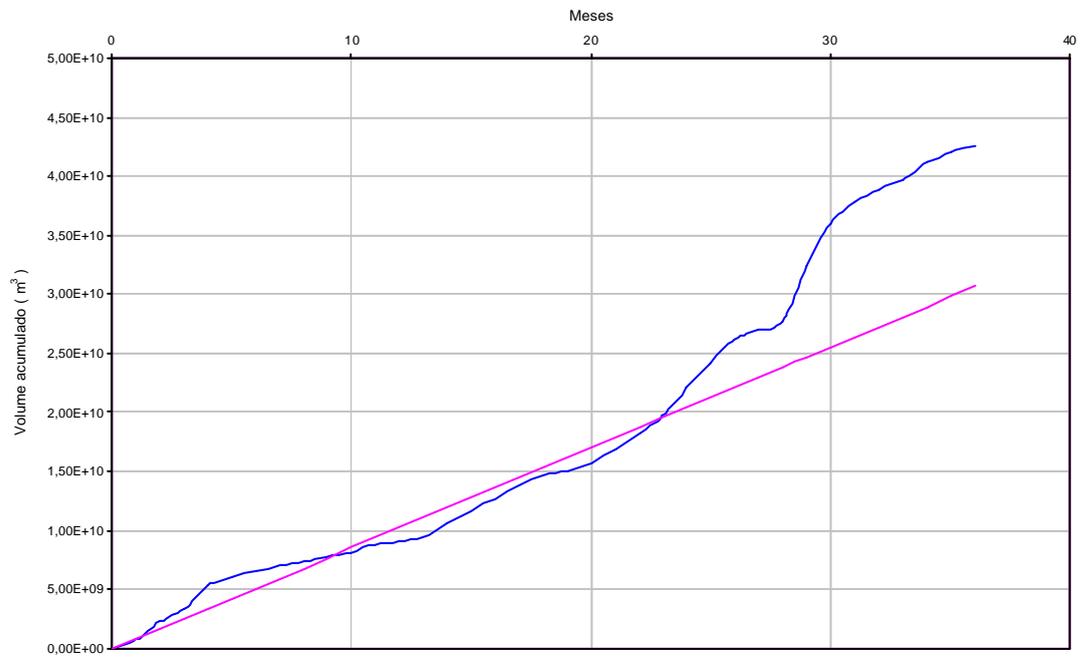


Gráfico 8 – Diagrama de Rippl para o “TAS década de 1980” do período de operação da UHE FOZ do AREIA

Diagrama de Rippl Depois Trem de Anos Secos Foz do Areia década 2000

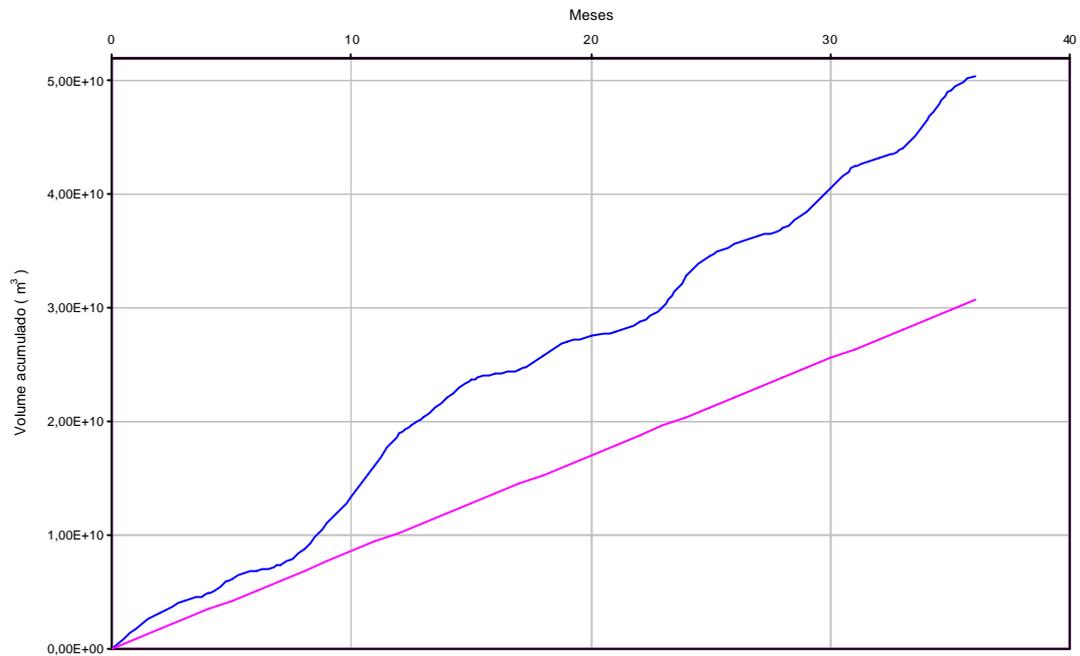


Gráfico 9 – Diagrama de Rippl para o “TAS década de 2000” do período de operação da UHE FOZ do AREIA

Diagrama de Rippl Antes Trem de Anos Secos Funil

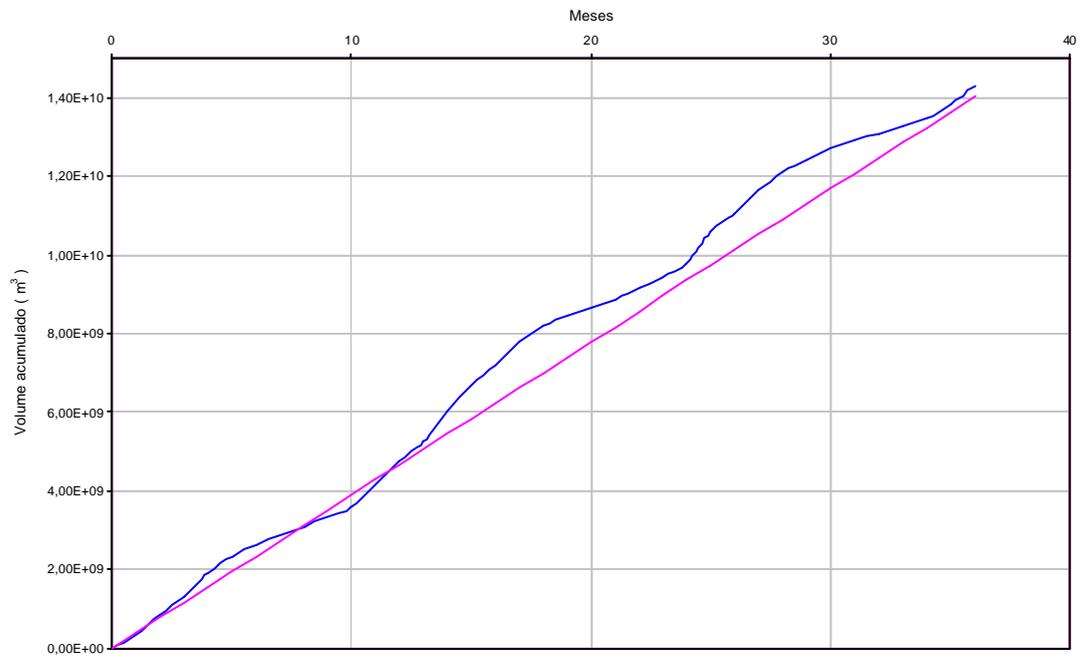


Gráfico 10 – Diagrama de Rippl para o “TAS” do período de projeto da UHE FUNIL

Diagrama de Rippl Depois Trem de Anos Secos Funil década 1980

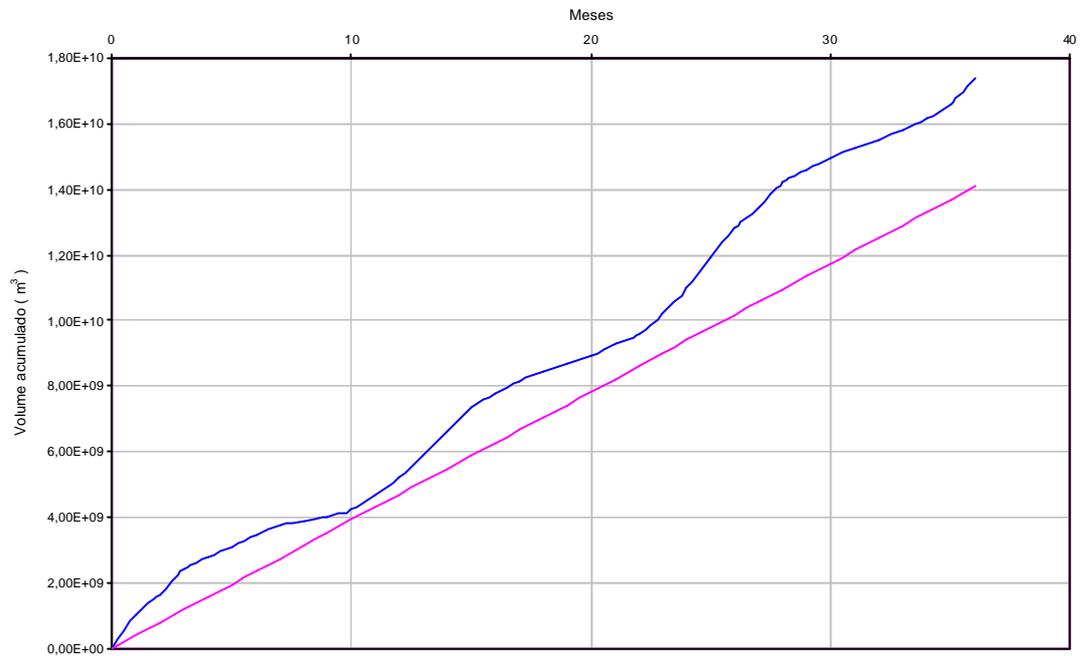


Gráfico 11 – Diagrama de Rippl para o “TAS década de 1980” do período de operação da UHE FUNIL

Diagrama de Rippl Depois Trem de Anos Secos Funil década 2000

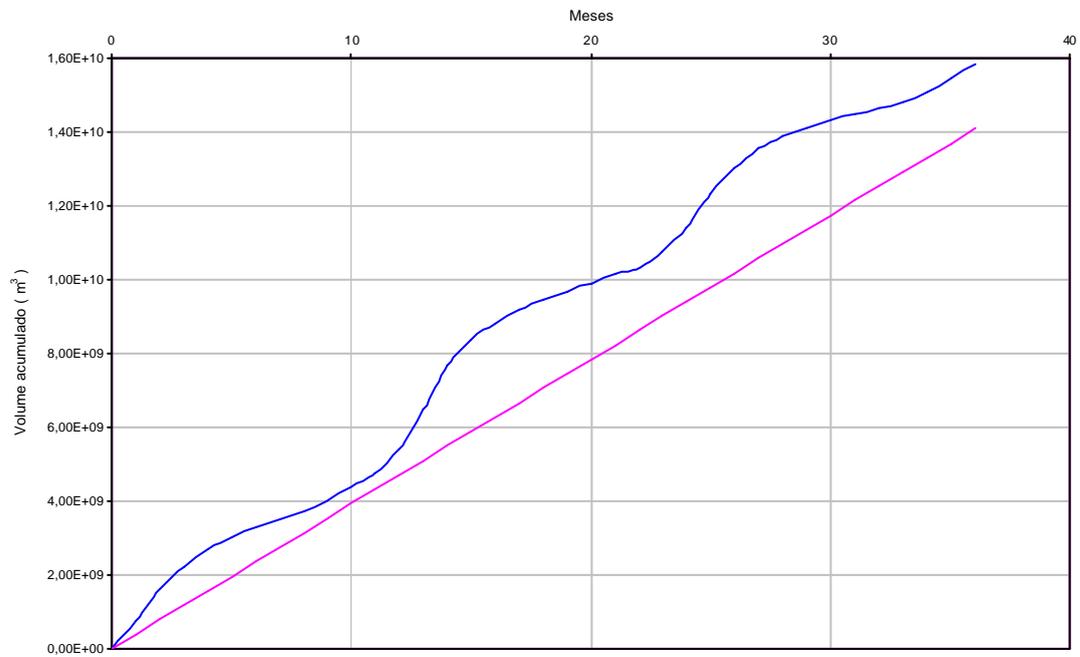


Gráfico 12 – Diagrama de Rippl para o “TAS década de 2000” do período de operação da UHE FUNIL

Diagrama de Rippl Antes Trem de Anos Secos Furnas

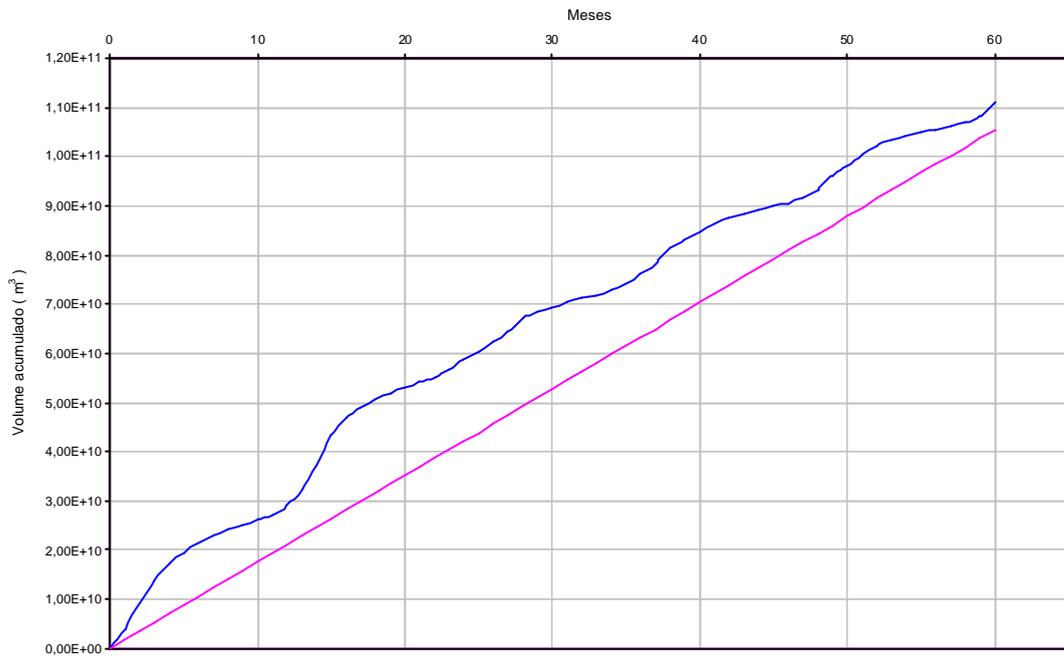


Gráfico 13 – Diagrama de Rippl para o “TAS” do período de projeto da UHE FURNAS

Diagrama de Rippl Depois Trem de Anos Secos Furnas década de 1980

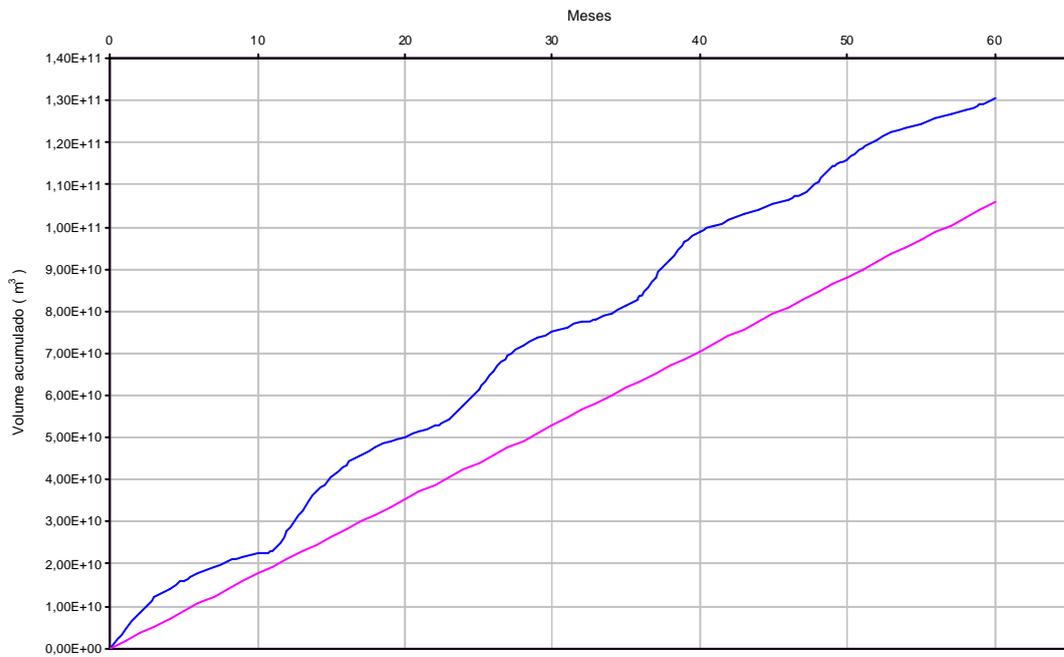


Gráfico 14 – Diagrama de Rippl para o “TAS década de 1980” do período de operação da UHE FURNAS

Diagrama de Rippl Depois Trem de Anos Secos Furnas década 2000

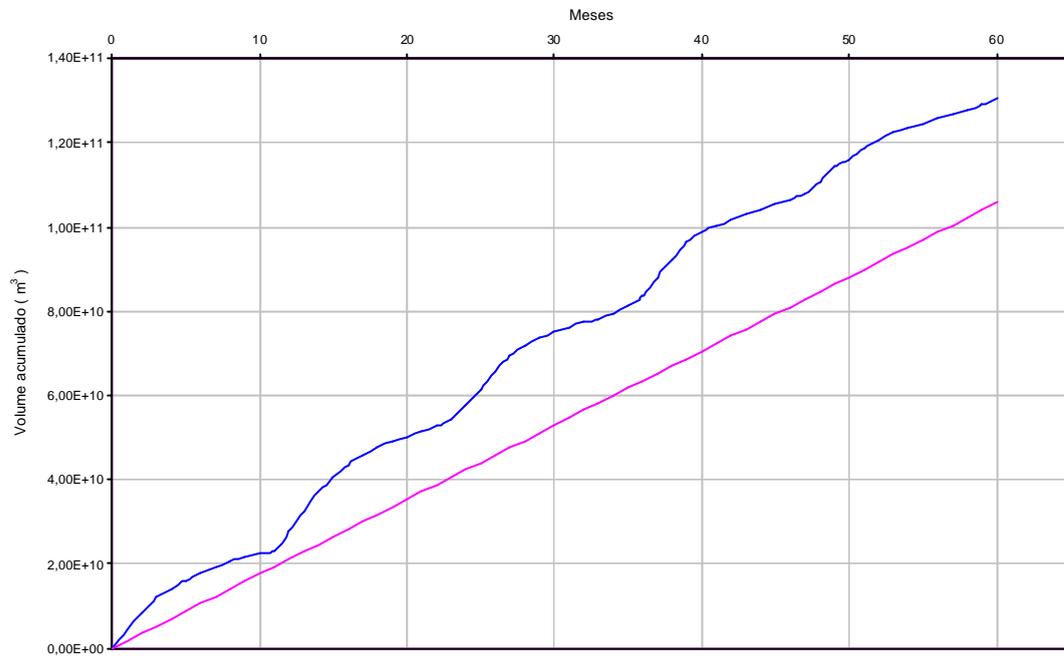


Gráfico 15 – Diagrama de Rippl para o “TAS década de 2000” do período de operação da UHE FURNAS

Diagrama de Rippl Antes Trem de Anos Secos Ilha Solteira

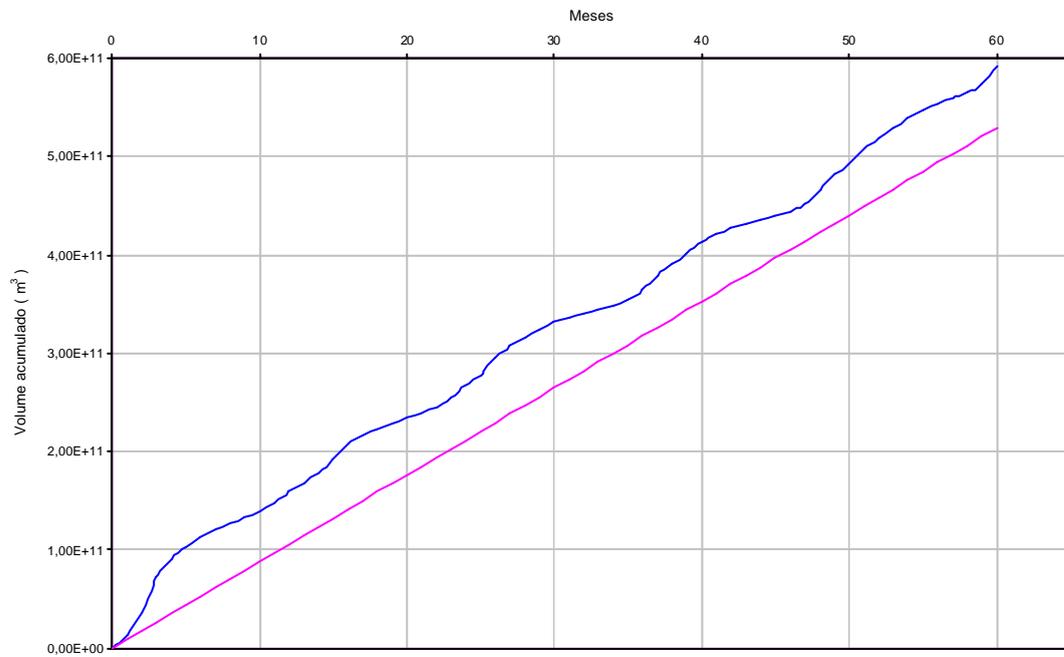


Gráfico 16 – Diagrama de Rippl para o “TAS” do período de projeto da UHE ILHA SOLTEIRA

Diagrama de Rippl Depois Trem de Anos Secos Ilha Solteira década de 1980

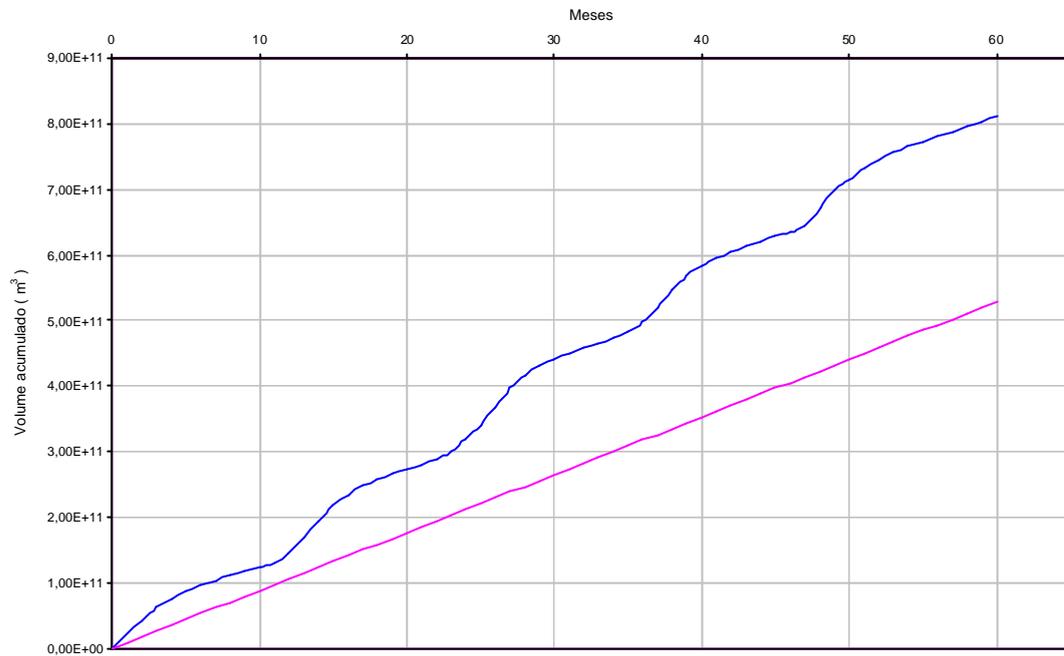


Gráfico 17 – Diagrama de Rippl para o “TAS década de 1980” do período de operação da UHE ILHA SOLTEIRA

Diagrama de Rippl Depois Trem de Anos Secos Ilha Solteira década de 2000

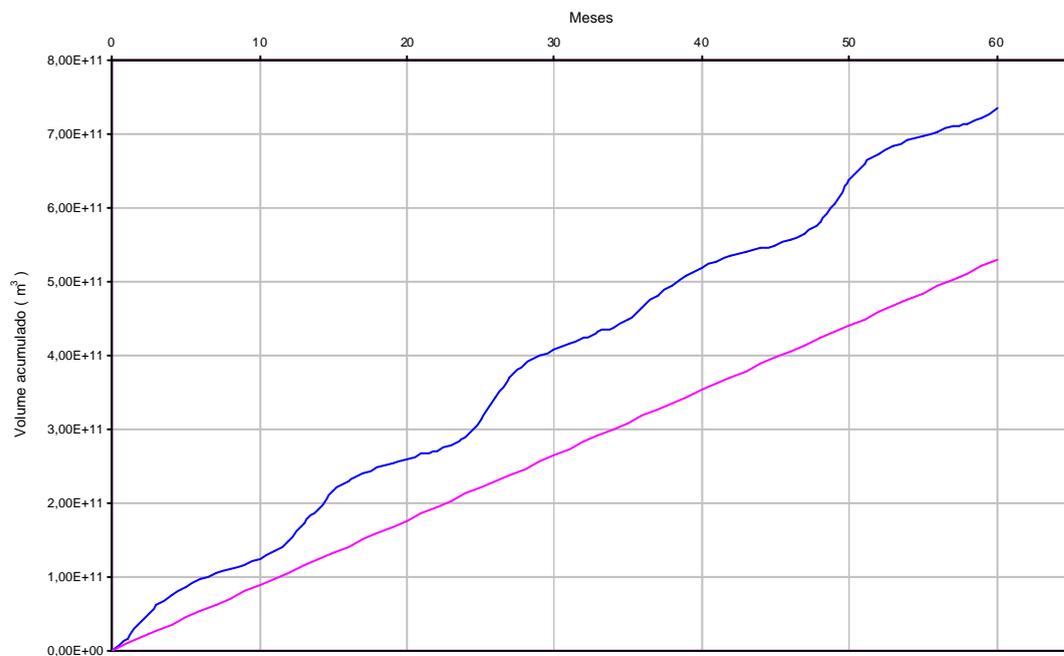


Gráfico 18 – Diagrama de Rippl para o “TAS década de 2000” do período de operação da UHE ILHA SOLTEIRA

Diagrama de Rippl Antes Trem de Anos Secos Moxotó/P.A.IV

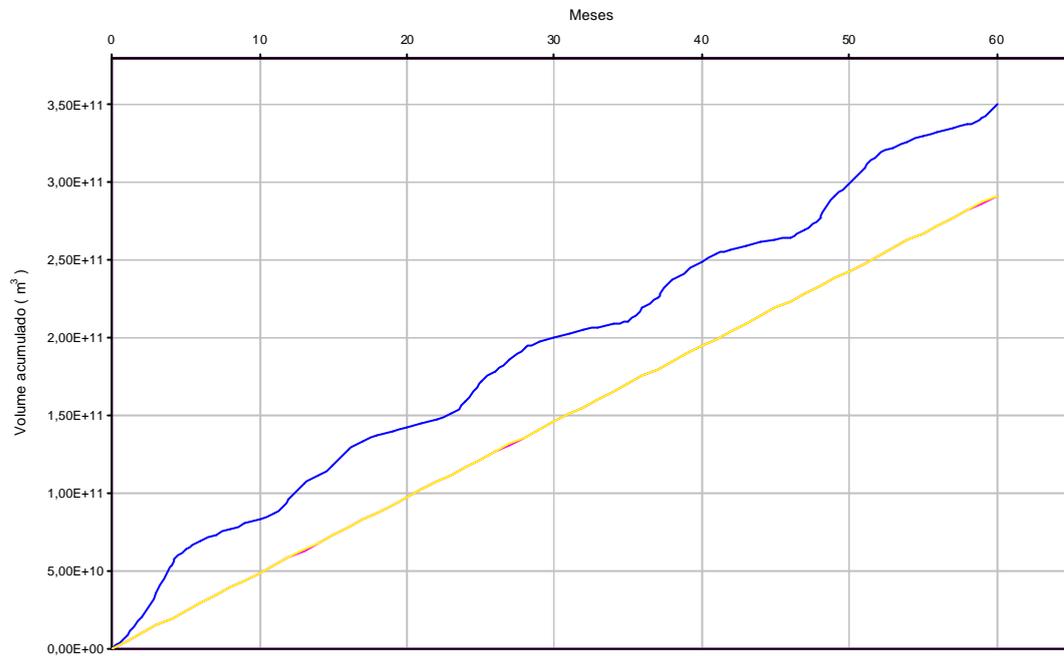


Gráfico 19 – Diagrama de Rippl para o “TAS” do período de projeto da UHE MOXOTÓ/PAULO AFONSO IV

Diagrama de Rippl Depois Trem de Anos Secos Moxotó/P.A.IV década de 1980

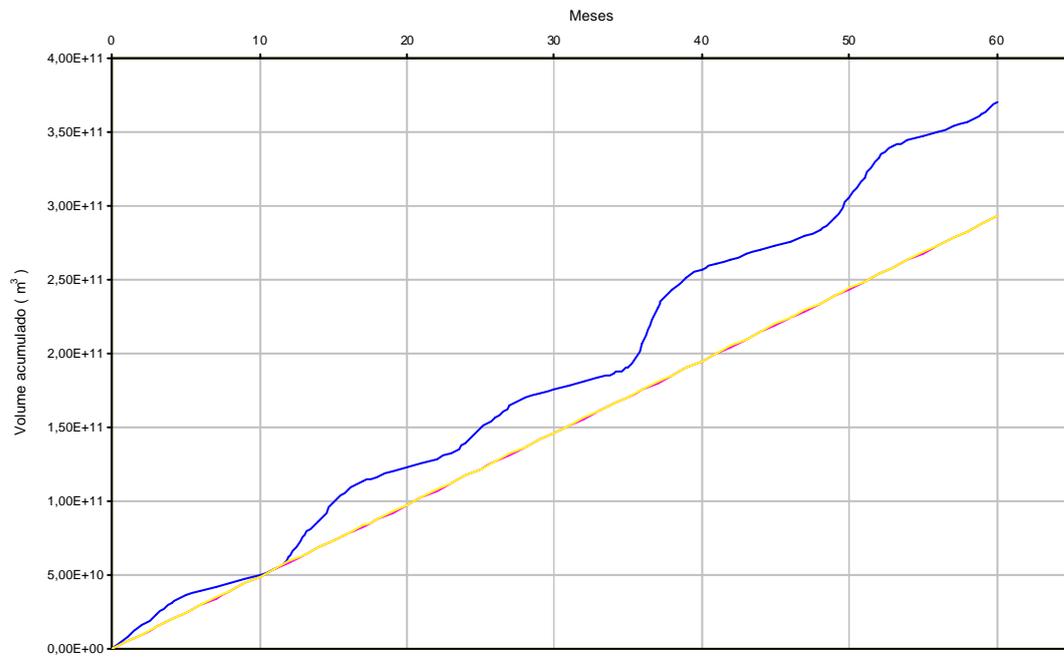


Gráfico 20 – Diagrama de Rippl para o “TAS década de 1980” do período de operação da UHE MOXOTÓ/PAULO AFONSO IV

Diagrama de Rippl Depois Trem de Anos Secos Moxotó/P.A.IV década de 2000

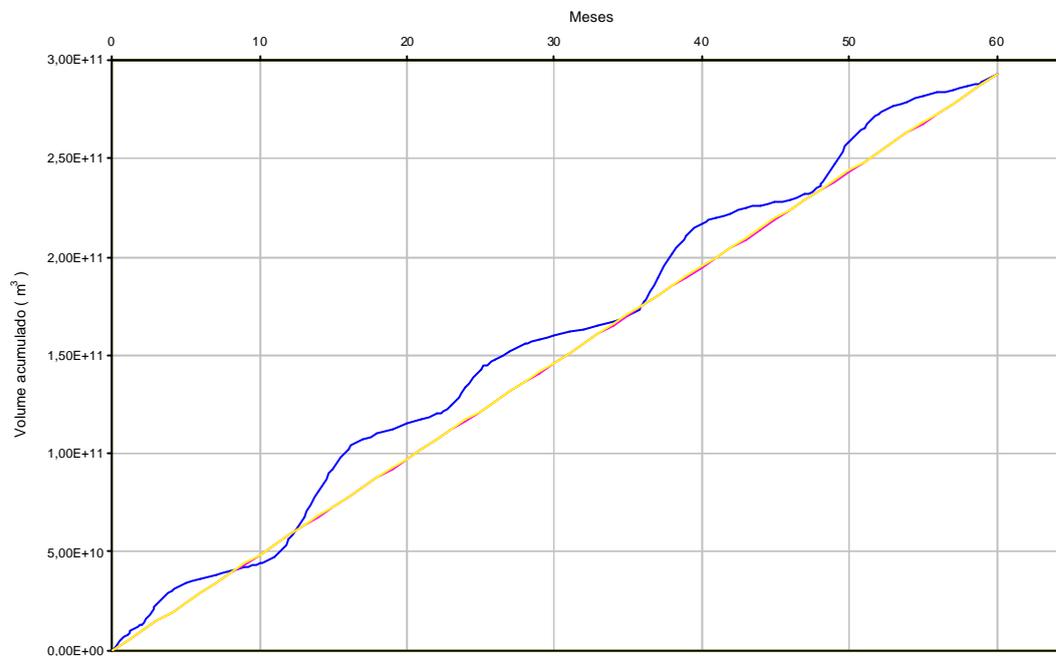


Gráfico 21 – Diagrama de Rippl para o “TAS década de 2000” do período de operação da UHE MOXOTÓ/PAULO AFONSO IV

Diagrama de Rippl Antes Trem de Anos Secos Santa Branca

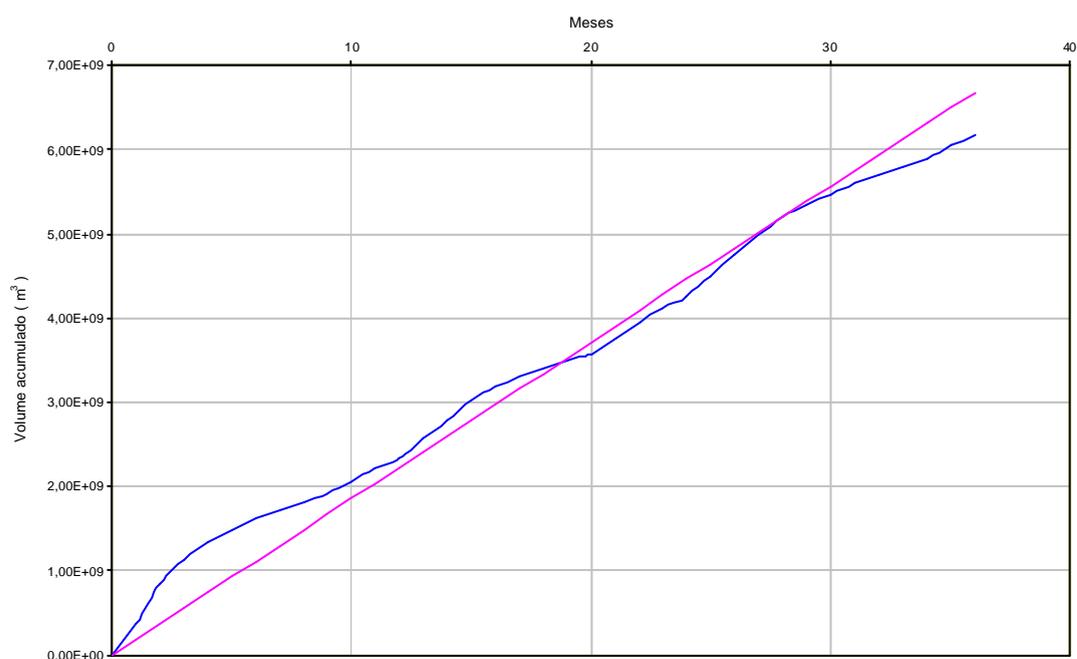


Gráfico 22 – Diagrama de Rippl para o “TAS” do período de projeto da UHE SANTA BRANCA

Diagrama de Rippl Depois Trem de Anos Secos Santa Branca década de 1980

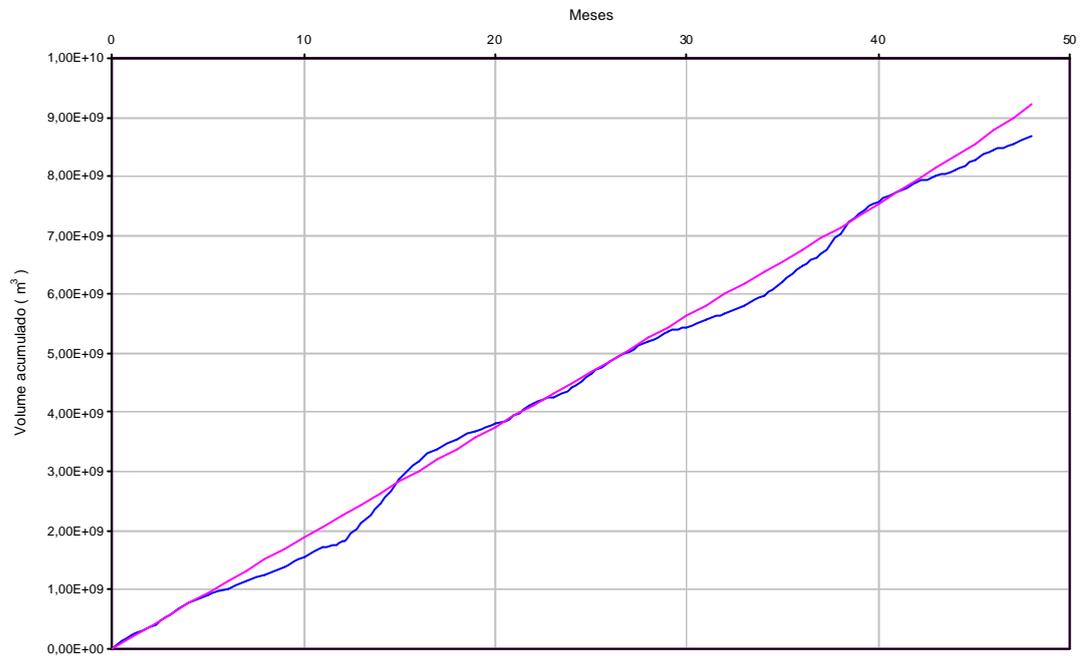


Gráfico 23 – Diagrama de Rippl para o “TAS década de 1980” do período de operação da UHE SANTA BRANCA

Diagrama de Rippl Depois Trem de Anos Secos Santa Branca década de 2000

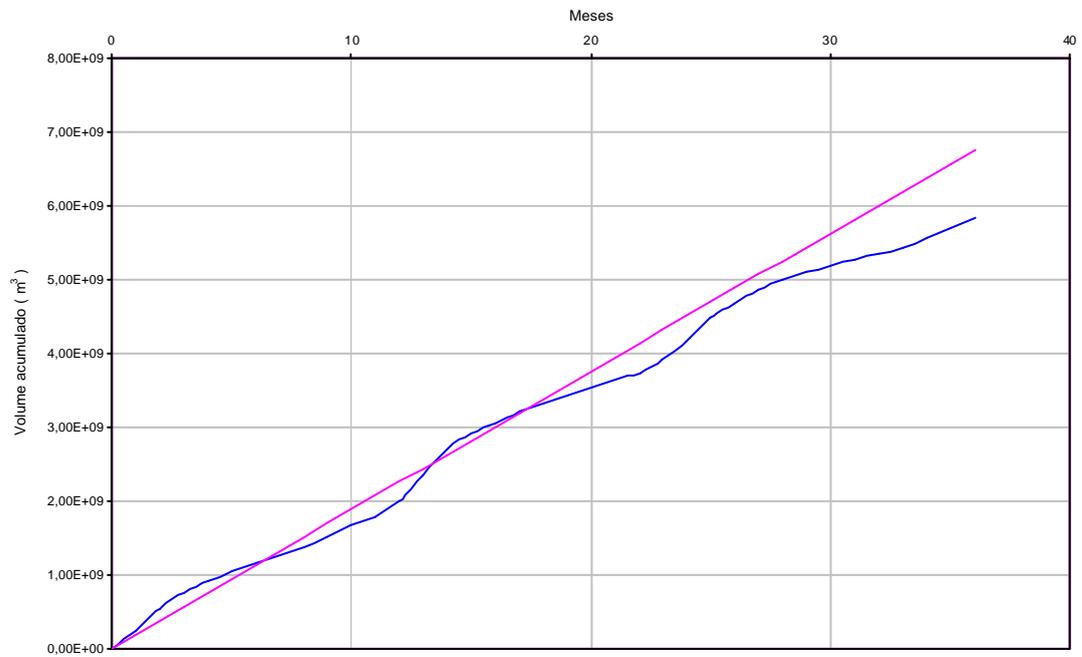


Gráfico 24 – Diagrama de Rippl para o “TAS década de 2000” do período de operação da UHE SANTA BRANCA

Diagrama de Rippl Antes Trem de Anos Secos Sobradinho

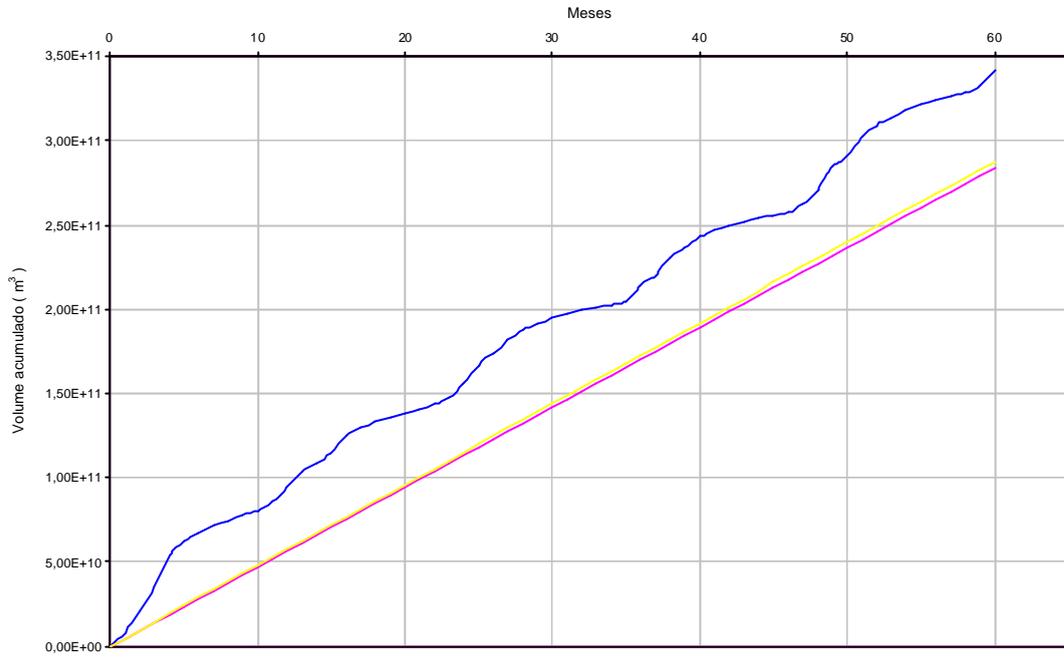


Gráfico 25 – Diagrama de Rippl para o “TAS” do período de projeto da UHE SOBRADINHO

Diagrama de Rippl Depois Trem de Anos Secos Sobradinho década de 1980

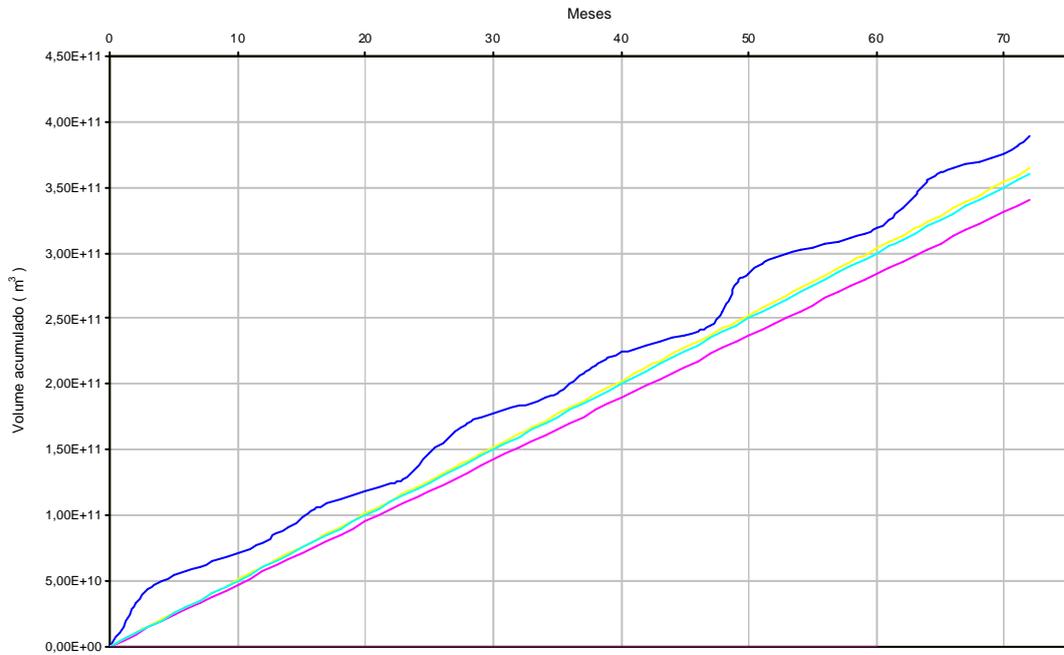


Gráfico 26 – Diagrama de Rippl para o “TAS década de 1980” do período de operação da UHE SOBRADINHO

Diagrama de Rippl Depois Trem de Anos Secos Sobradinho década de 2000

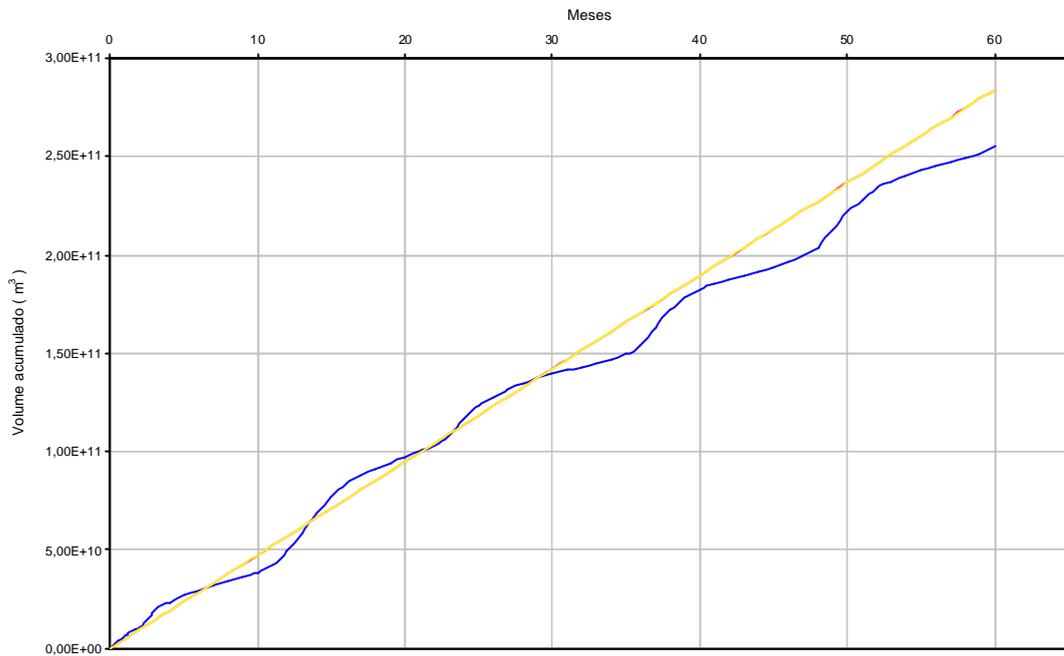


Gráfico 27 – Diagrama de Rippl para o “TAS década de 2000” do período de operação da UHE SOBRADINHO

Diagrama de Rippl Antes Trem de Anos Secos Três Marias

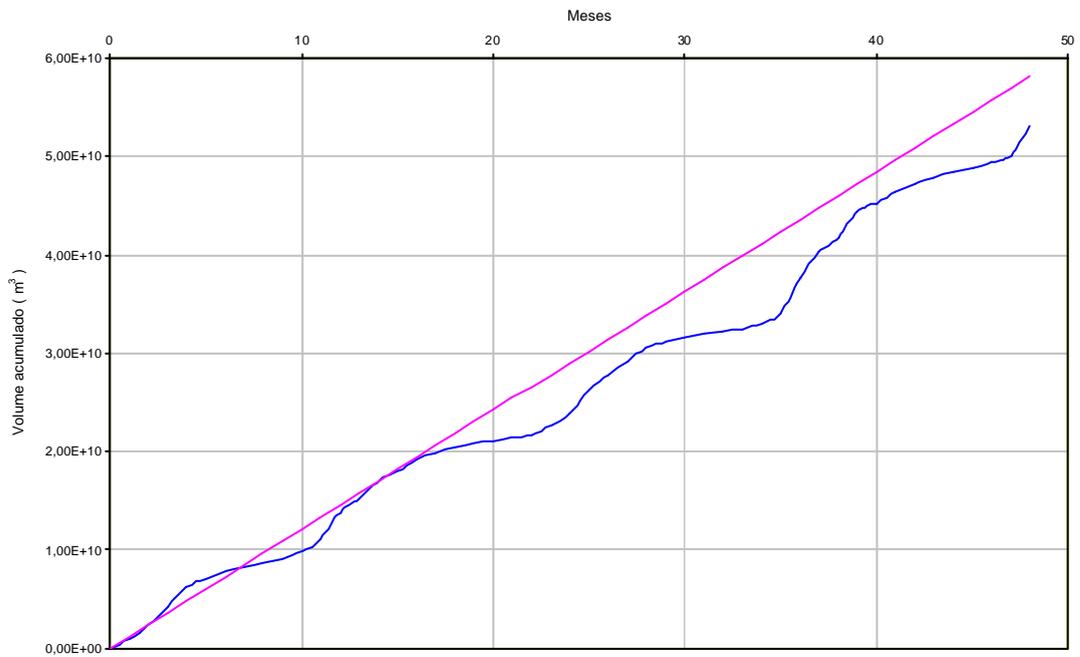


Gráfico 28 – Diagrama de Rippl para o “TAS” do período de projeto da UHE TRÊS MARIAS

Diagrama de Rippl Depois Trem de Anos Secos Três Marias década de 1980

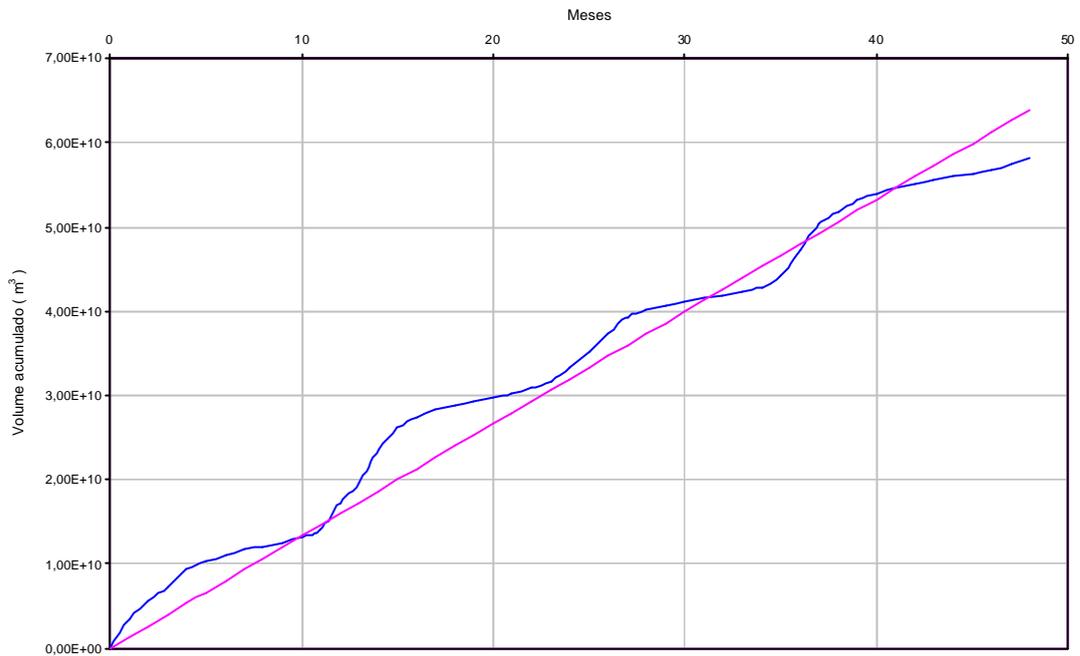


Gráfico 29 – Diagrama de Rippl para o “TAS década de 1980” do período de operação da UHE TRÊS MARIAS

Diagrama de Rippl Depois Trem de Anos Secos Três Marias década de 2000

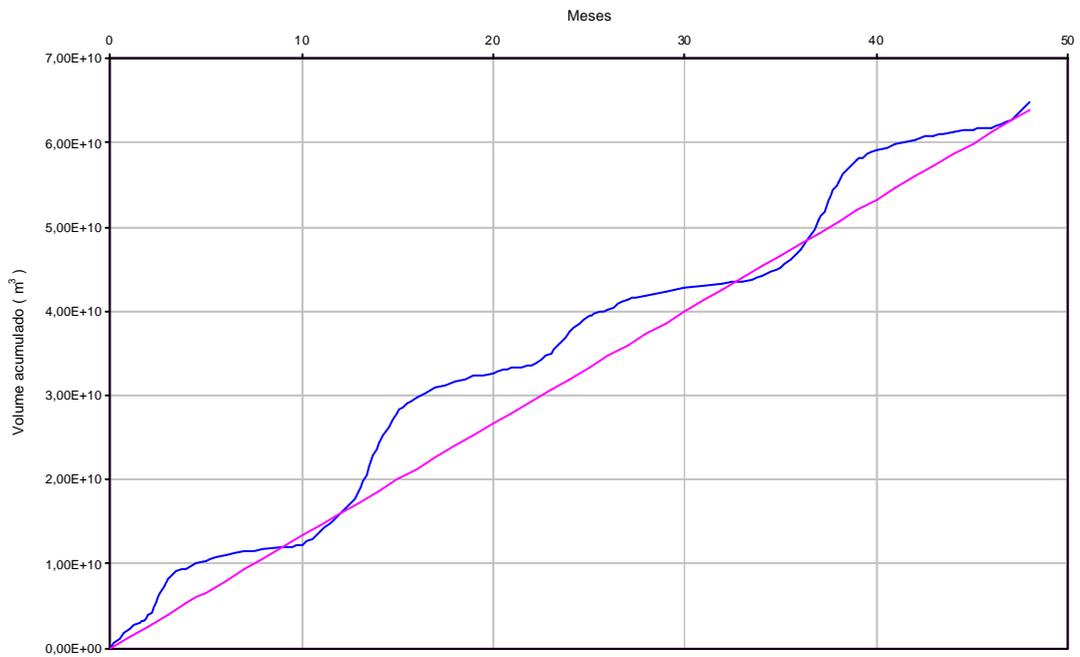


Gráfico 30 – Diagrama de Rippl para o “TAS década de 2000” do período de operação da UHE TRÊS MARIAS

ANEXO F – ESTUDO DO COMPROMETIMENTO HIDROLÓGICO DO VOLUME ÚTIL – APRESENTAÇÃO DOS GRÁFICOS RESPOSTA DO PROGRAMA “CONTI” PARA OS “TAS” IDENTIFICADOS

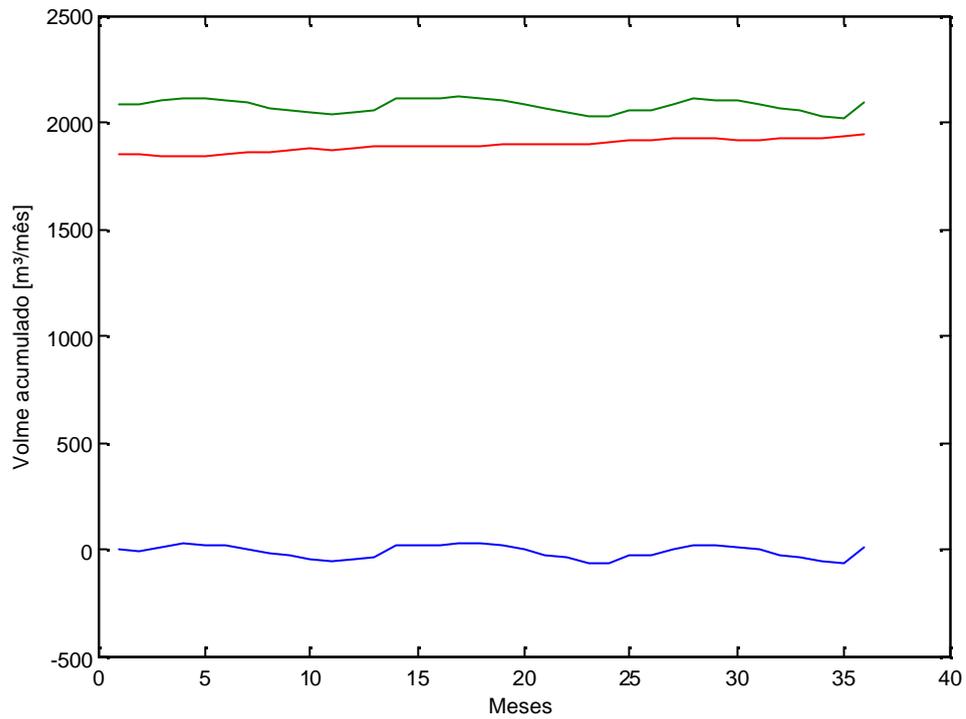


Gráfico 1 – Diagrama de Conti-Varlet de volume acumulado para o período de projeto da UHE CACONDE

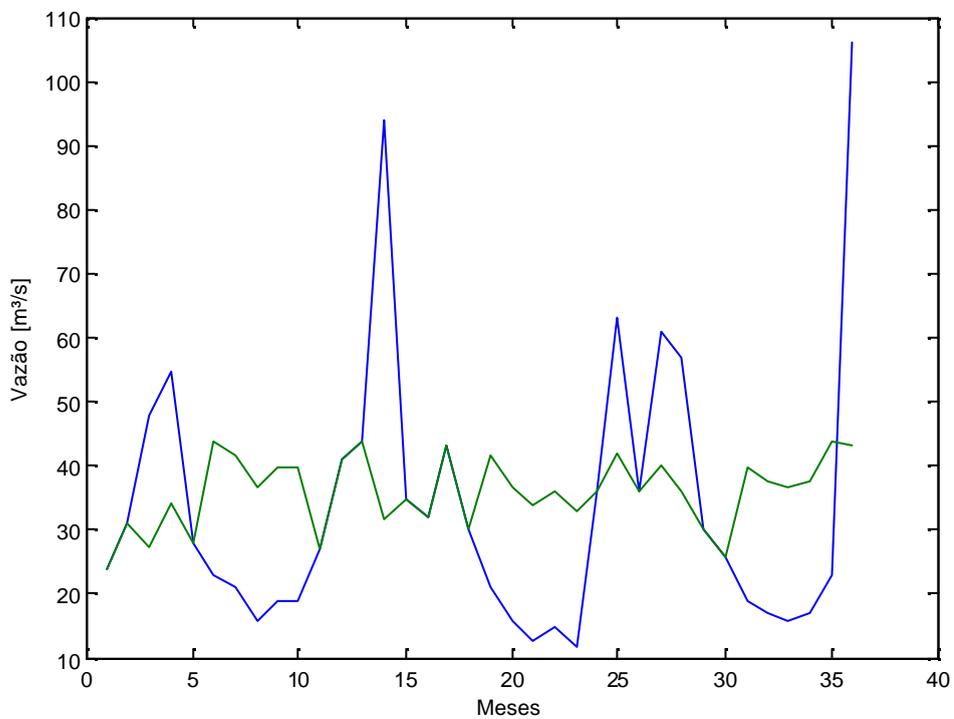


Gráfico 2 – Diagrama de Conti-Varlet de vazões regularizadas para o período de projeto da UHE CACONDE

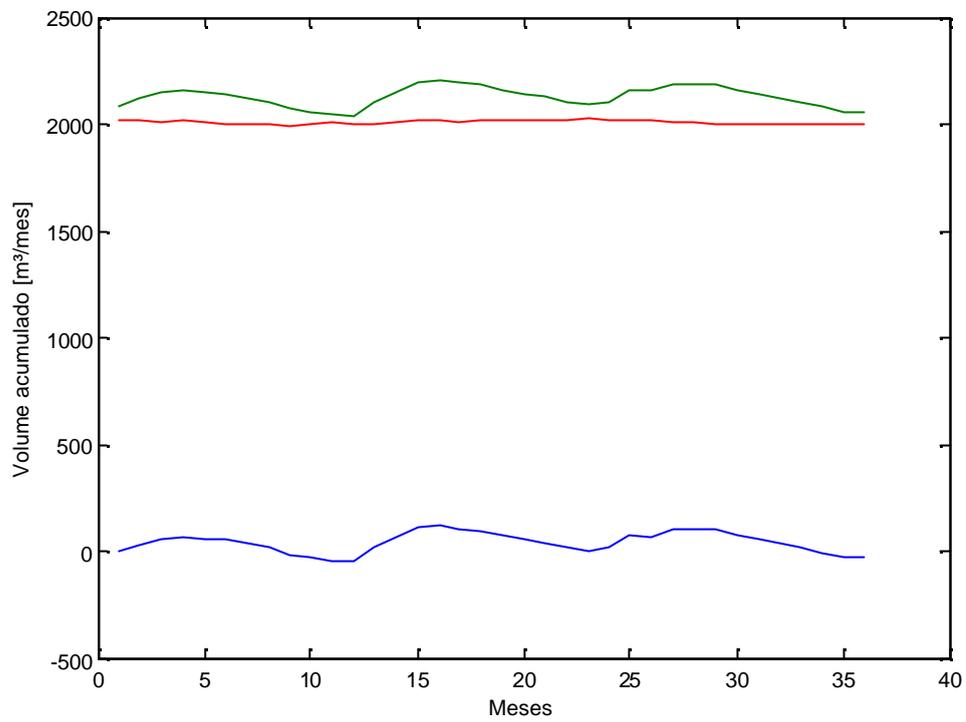


Gráfico 3 – Diagrama de Conti-Varlet de volume acumulado para o período de operação (década de 1980) da UHE CACONDE

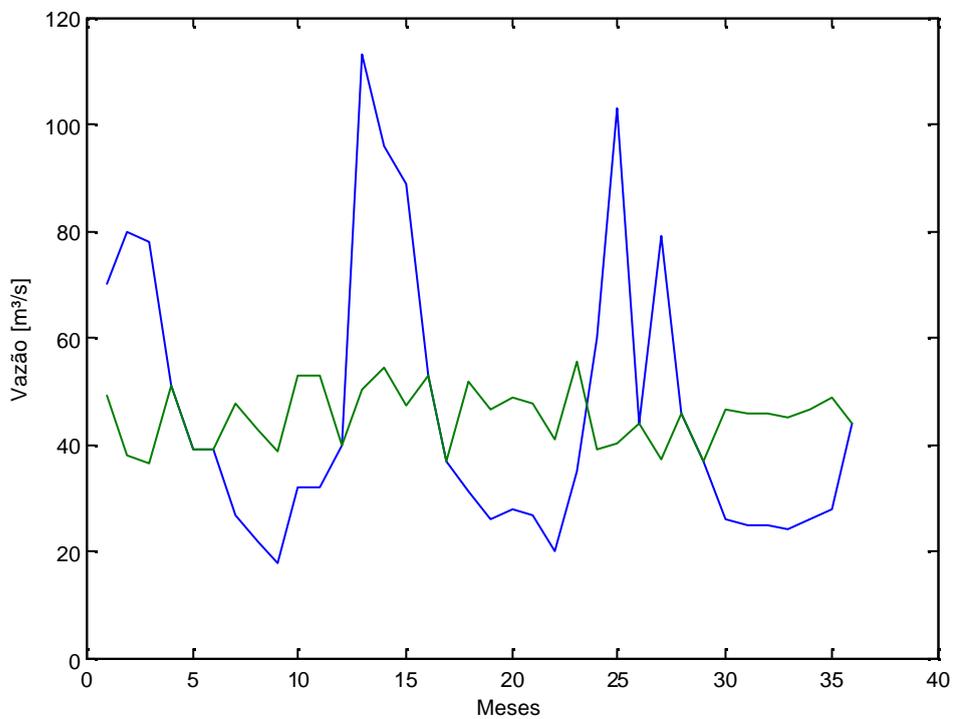


Gráfico 4 – Diagrama de Conti-Varlet de vazões regularizadas para o período de operação (década de 1980) da UHE CACONDE

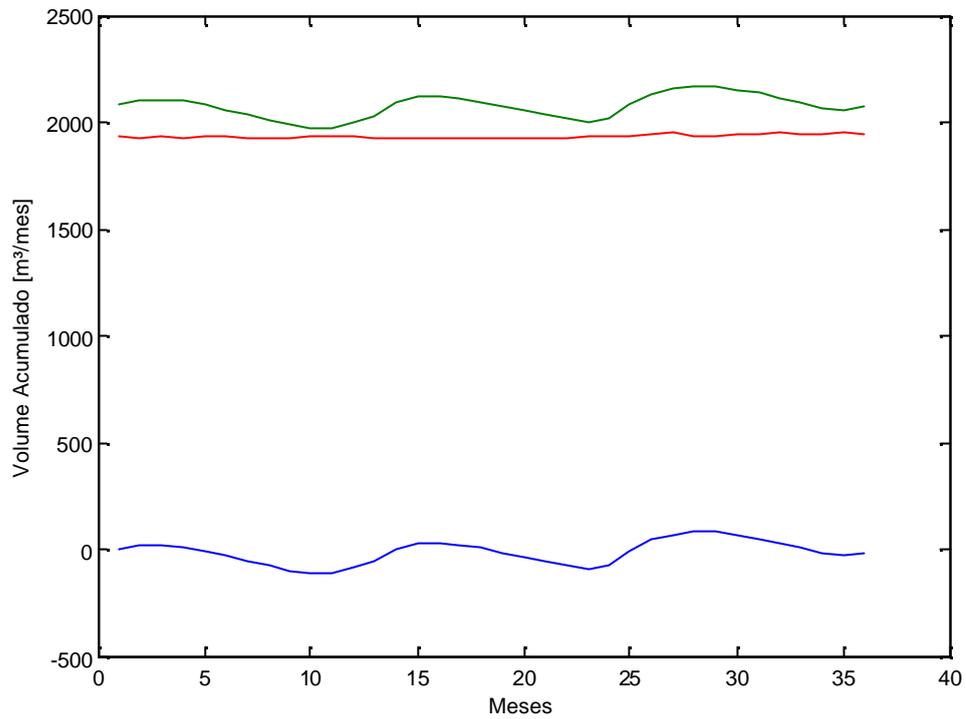


Gráfico 5 – Diagrama de Conti-Varlet de volume acumulado para o período de operação (década de 2000) da UHE CACONDE

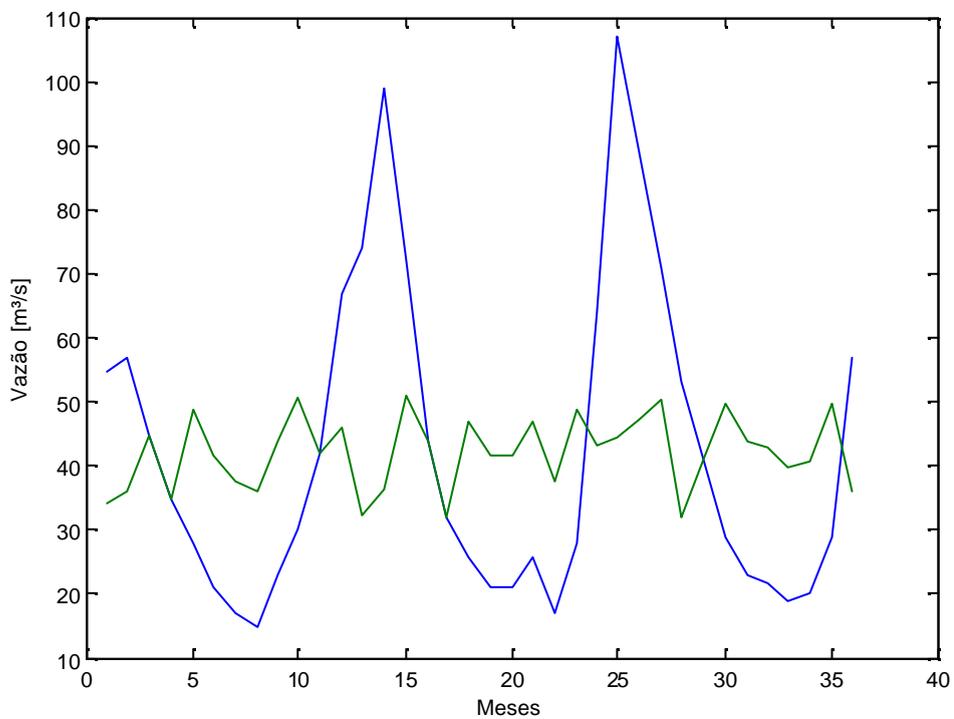


Gráfico 6 – Diagrama de Conti-Varlet de vazões regularizadas para o período de operação (década de 2000) da UHE CACONDE

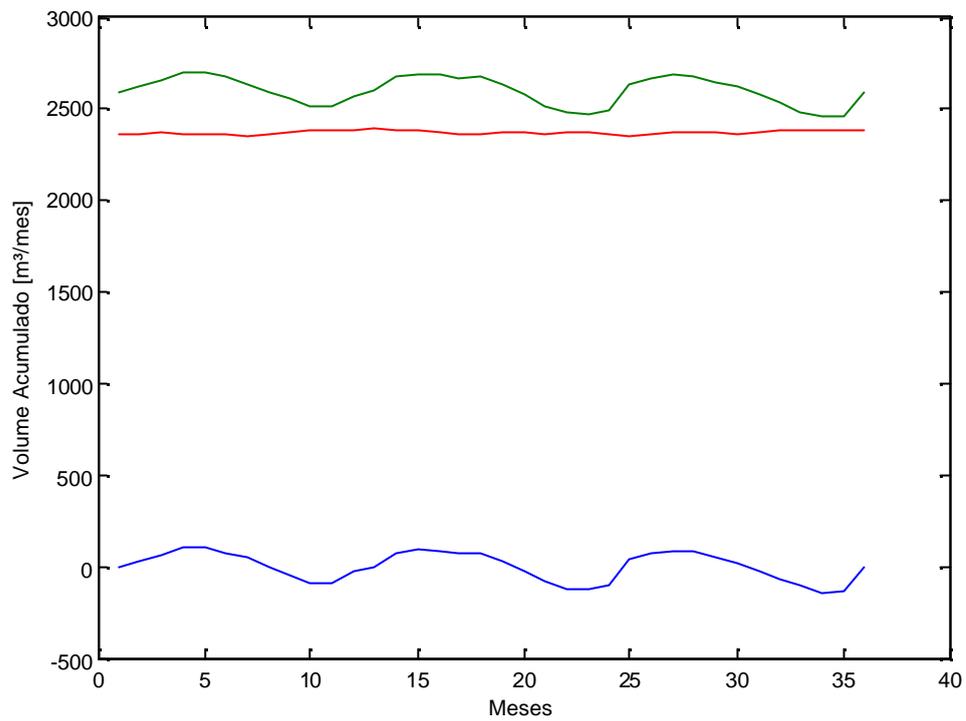


Gráfico 7 – Diagrama de Conti-Varlet de volume acumulado para o período de projeto da UHE CAMARGOS

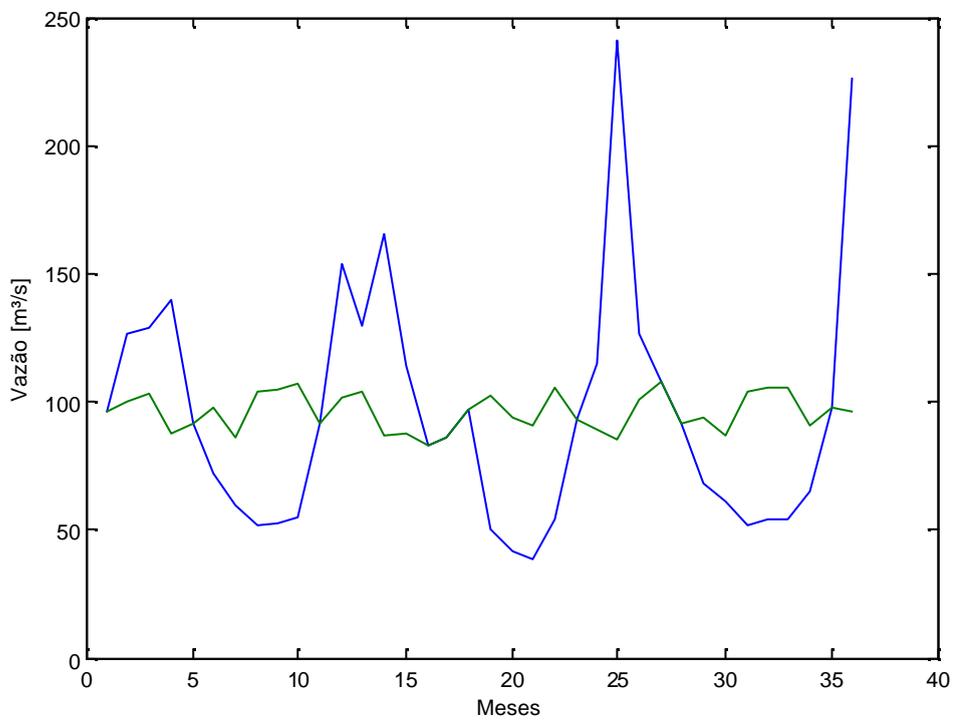


Gráfico 8 – Diagrama de Conti-Varlet de vazão regularizada para o período de projeto da UHE CAMARGOS

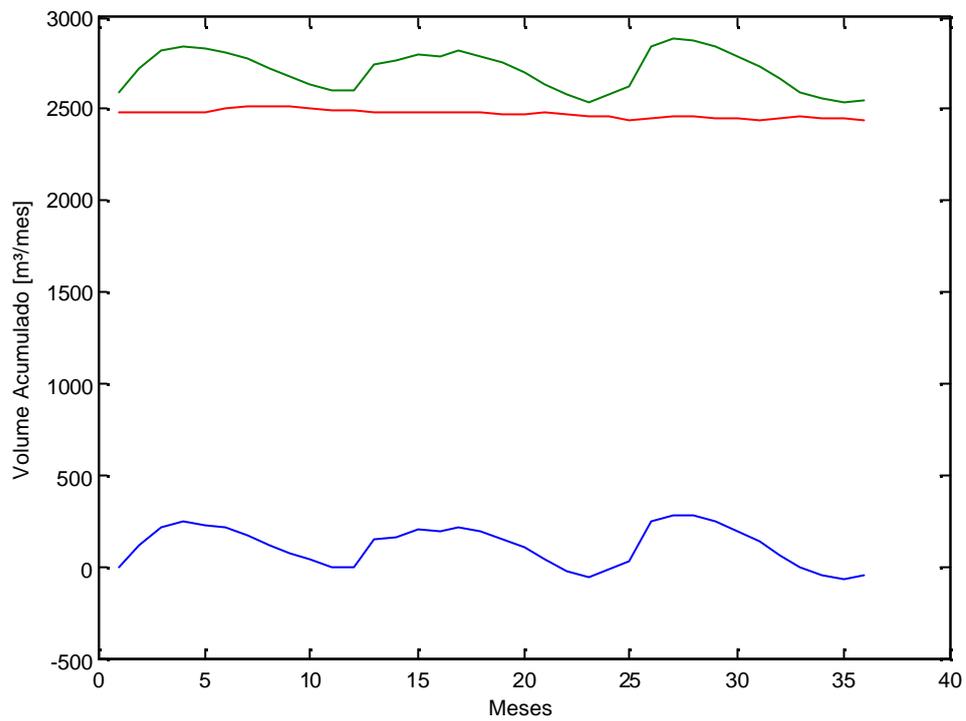


Gráfico 9 – Diagrama de Conti-Varlet de volume acumulado para o período de operação (década de 1980) da UHE CAMARGOS

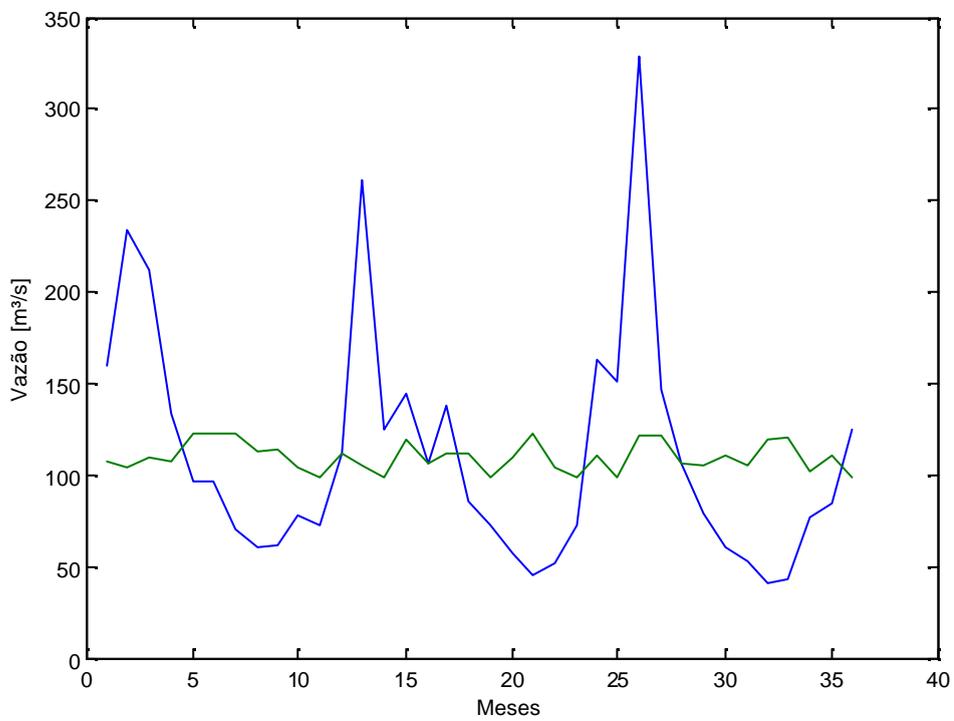


Gráfico 10 – Diagrama de Conti-Varlet de vazão regularizada para o período de operação (década de 1980) da UHE CAMARGOS

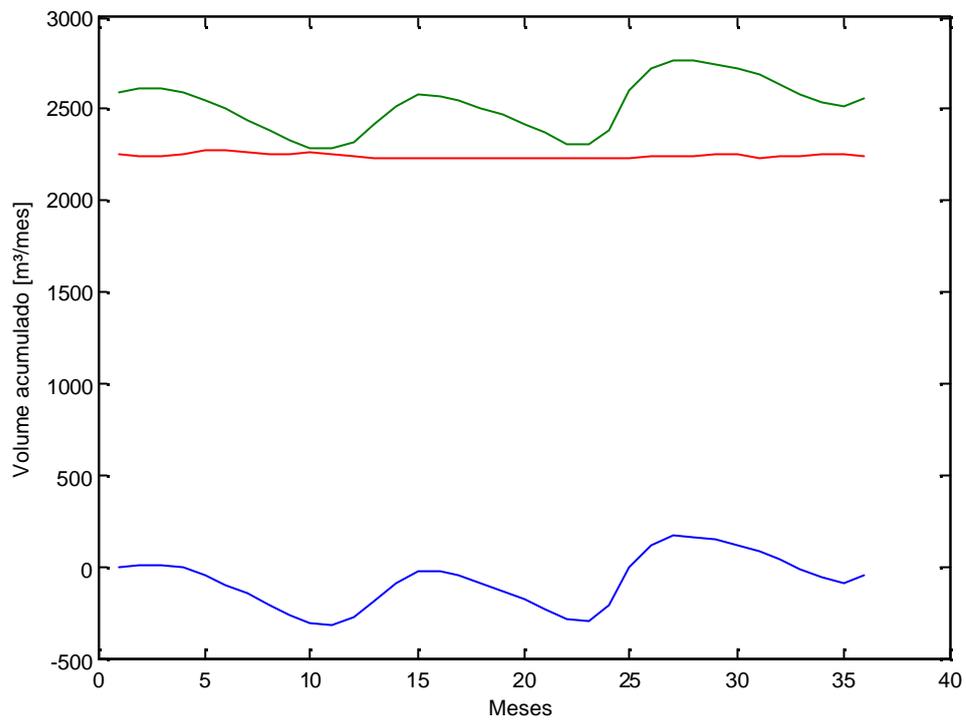


Gráfico 11 – Diagrama de Conti-Varlet de volume acumulado para o período de operação (década de 2000) da UHE CAMARGOS

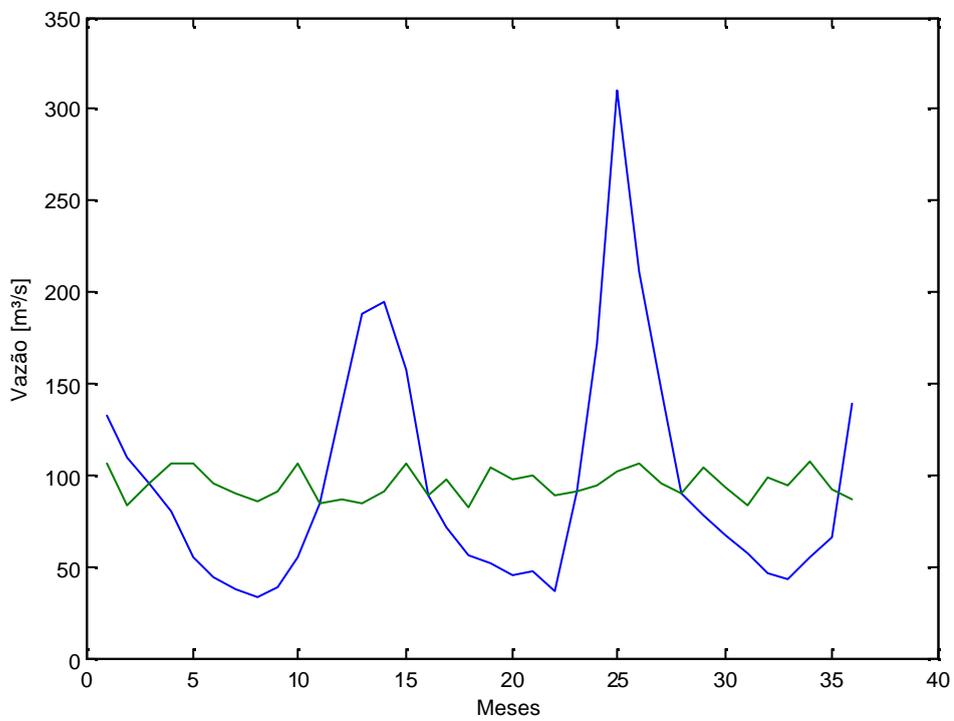


Gráfico 12 – Diagrama de Conti-Varlet de vazão regularizada para o período de operação (década de 2000) da UHE CAMARGOS

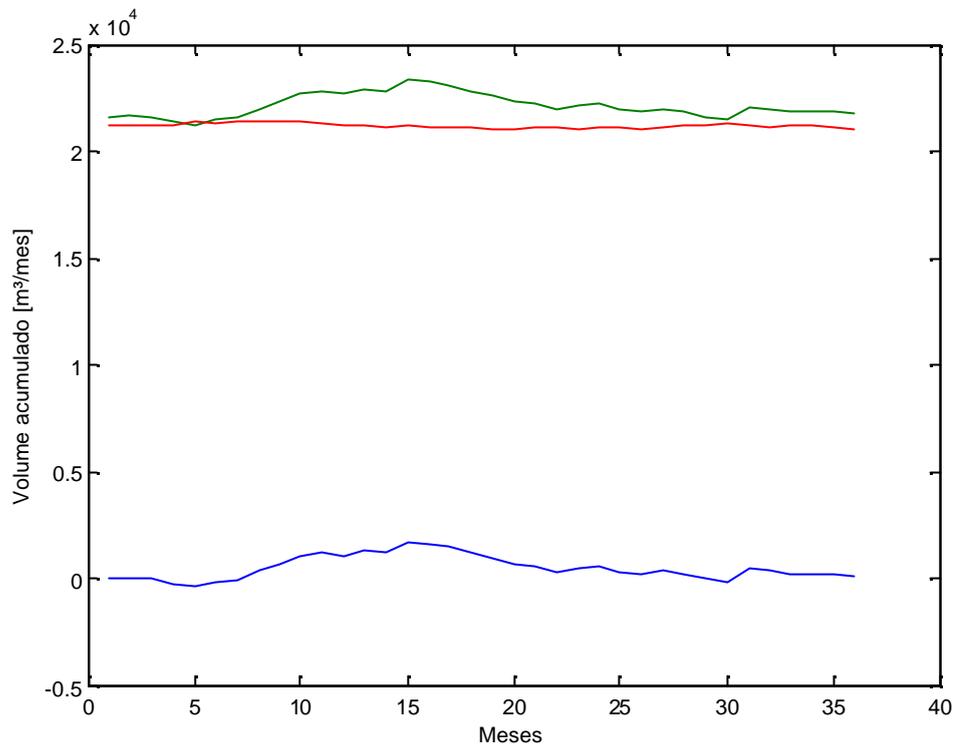


Gráfico 13 – Diagrama de Conti-Varlet de volume acumulado para o período de projeto da UHE FOZ do AREIA

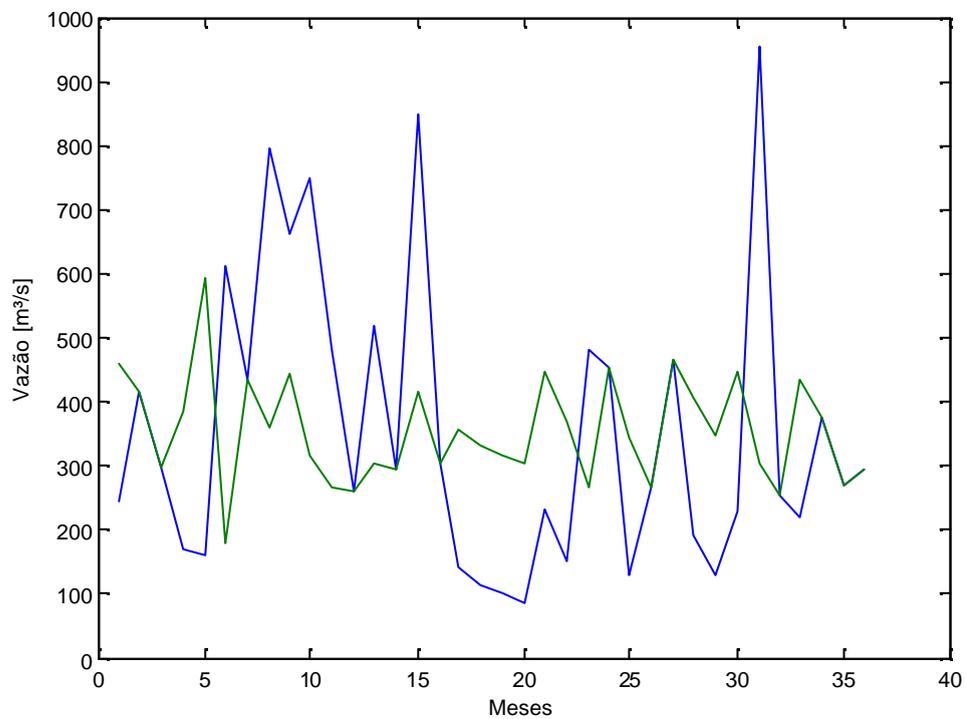


Gráfico 14 – Diagrama de Conti-Varlet de vazão regularizada para o período de projeto da UHE FOZ do AREIA

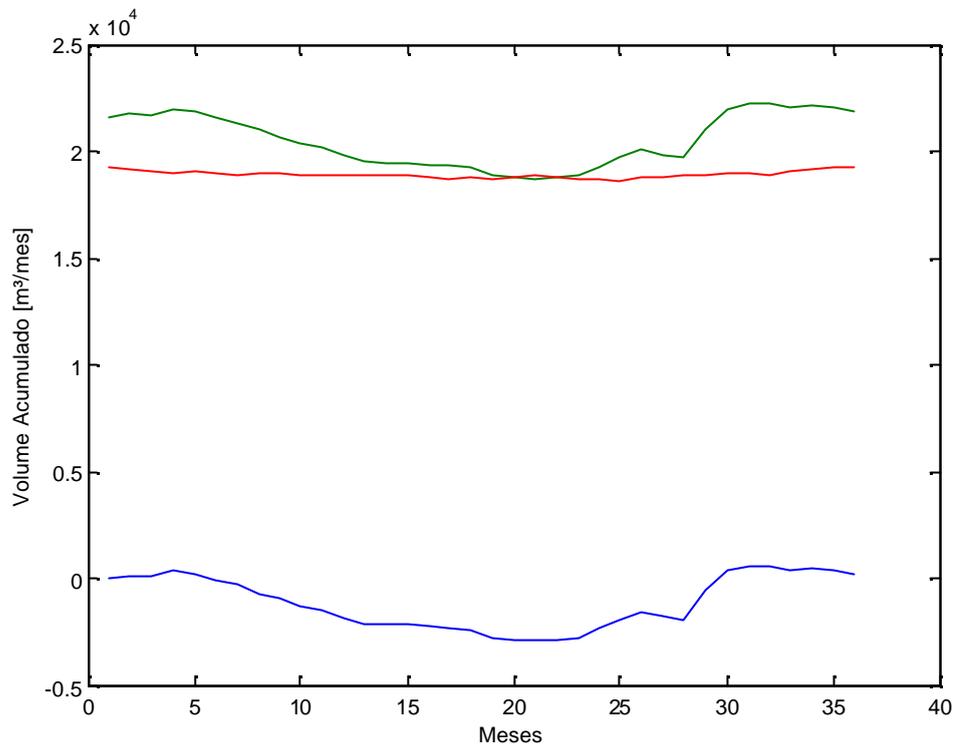


Gráfico 15 – Diagrama de Conti-Varlet de volume acumulado para o período de operação (década de 1980) da UHE FOZ do AREIA

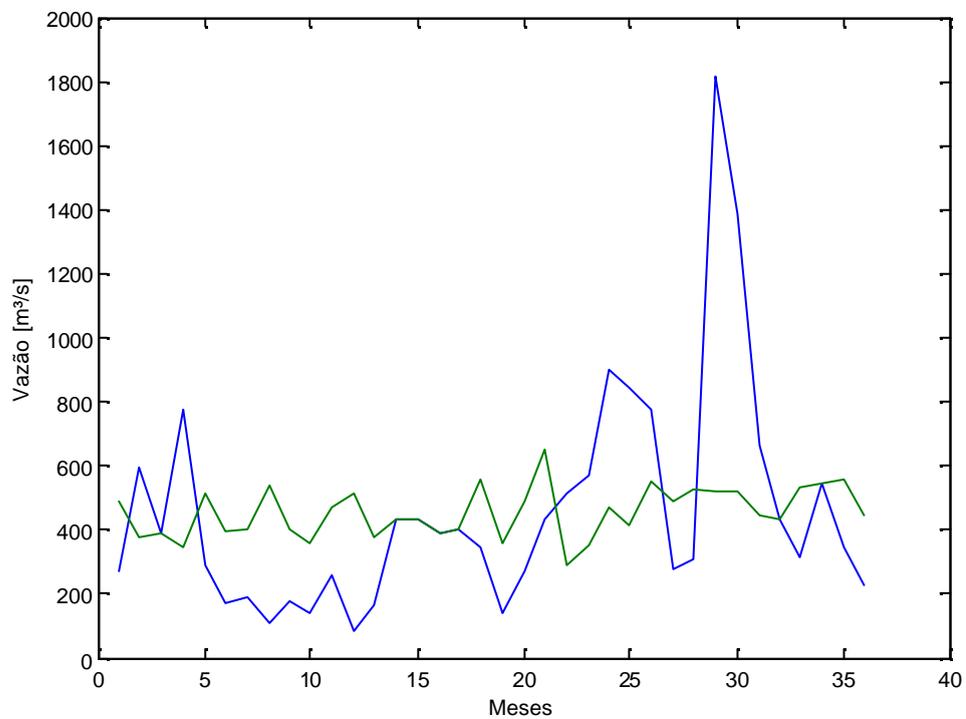


Gráfico 16 – Diagrama de Conti-Varlet de vazão regularizada para o período de operação (década de 1980) da UHE FOZ do AREIA

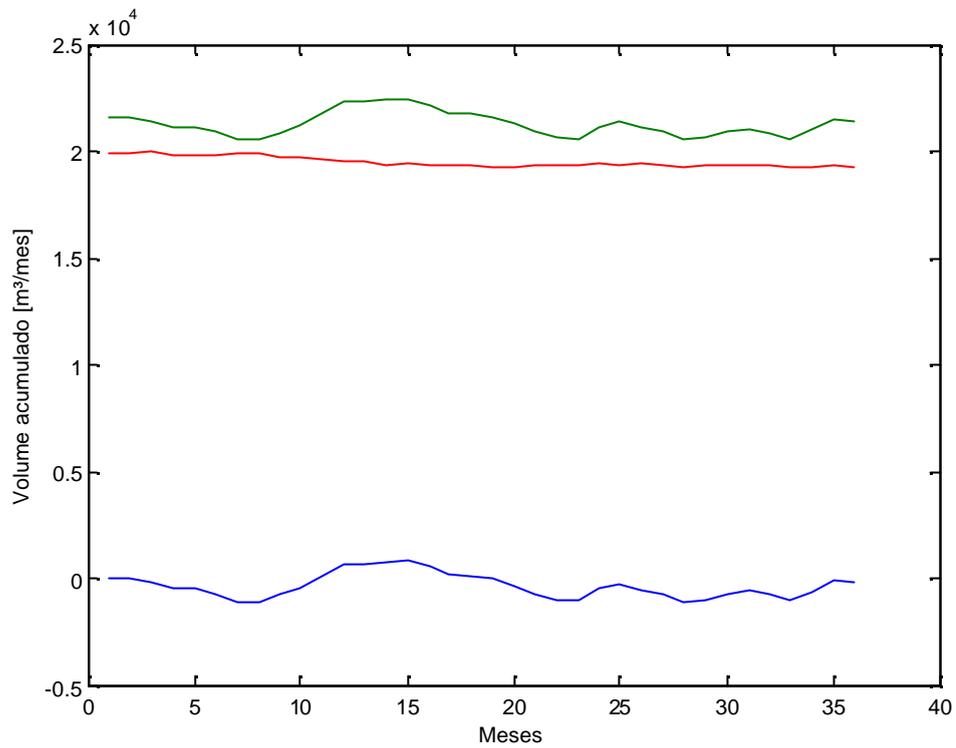


Gráfico 17 – Diagrama de Conti-Varlet de volume acumulado para o período de operação (década de 2000) da UHE FOZ do AREIA

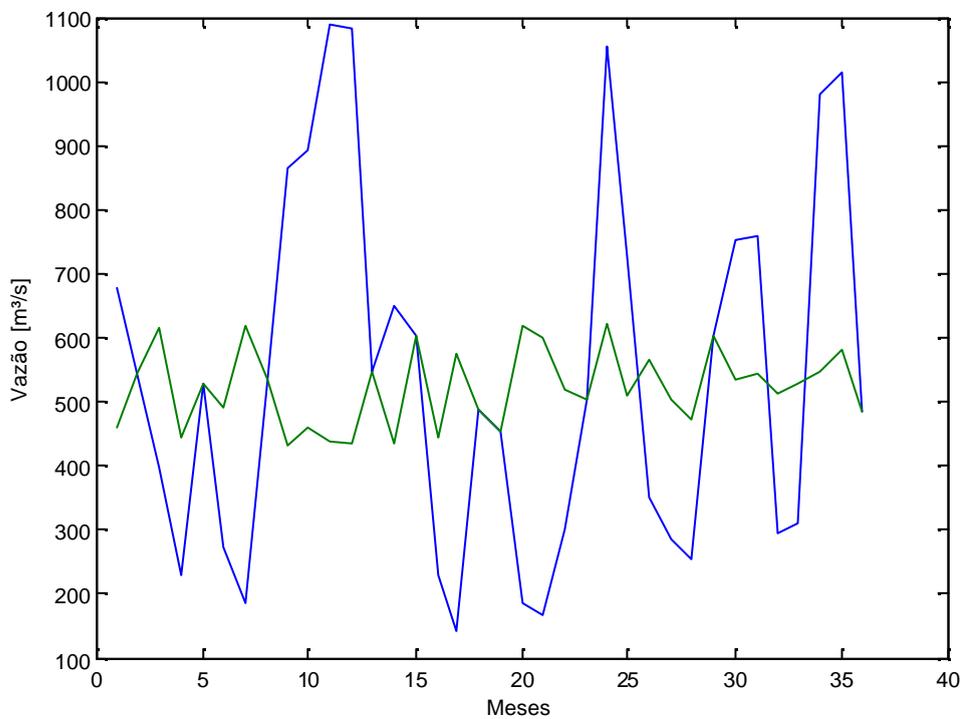


Gráfico 18 – Diagrama de Conti-Varlet de vazão regularizada para o período de operação (década de 2000) da UHE FOZ do AREIA

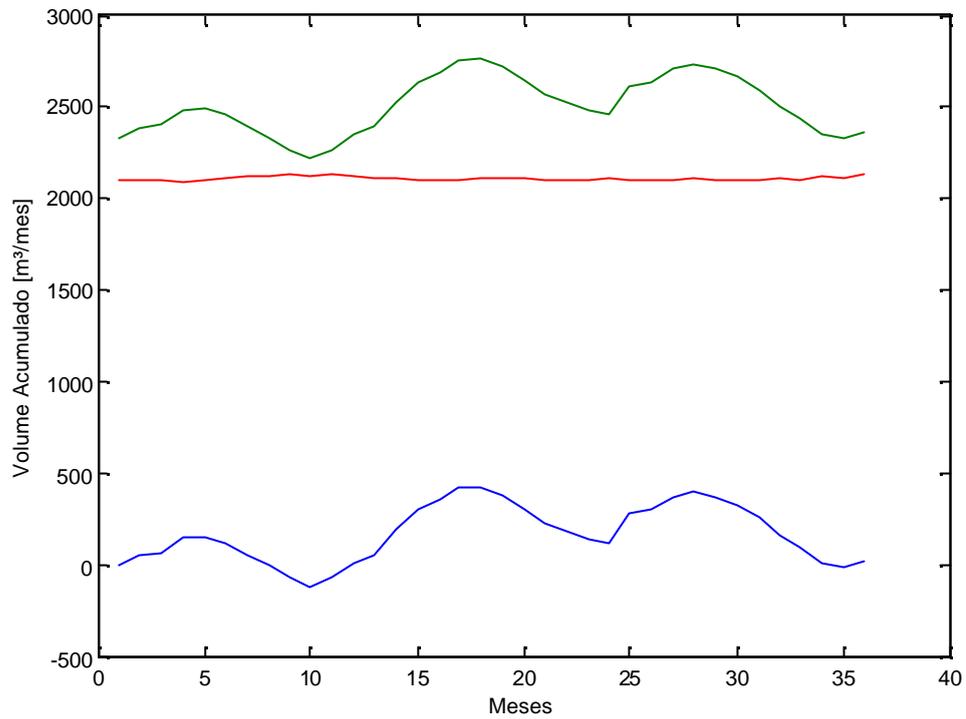


Gráfico 19 – Diagrama de Conti-Varlet de volume acumulado para o período de projeto da UHE FUNIL

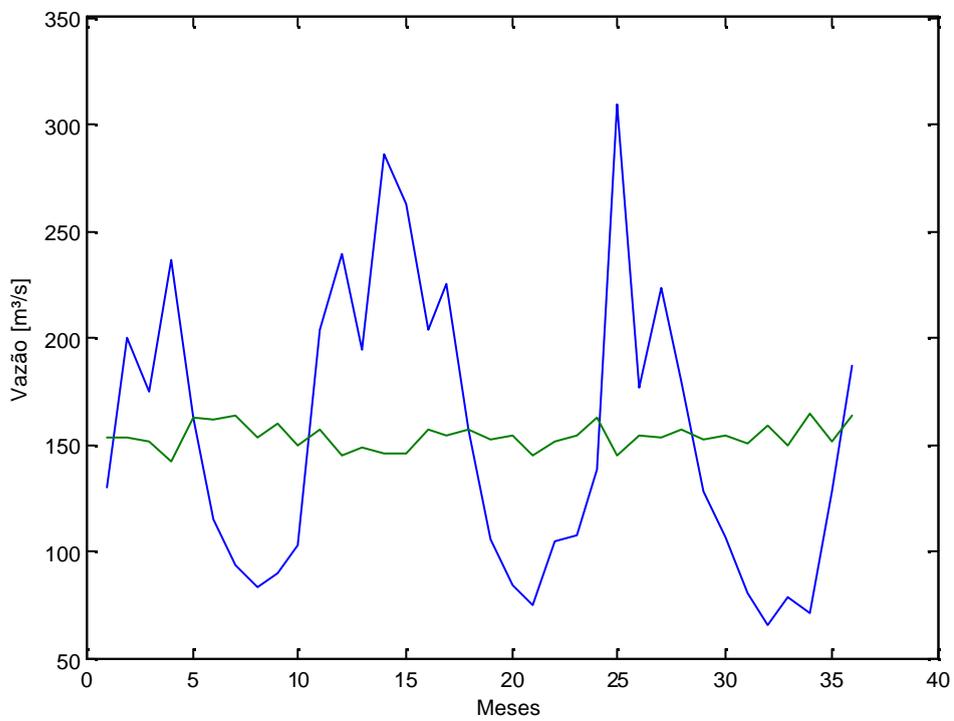


Gráfico 20 – Diagrama de Conti-Varlet de vazão regularizada para o período de projeto da UHE FUNIL

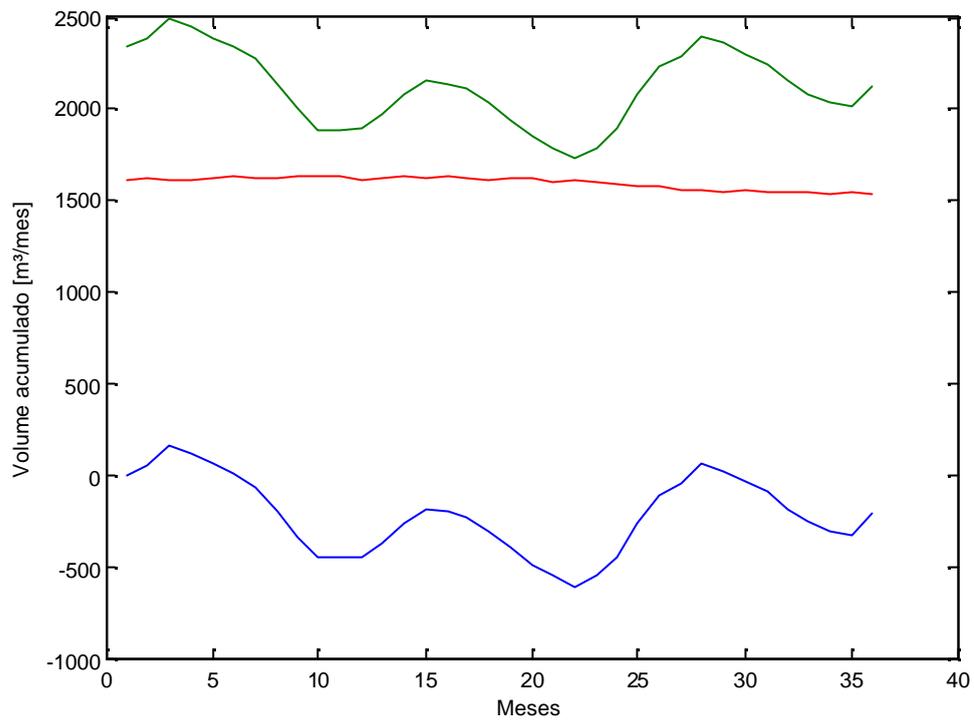


Gráfico 21 – Diagrama de Conti-Varlet de volume acumulado para o período de operação (década de 1980) da UHE FUNIL

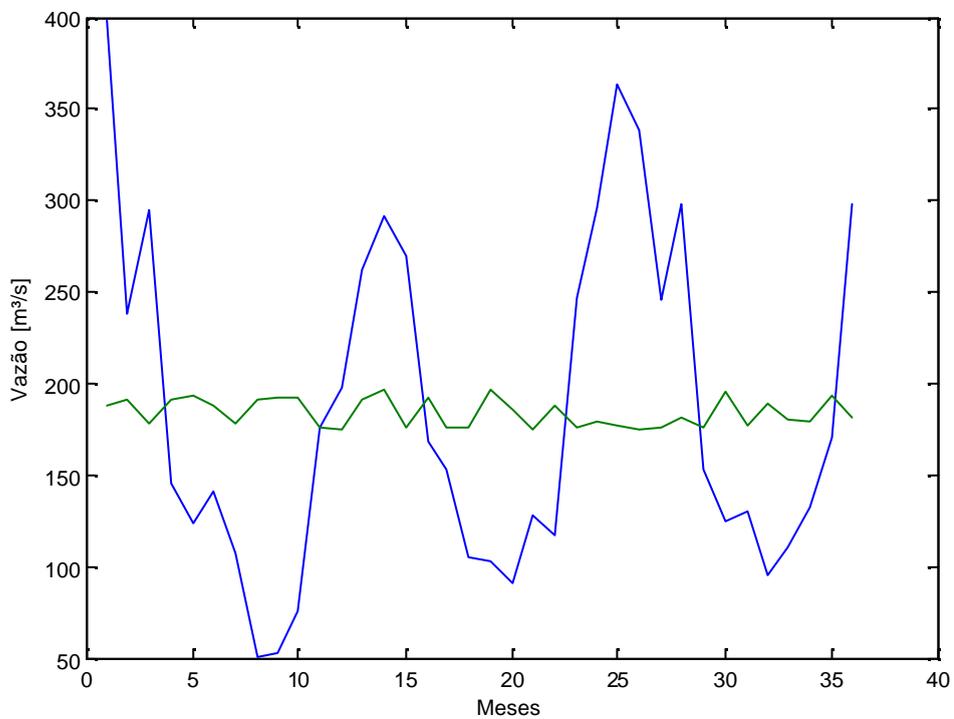


Gráfico 22 – Diagrama de Conti-Varlet de vazão regularizada para o período de operação (década de 1980) da UHE FUNIL

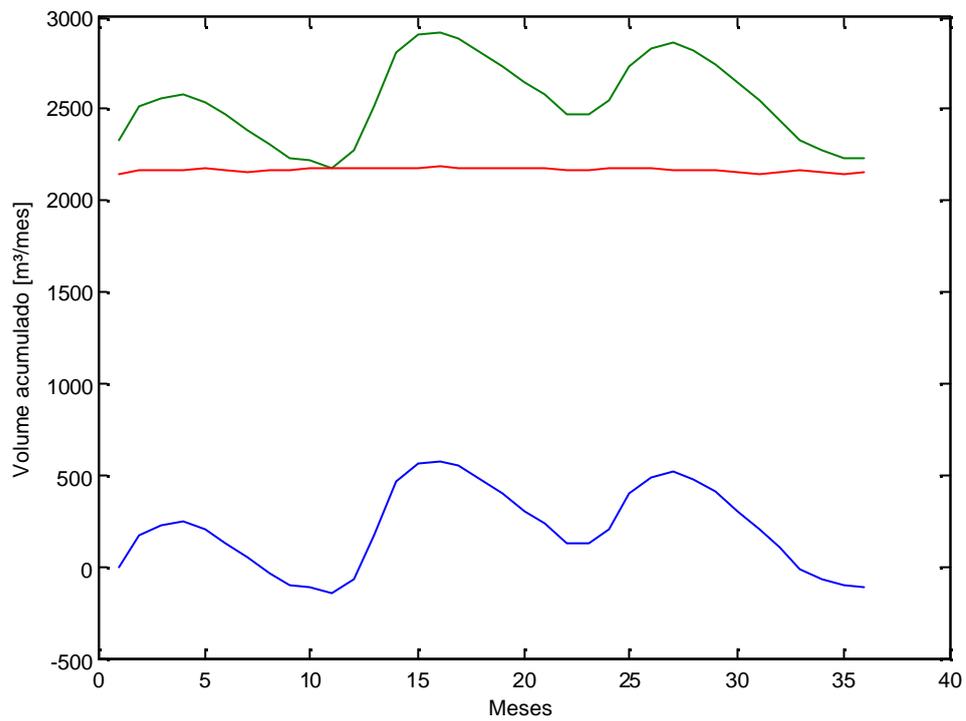


Gráfico 23 – Diagrama de Conti-Varlet de volume acumulado para o período de operação (década de 2000) da UHE FUNIL

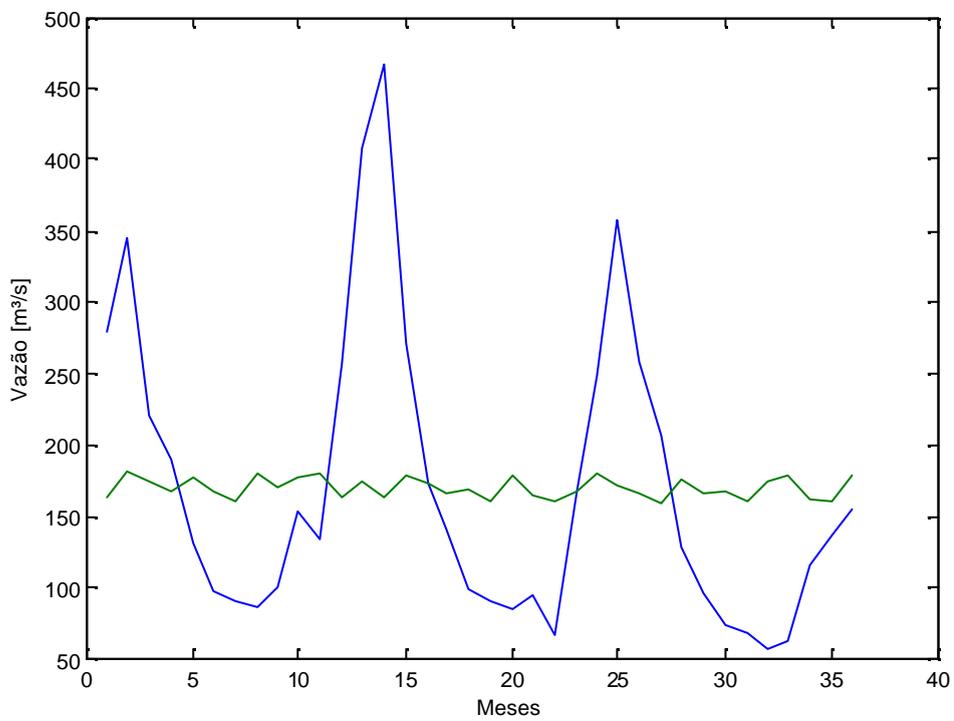


Gráfico 24 – Diagrama de Conti-Varlet de vazão regularizada para o período de operação (década de 2000) da UHE FUNIL

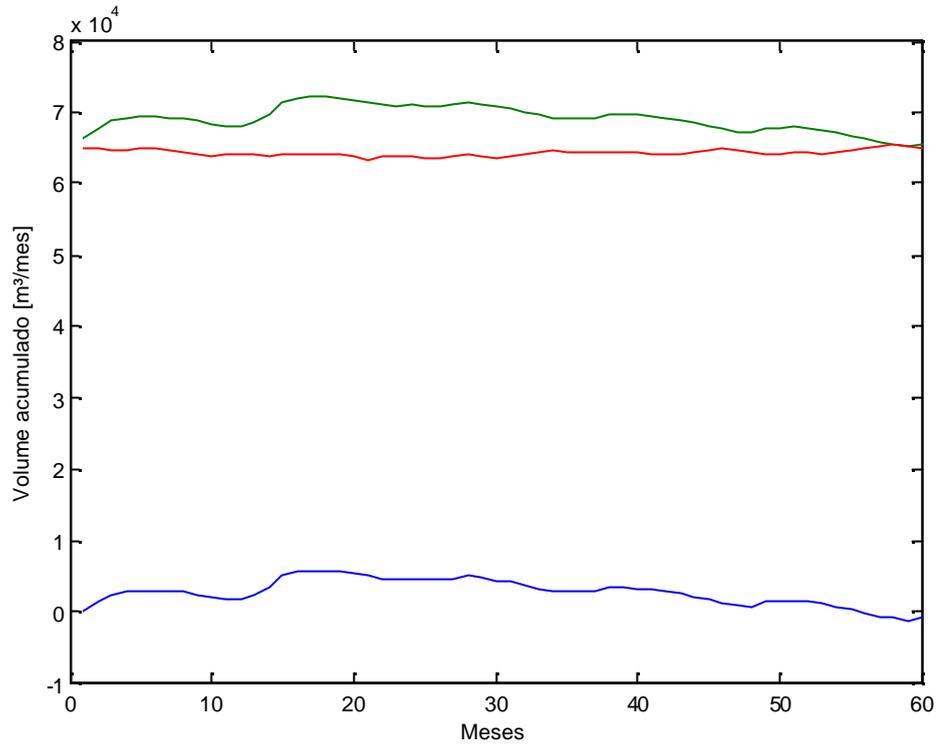


Gráfico 25 – Diagrama de Conti-Varlet de volume acumulado para o período de projeto da UHE FURNAS

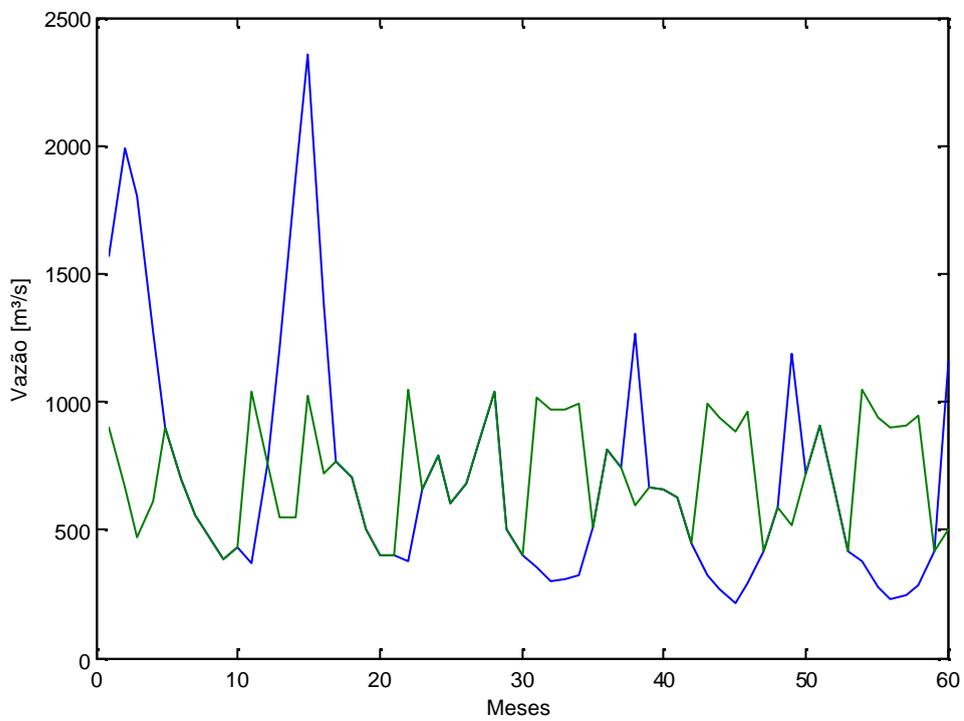


Gráfico 26 – Diagrama de Conti-Varlet de vazão regularizada para o período de projeto da UHE FURNAS

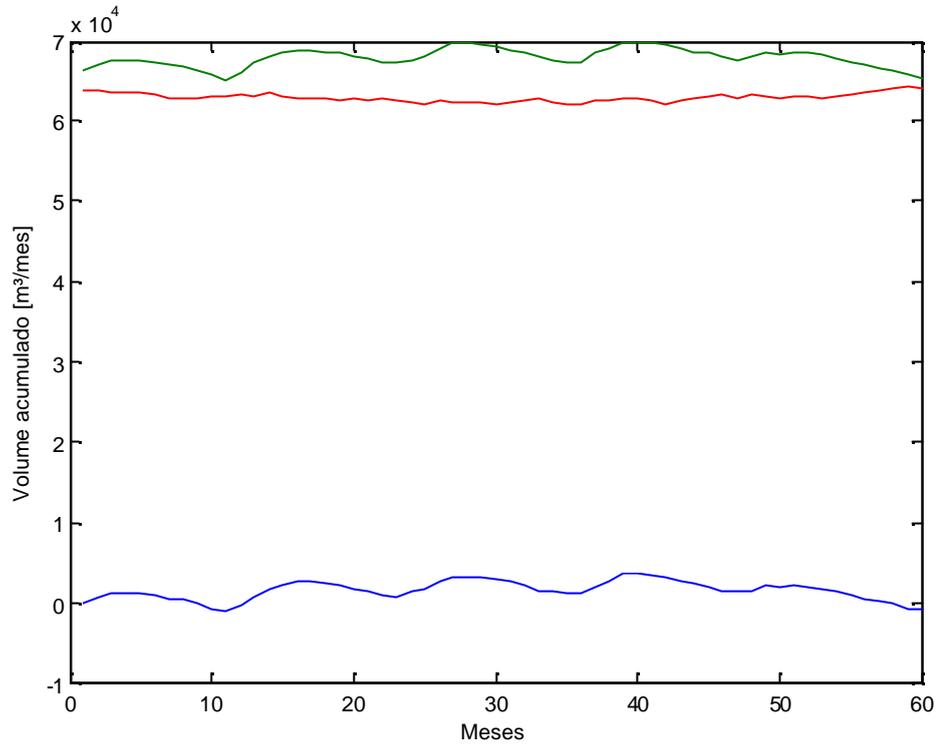


Gráfico 27 – Diagrama de Conti-Varlet de volume acumulado para o período de operação (década de 1980) da UHE FURNAS

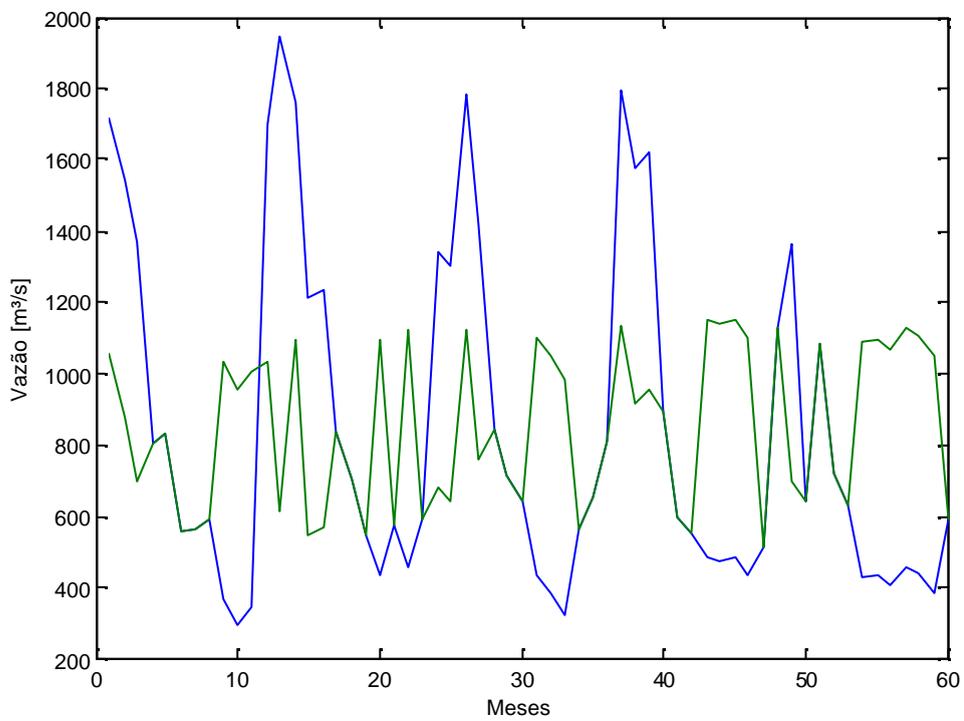


Gráfico 28 – Diagrama de Conti-Varlet de vazão regularizada para o período de operação (década de 1980) da UHE FURNAS

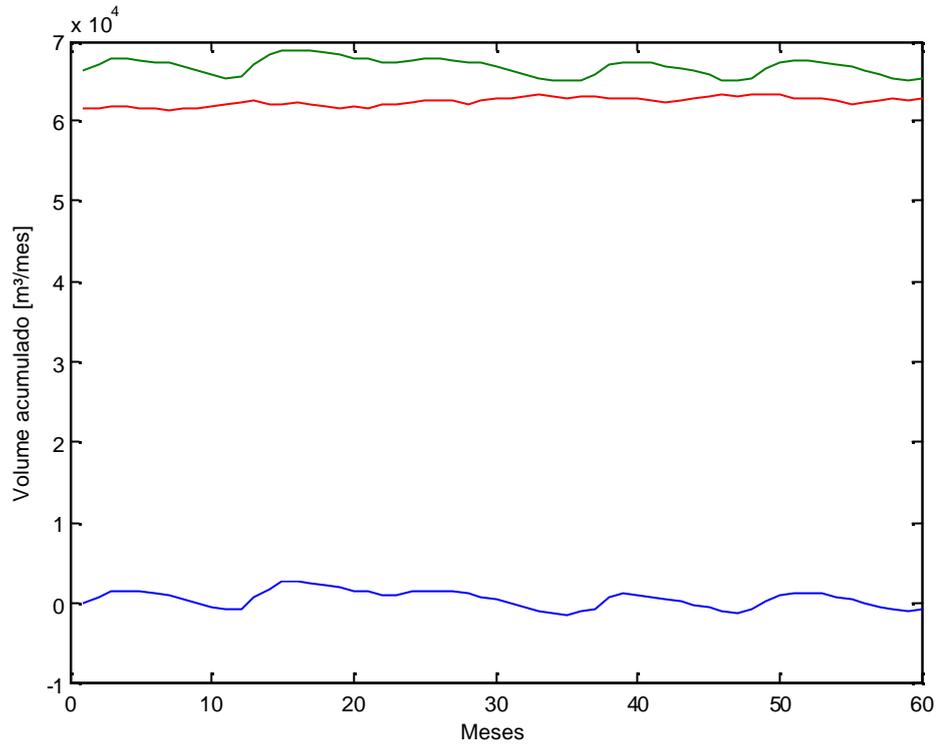


Gráfico 29 – Diagrama de Conti-Varlet de volume acumulado para o período de operação (década de 2000) da UHE FURNAS

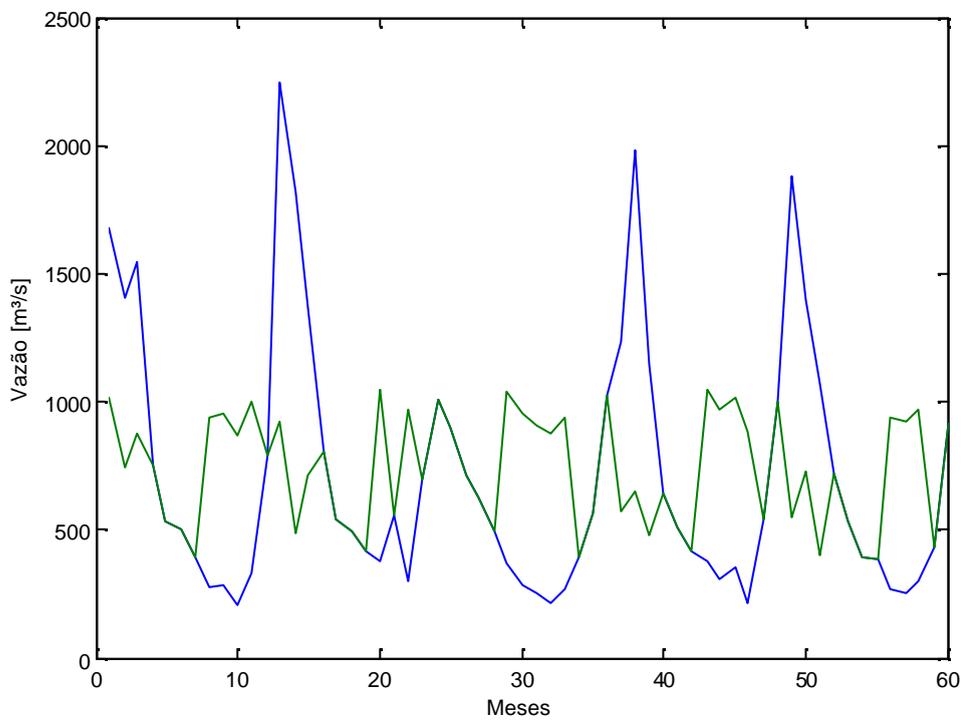


Gráfico 30 – Diagrama de Conti-Varlet de vazão regularizada para o período de operação (década de 2000) da UHE FURNAS

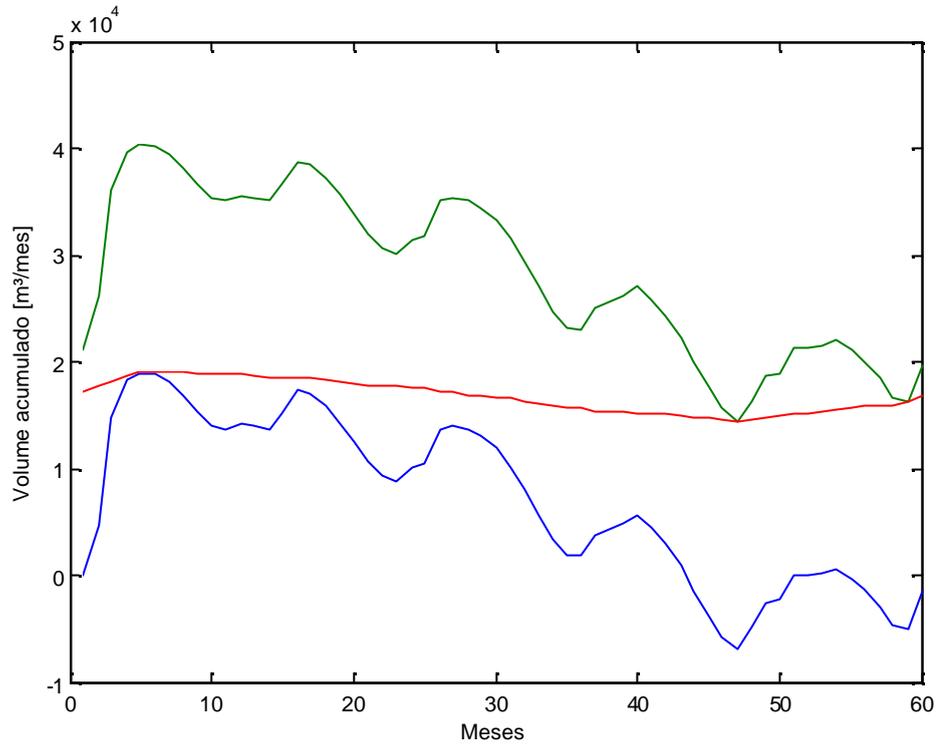


Gráfico 31 – Diagrama de Conti-Varlet de volume acumulado para o período de projeto da UHE ILHA SOLTEIRA

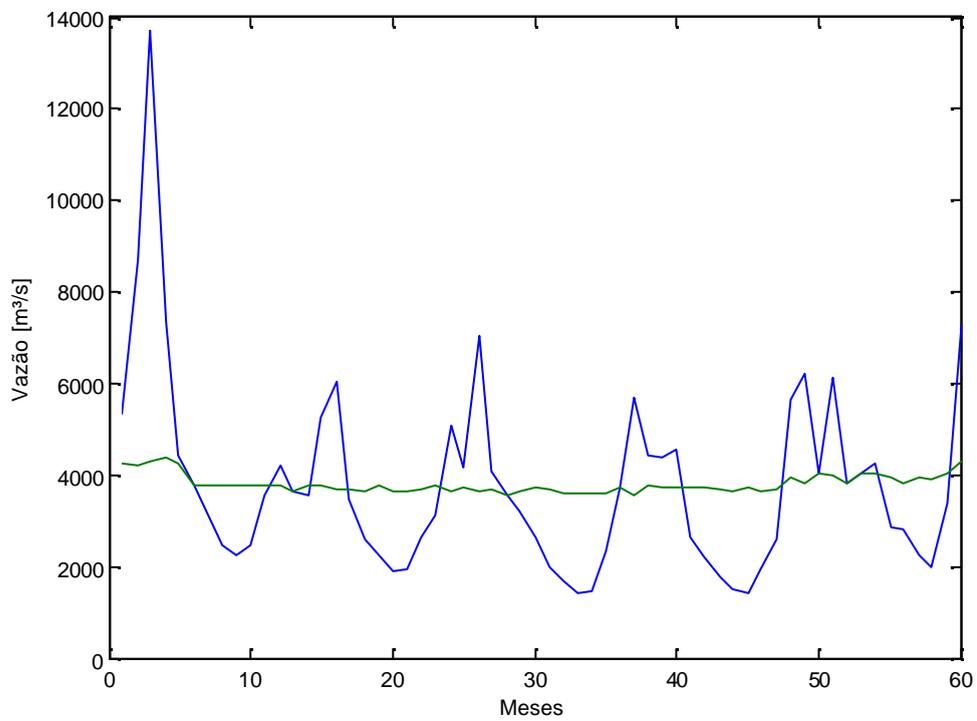


Gráfico 32 – Diagrama de Conti-Varlet de vazão regularizada para o período de projeto da UHE ILHA SOLTEIRA

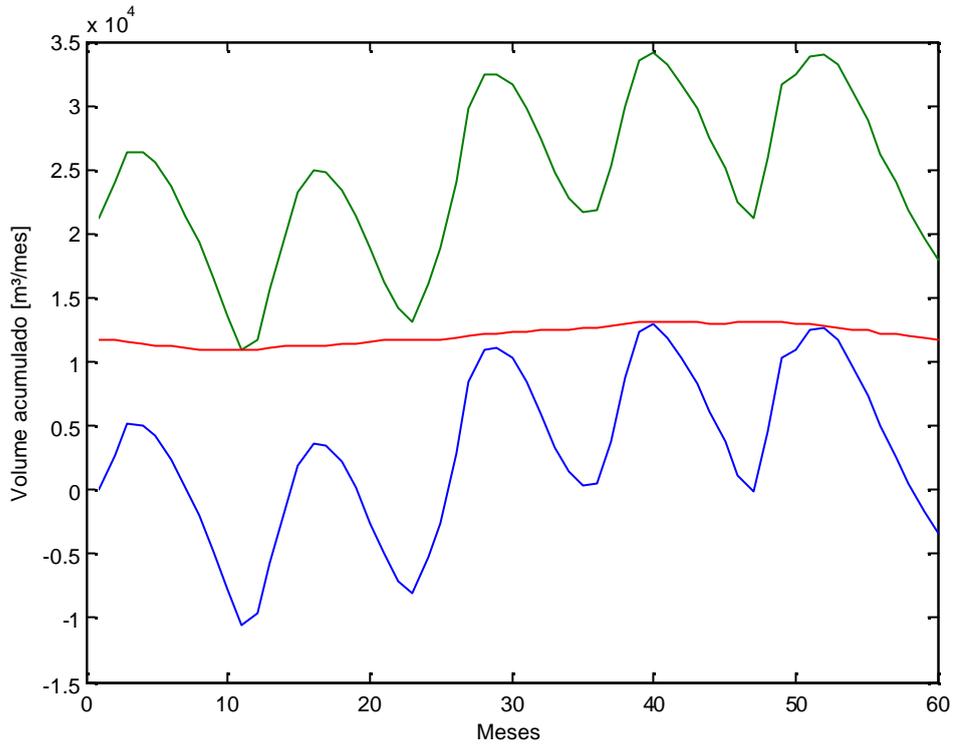


Gráfico 33 – Diagrama de Conti-Varlet de volume acumulado para o período de operação (década de 1980) da UHE ILHA SOLTEIRA

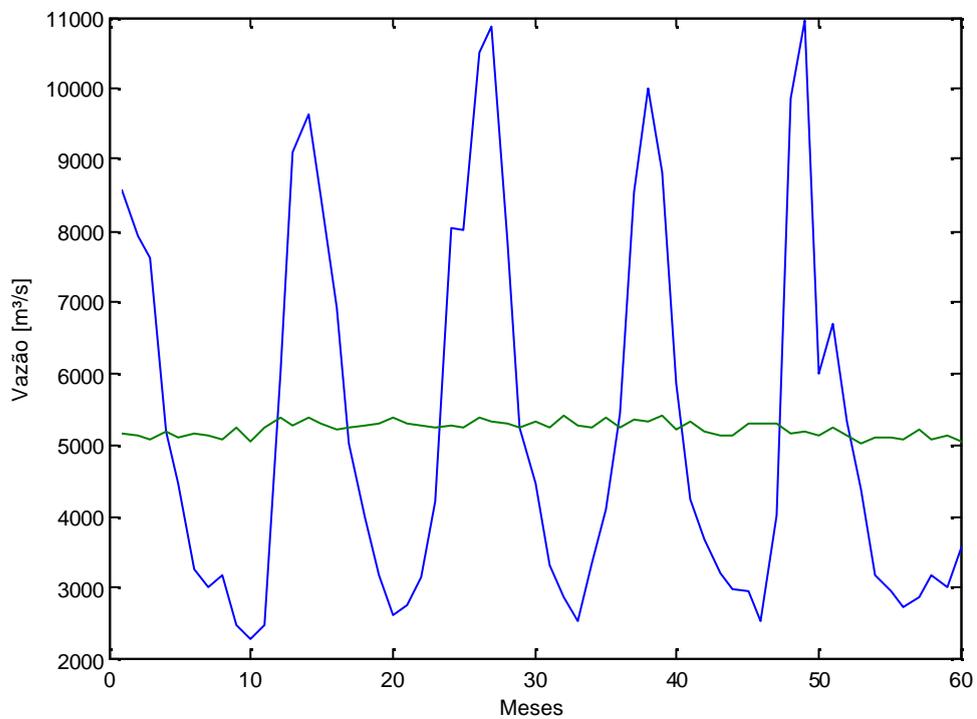


Gráfico 34 – Diagrama de Conti-Varlet de vazão regularizada para o período de operação (década de 1980) da UHE ILHA SOLTEIRA

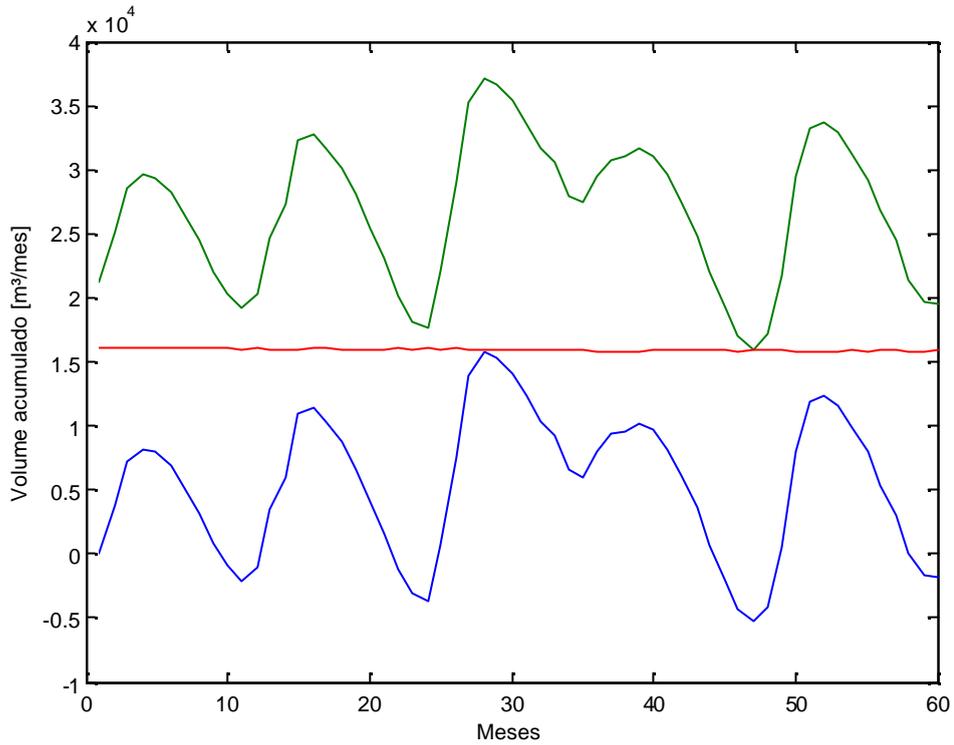


Gráfico 35 – Diagrama de Conti-Varlet de volume acumulado para o período de operação (década de 2000) da UHE ILHA SOLTEIRA

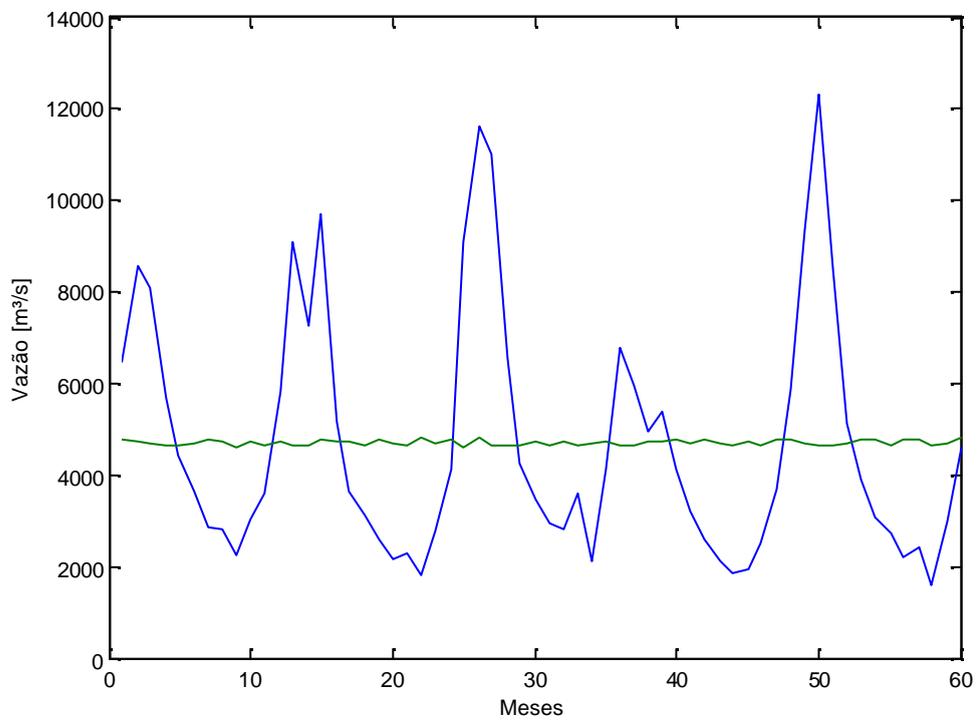


Gráfico 36 – Diagrama de Conti-Varlet de vazão regularizada para o período de operação (década de 2000) da UHE ILHA SOLTEIRA

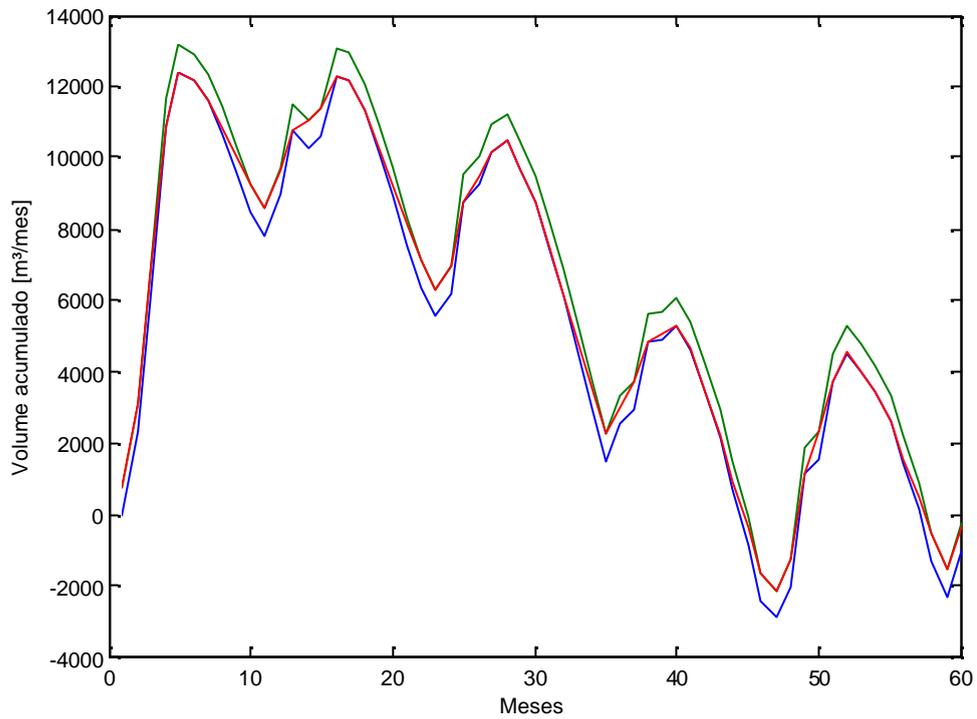


Gráfico 37 – Diagrama de Conti-Varlet de volume acumulado para o período de projeto da UHE MOXOTÓ/PAULO AFONSO IV

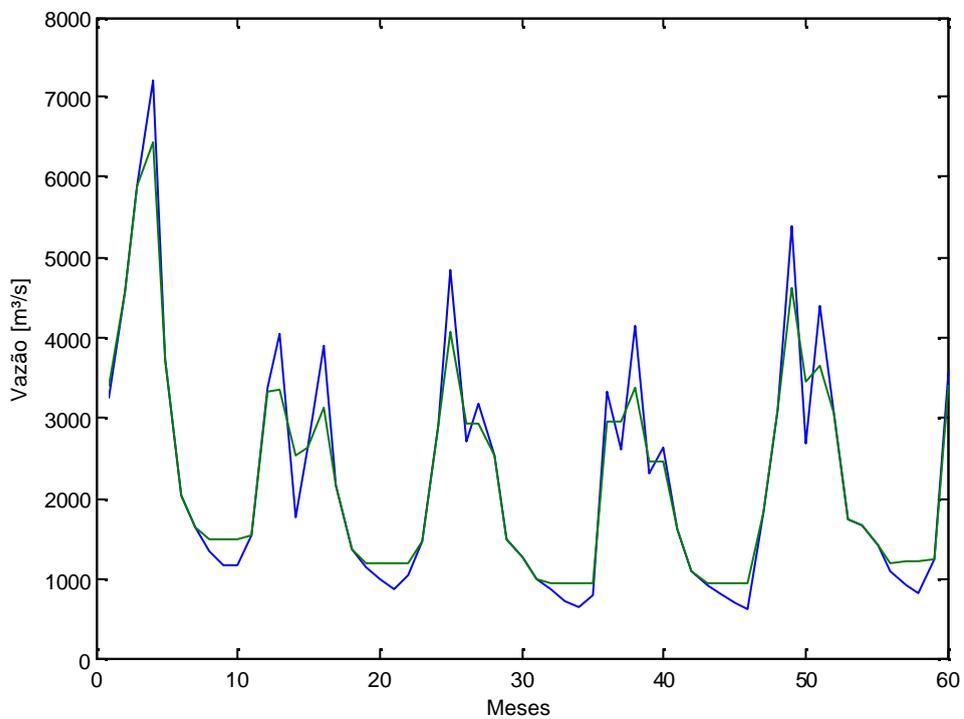


Gráfico 38 – Diagrama de Conti-Varlet de vazão regularizada para o período de projeto da UHE MOXOTÓ/PAULO AFONSO IV

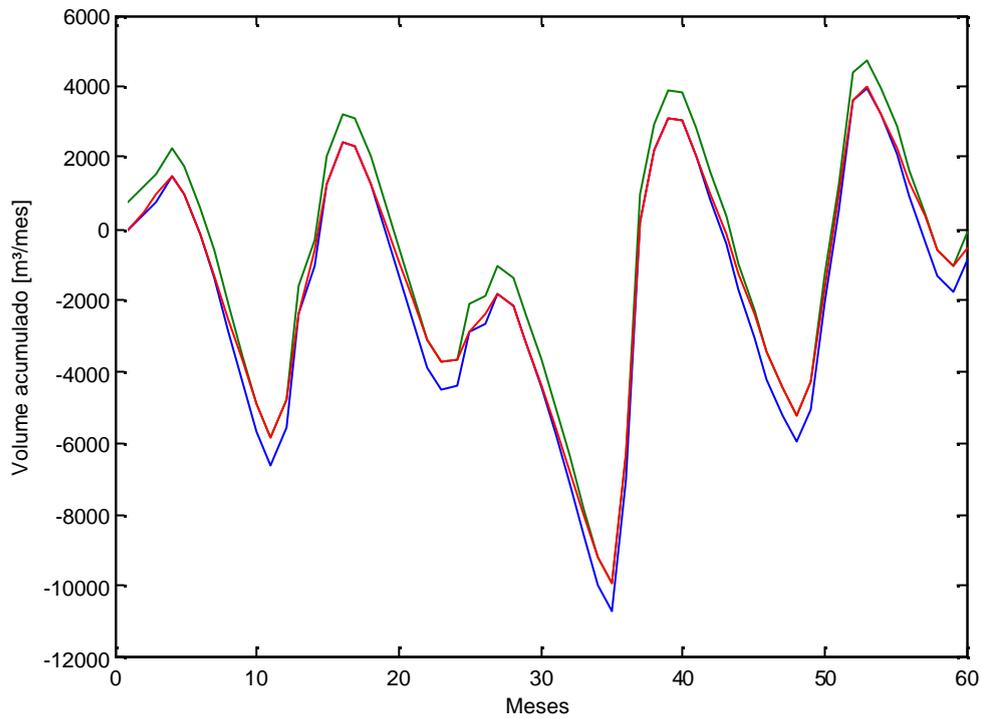


Gráfico 39 – Diagrama de Conti-Varlet de volume acumulado para o período de operação (década de 1980) da UHE MOXOTÓ/PAULO AFONSO IV

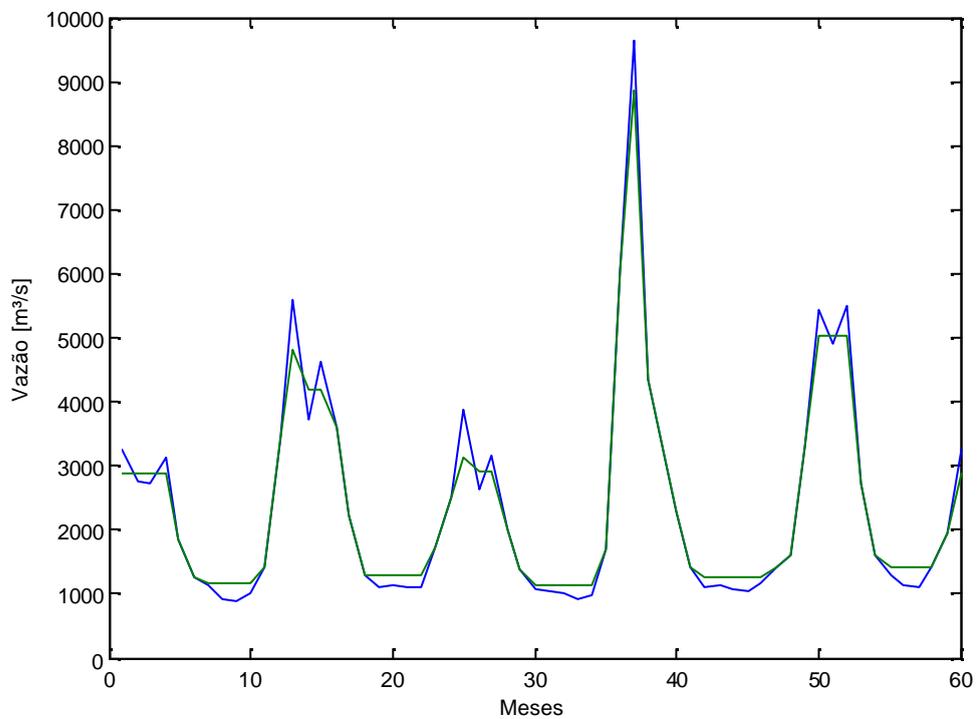


Gráfico 40 – Diagrama de Conti-Varlet de vazão regularizada para o período de operação (década de 1980) da UHE MOXOTÓ/PAULO AFONSO IV

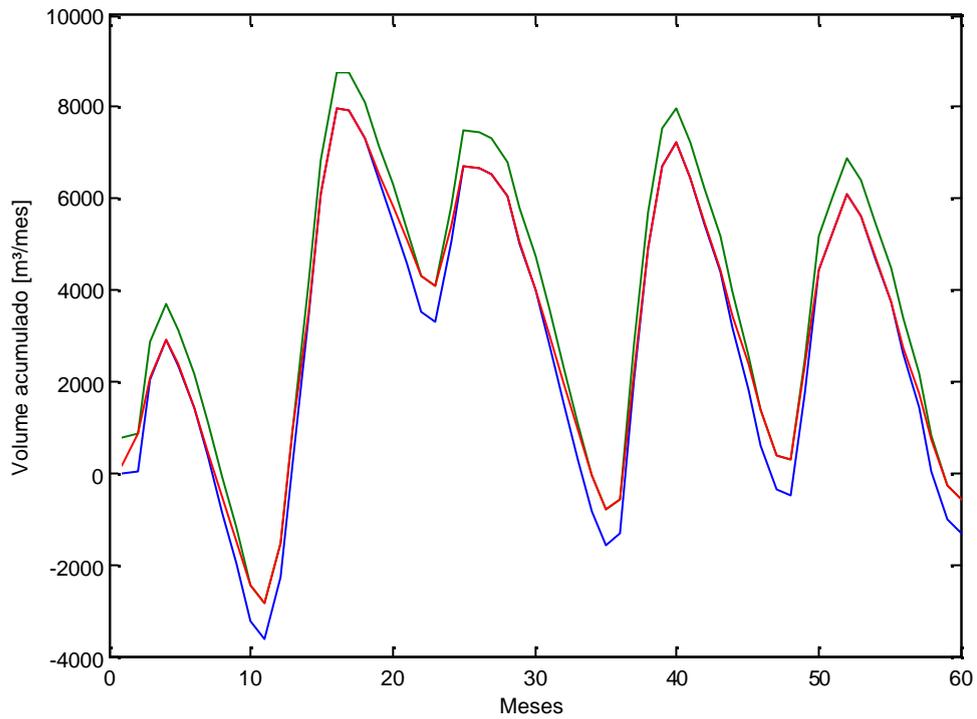


Gráfico 41 – Diagrama de Conti-Varlet de volume acumulado para o período de operação (década de 2000) da UHE MOXOTÓ/PAULO AFONSO IV

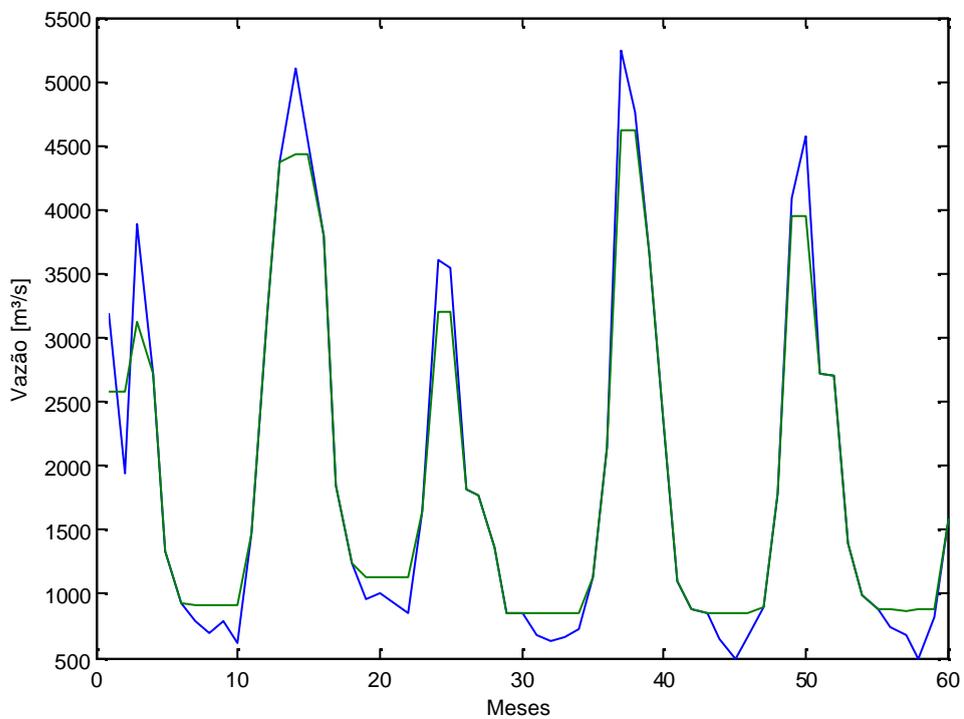


Gráfico 42 – Diagrama de Conti-Varlet de vazão regularizada para o período de operação (década de 2000) da UHE MOXOTÓ/PAULO AFONSO IV

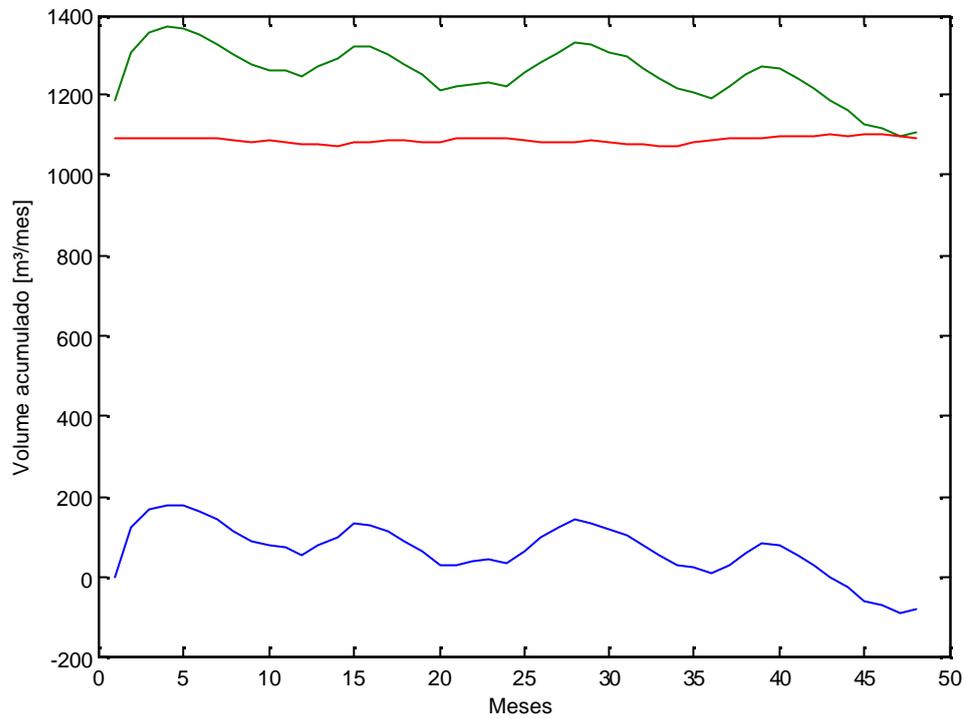


Gráfico 43 – Diagrama de Conti-Varlet de volume acumulado para o período de projeto da UHE SANTA BRANCA

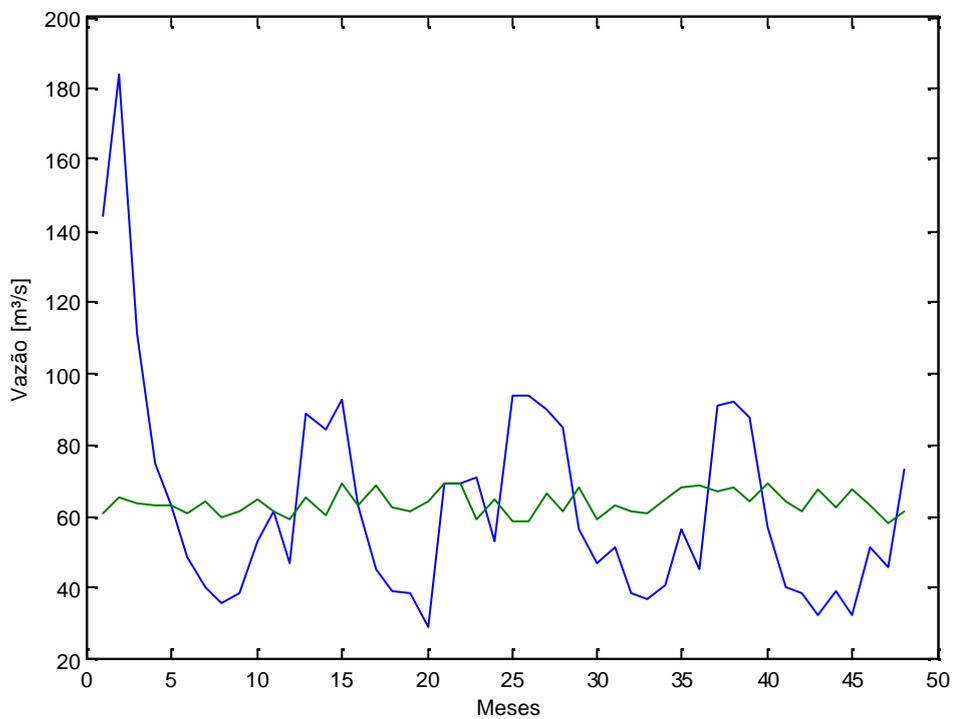


Gráfico 44 – Diagrama de Conti-Varlet de vazão regularizada para o período de projeto da UHE SANTA BRANCA

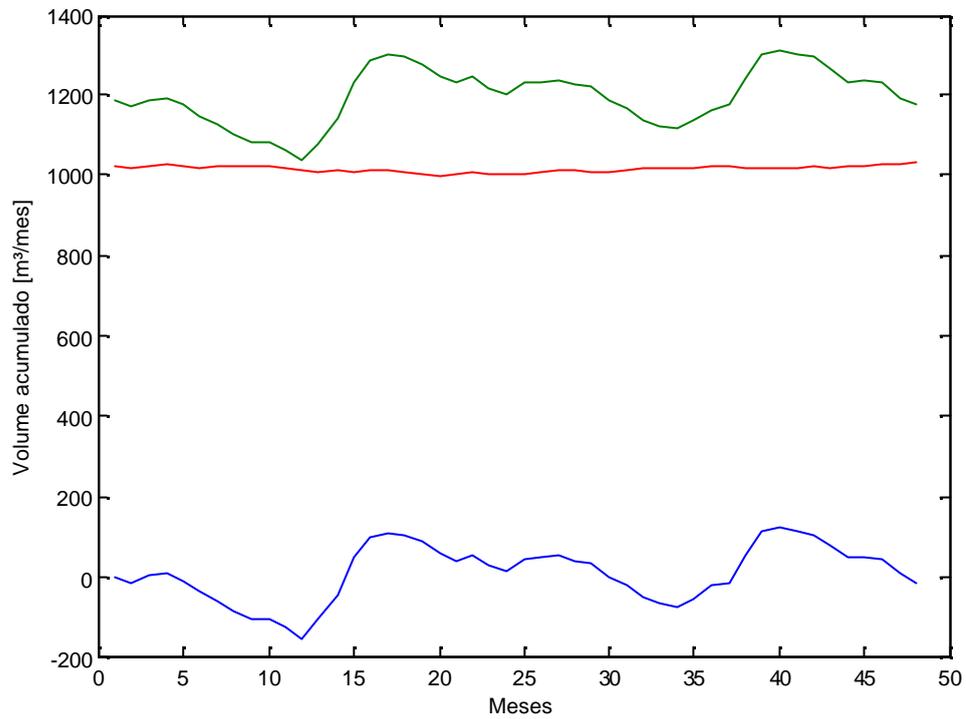


Gráfico 45 – Diagrama de Conti-Varlet de volume acumulado para o período de operação (década de 1980) da UHE SANTA BRANCA

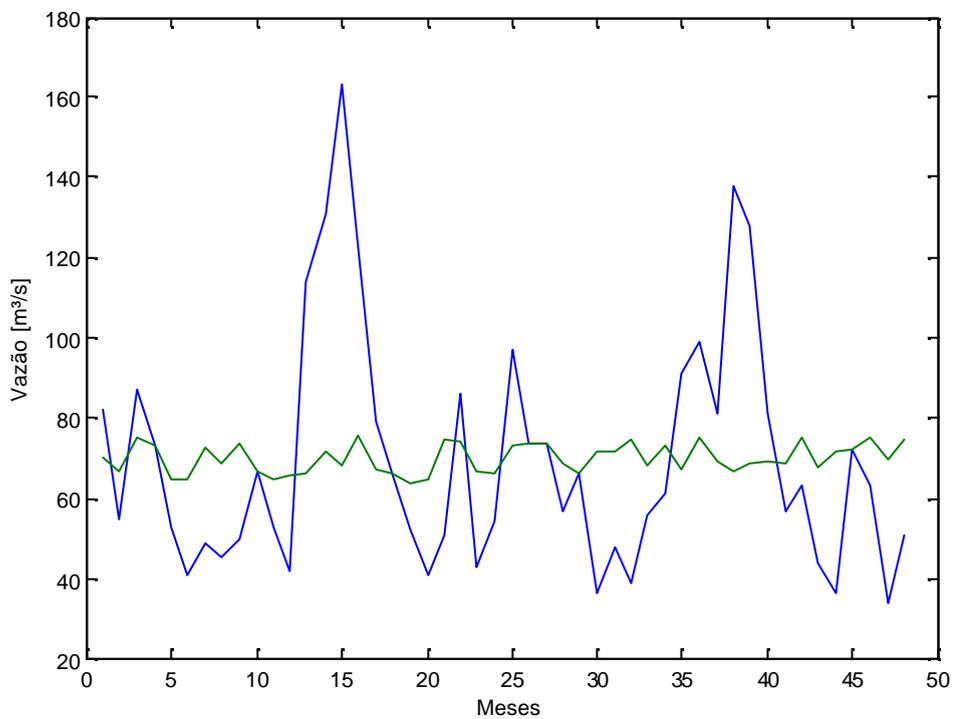


Gráfico 46 – Diagrama de Conti-Varlet de vazão regularizada para o período de operação (década de 1980) da UHE SANTA BRANCA

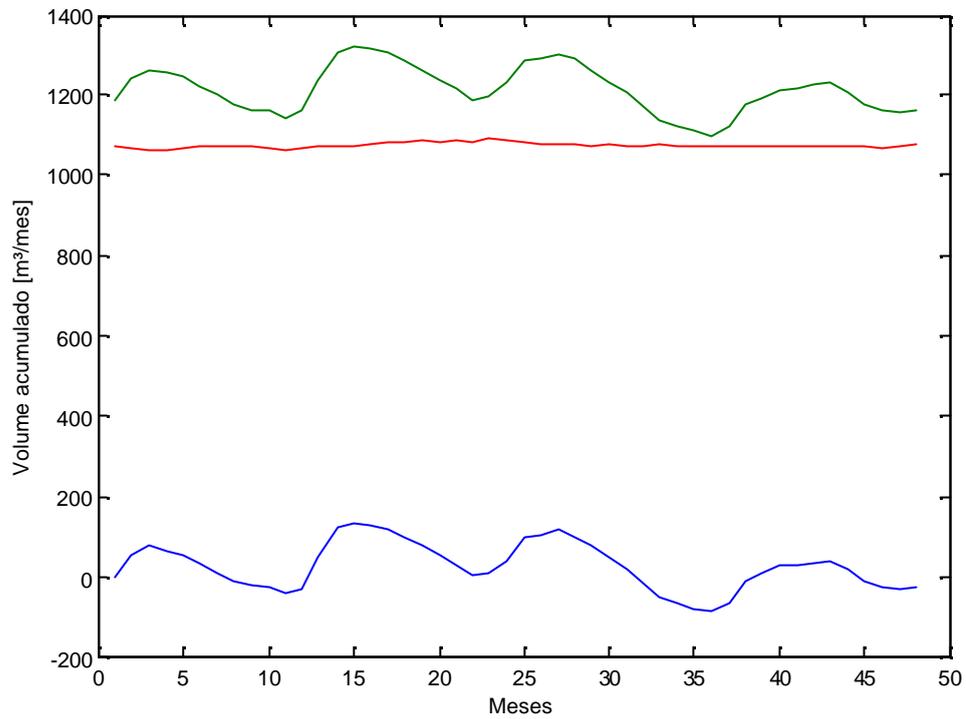


Gráfico 47 – Diagrama de Conti-Varlet de volume acumulado para o período de operação (década de 2000) da UHE SANTA BRANCA

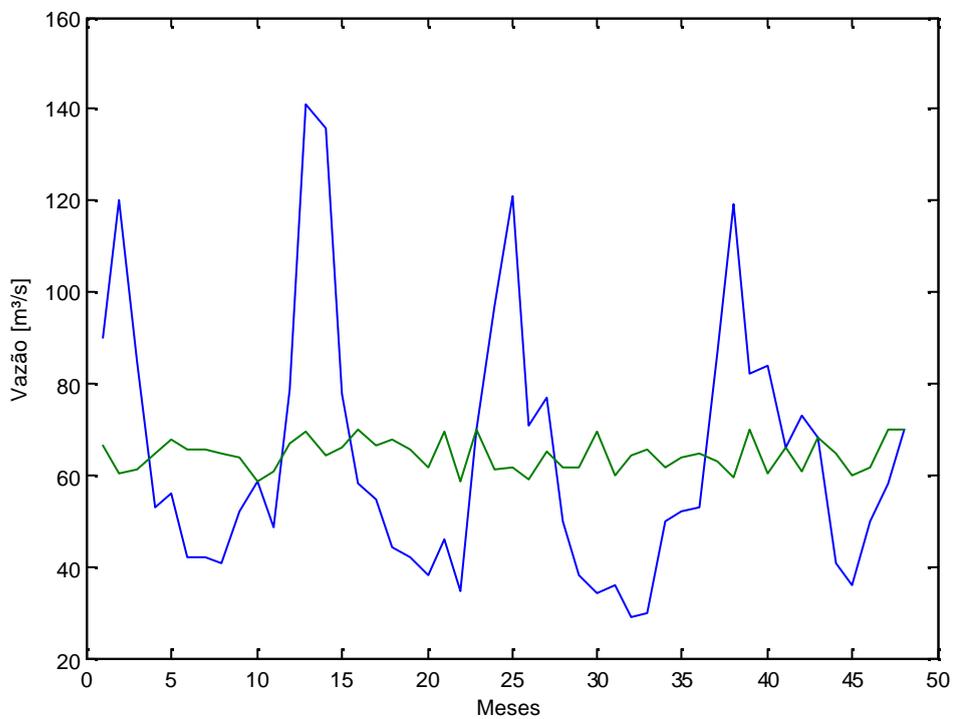


Gráfico 48 – Diagrama de Conti-Varlet de vazão regularizada para o período de operação (década de 2000) da UHE SANTA BRANCA

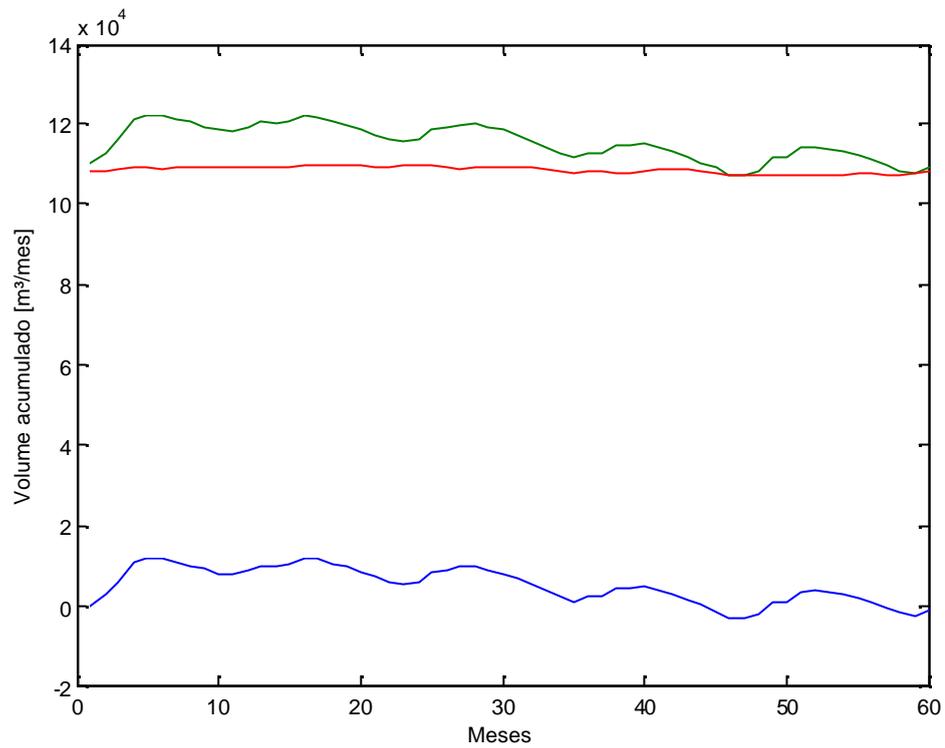


Gráfico 49 – Diagrama de Conti-Varlet de volume acumulado para o período de projeto da UHE SOBRADINHO

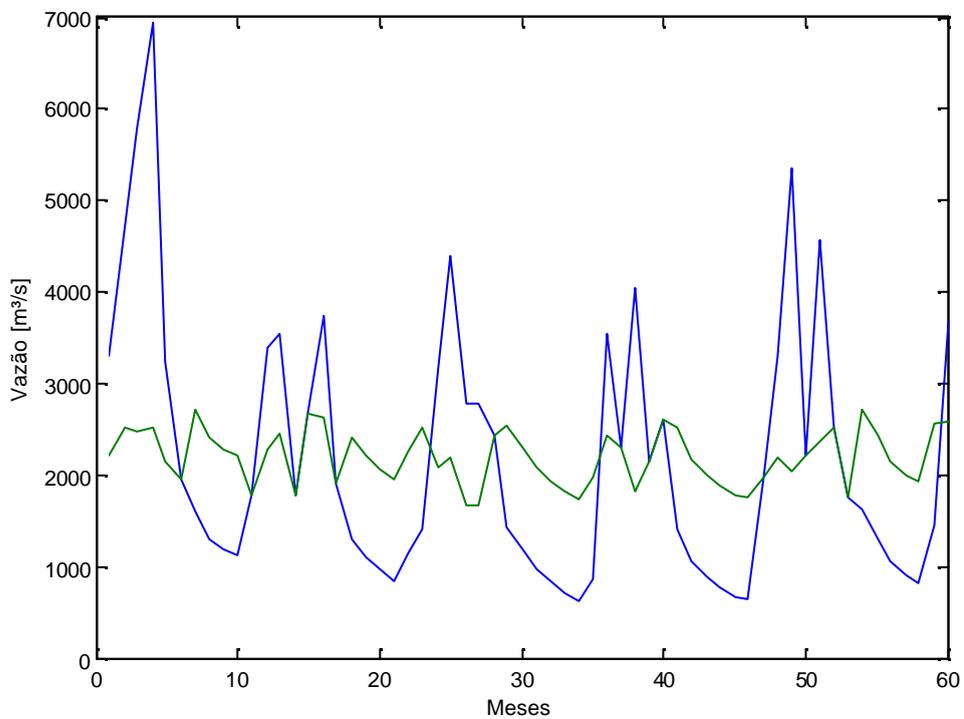


Gráfico 50 – Diagrama de Conti-Varlet de vazão regularizada para o período de projeto da UHE SOBRADINHO

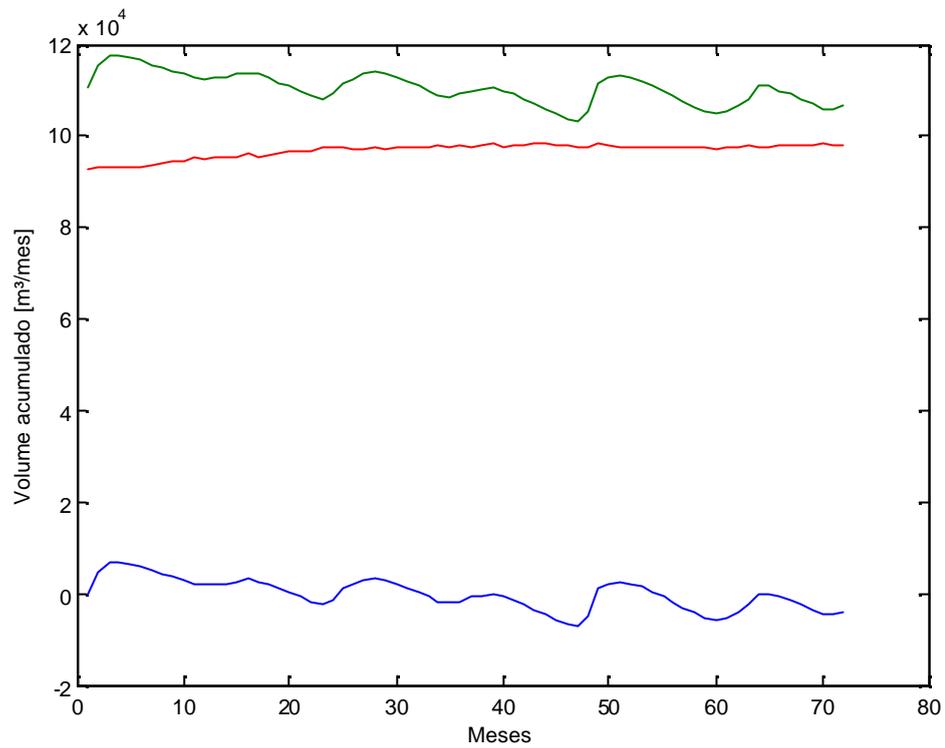


Gráfico 51 – Diagrama de Conti-Varlet de volume acumulado para o período de operação (década de 1980) da UHE SOBRADINHO

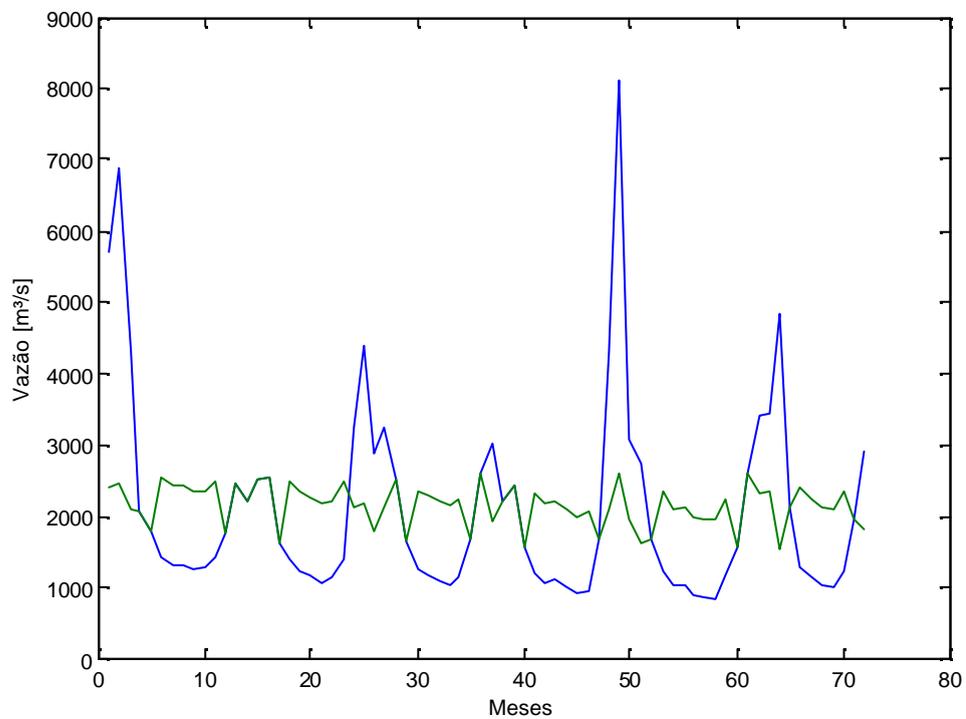


Gráfico 52 – Diagrama de Conti-Varlet de vazão regularizada para o período de operação (década de 1980) da UHE SOBRADINHO

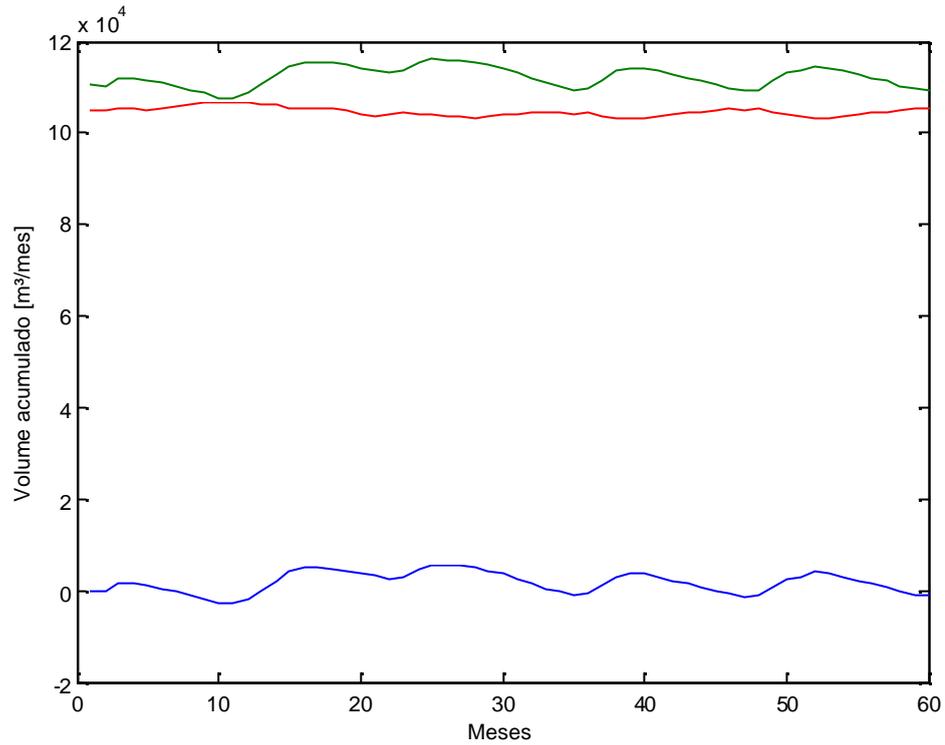


Gráfico 53 – Diagrama de Conti-Varlet de volume acumulado para o período de operação (década de 2000) da UHE SOBRADINHO

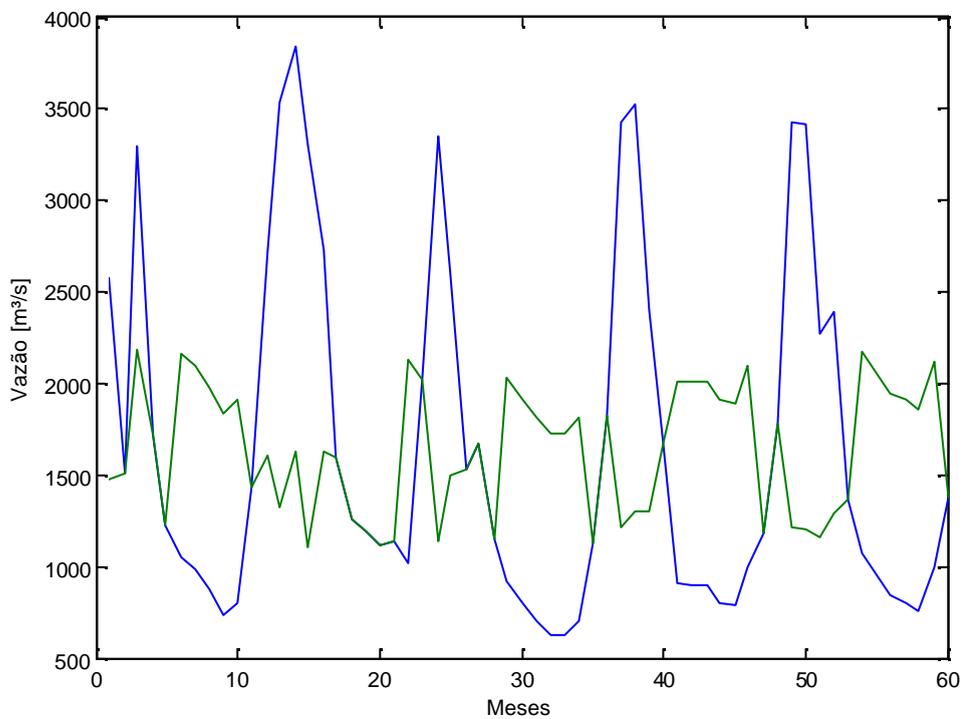


Gráfico 54 – Diagrama de Conti-Varlet de vazão regularizada para o período de operação (década de 2000) da UHE SOBRADINHO

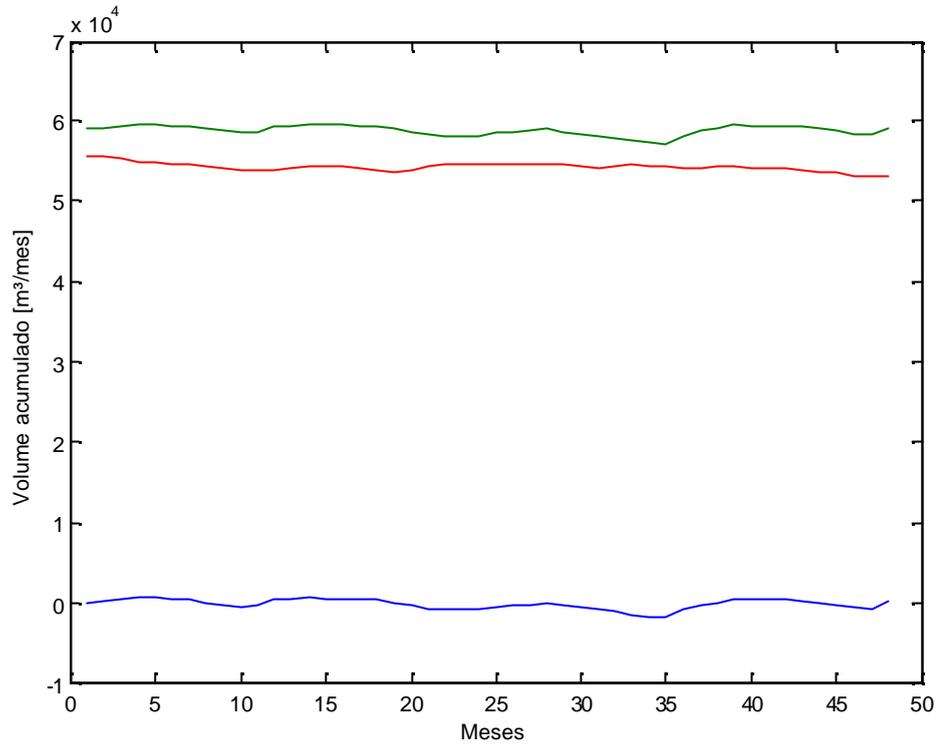


Gráfico 55 – Diagrama de Conti-Varlet de volume acumulado para o período de projeto da UHE TRÊS MARIAS

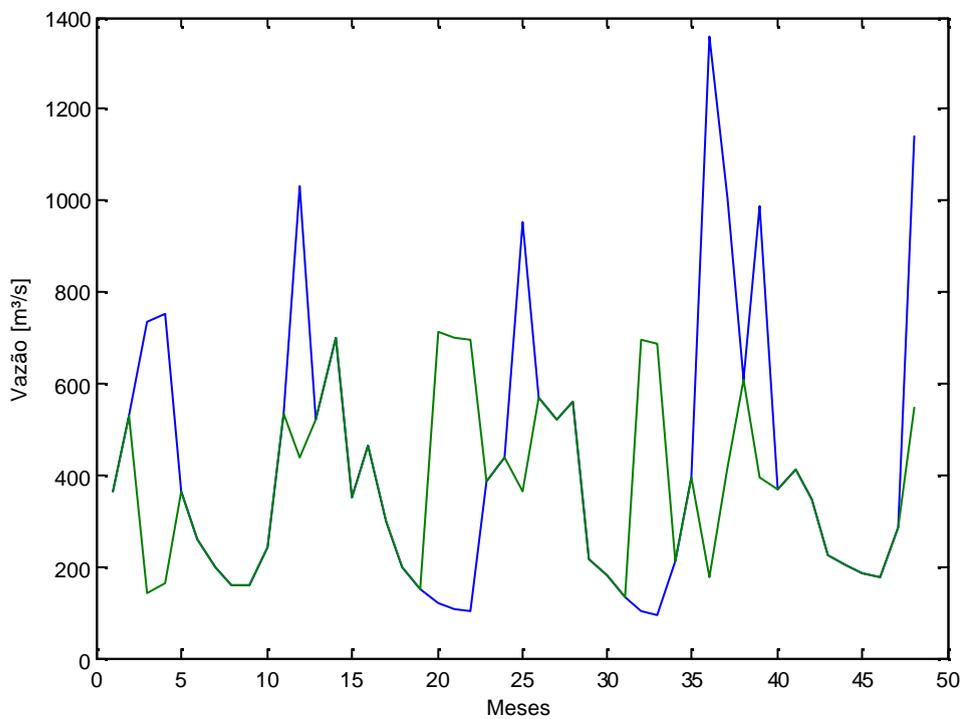


Gráfico 56 – Diagrama de Conti-Varlet de vazão regularizada para o período de projeto da UHE TRÊS MARIAS

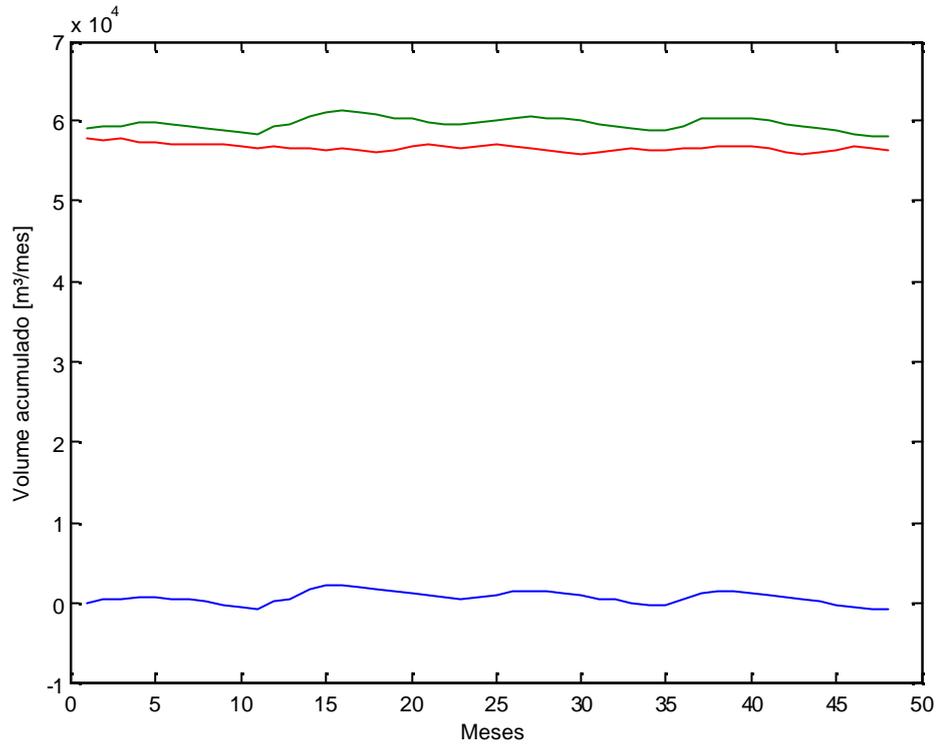


Gráfico 57 – Diagrama de Conti-Varlet de volume acumulado para o período de operação (década de 1980) da UHE TRÊS MARIAS

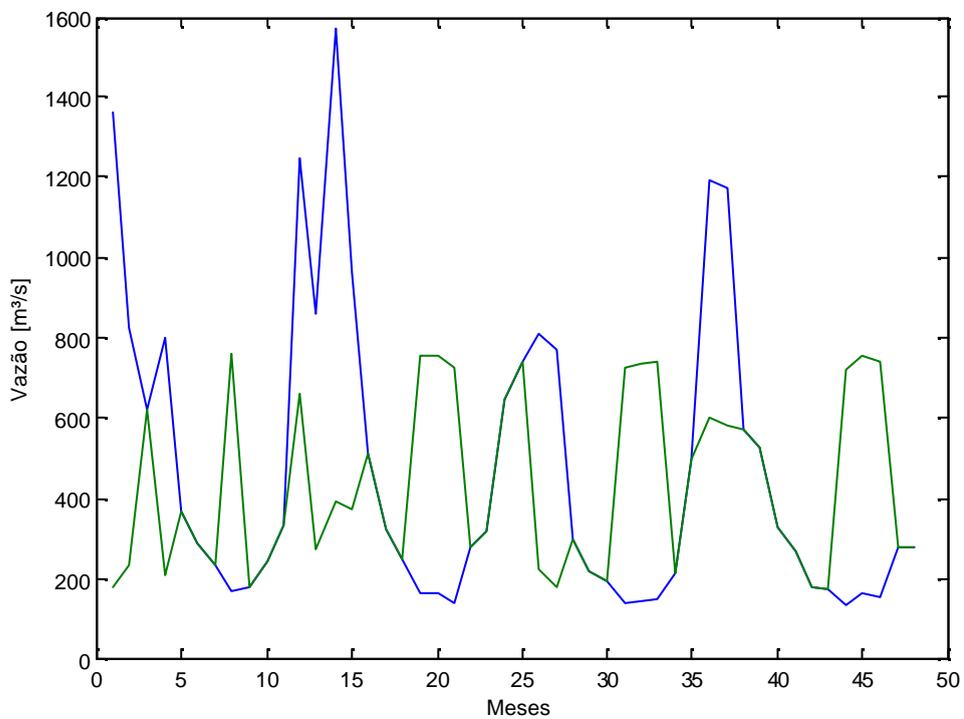


Gráfico 58 – Diagrama de Conti-Varlet de vazão regularizada para o período de operação (década de 1980) da UHE TRÊS MARIAS

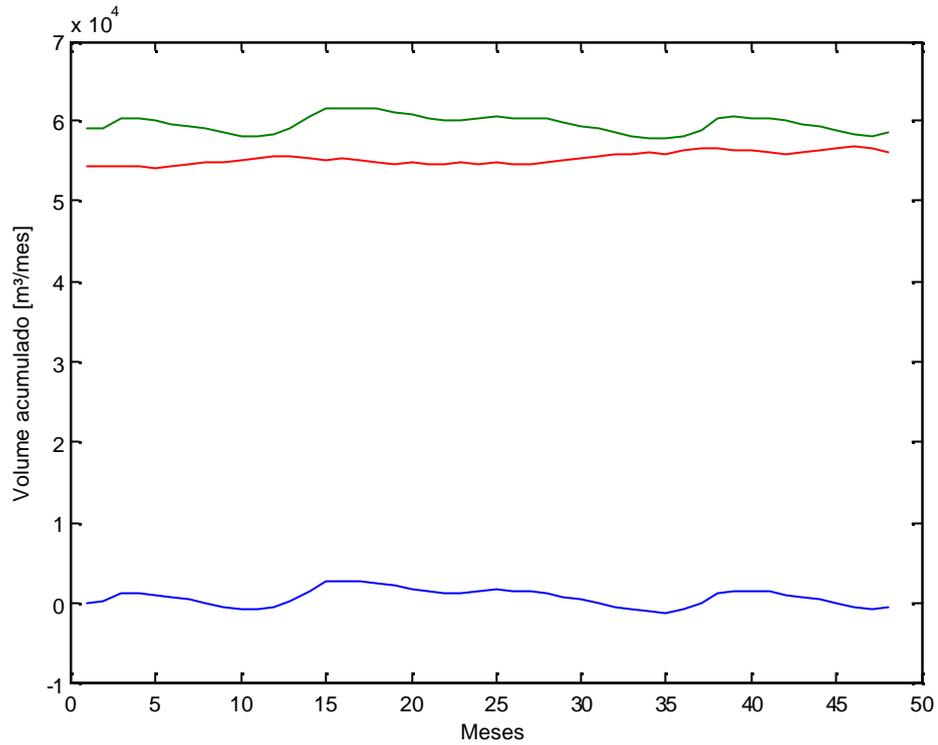


Gráfico 59 – Diagrama de Conti-Varlet de volume acumulado para o período de operação (década de 2000) da UHE TRÊS MARIAS

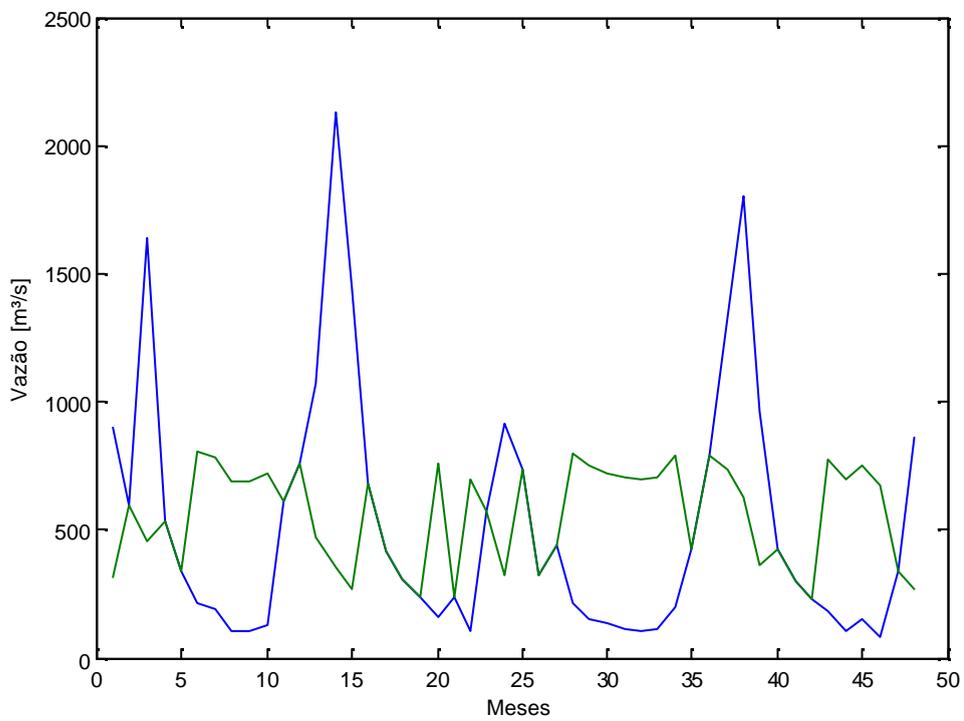


Gráfico 60 – Diagrama de Conti-Varlet de vazão regularizada para o período de operação (década de 2000) da UHE TRÊS MARIAS

**ANEXO G – ESTUDO DO COMPROMETIMENTO HIDROLÓGICO DO
VOLUME ÚTIL – APRESENTAÇÃO DOS GRÁFICOS DE COTA X ÁREA X
VOLUME DOS APROVEITAMENTOS ANALISADOS**

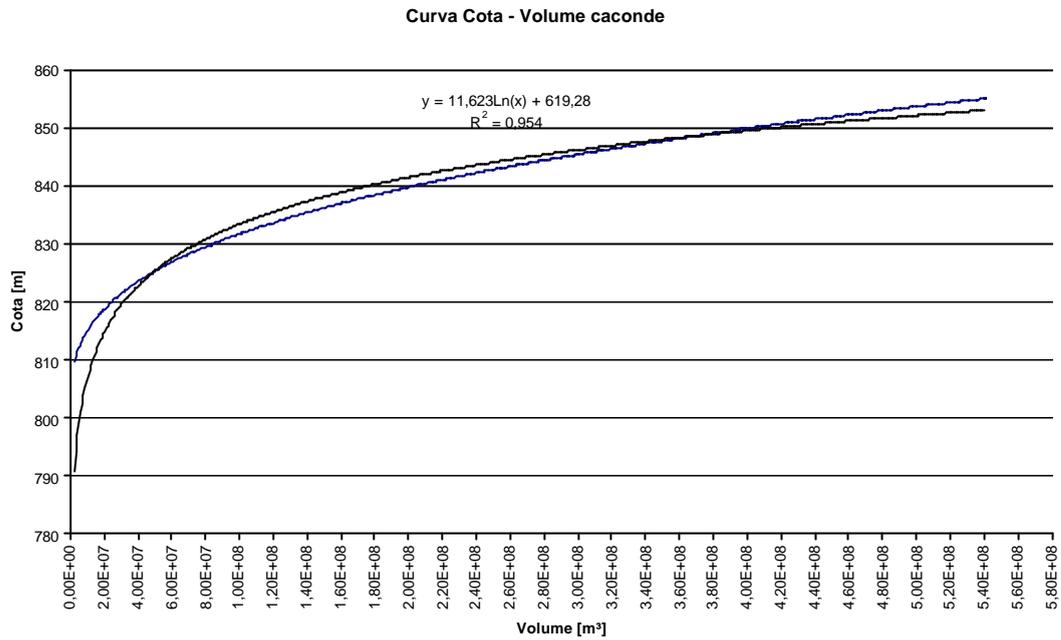


Gráfico 1 – Curva COTA X VOLUME da UHE CACONDE

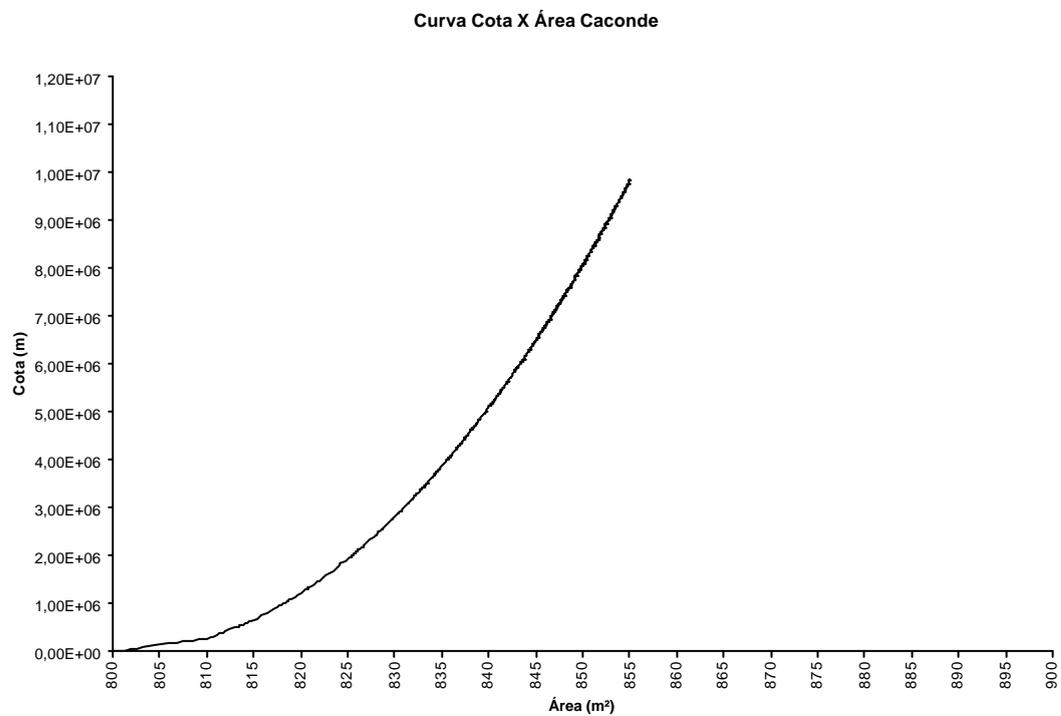


Gráfico 2 – Curva COTA X ÁREA da UHE CACONDE

Curva COTA X VOLUME UHE CAMARGOS

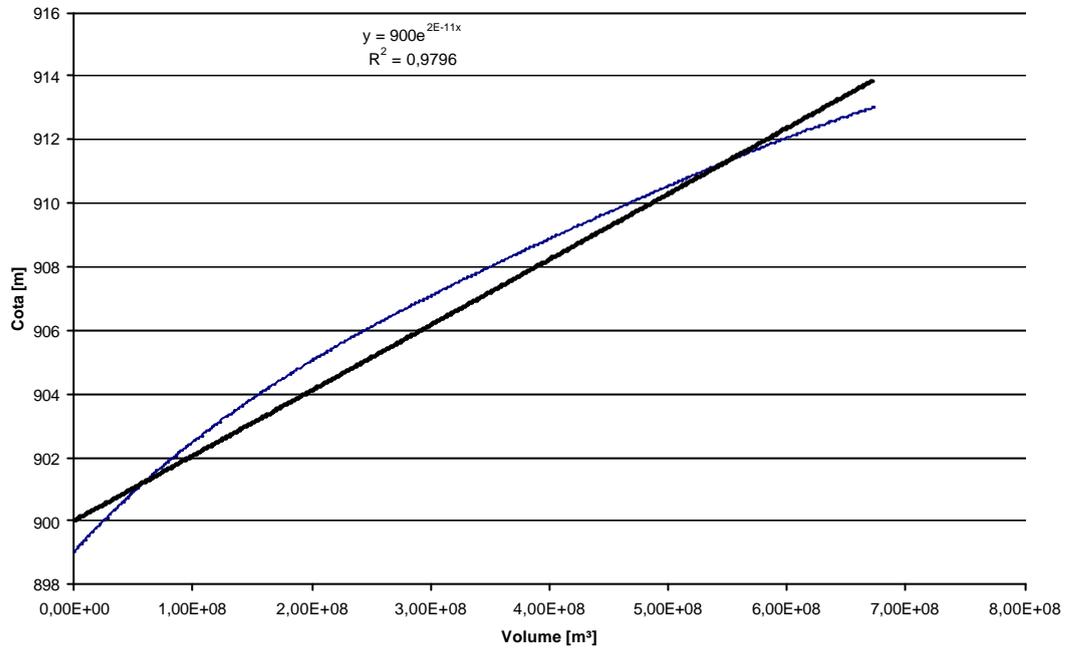


Gráfico 3 – Curva COTA X VOLUME da UHE CAMARGOS

Curva COTA X ÁREA UHE CAMARGOS

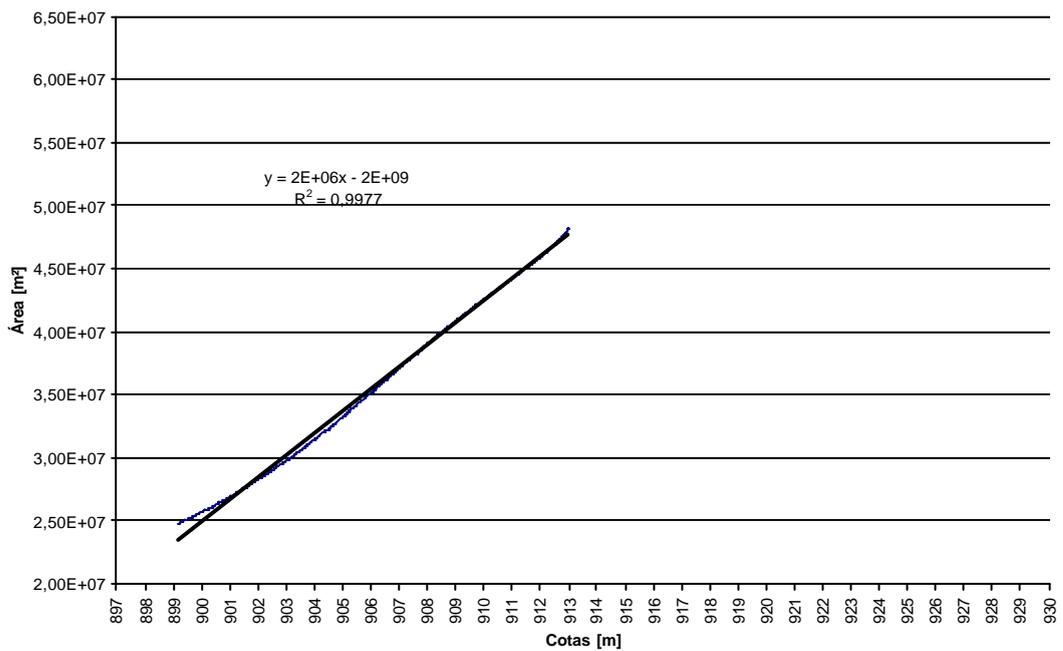


Gráfico 4 – Curva COTA X ÁREA da UHE CAMARGOS

Curva Cota X Volume UHE FOZ do AREIA

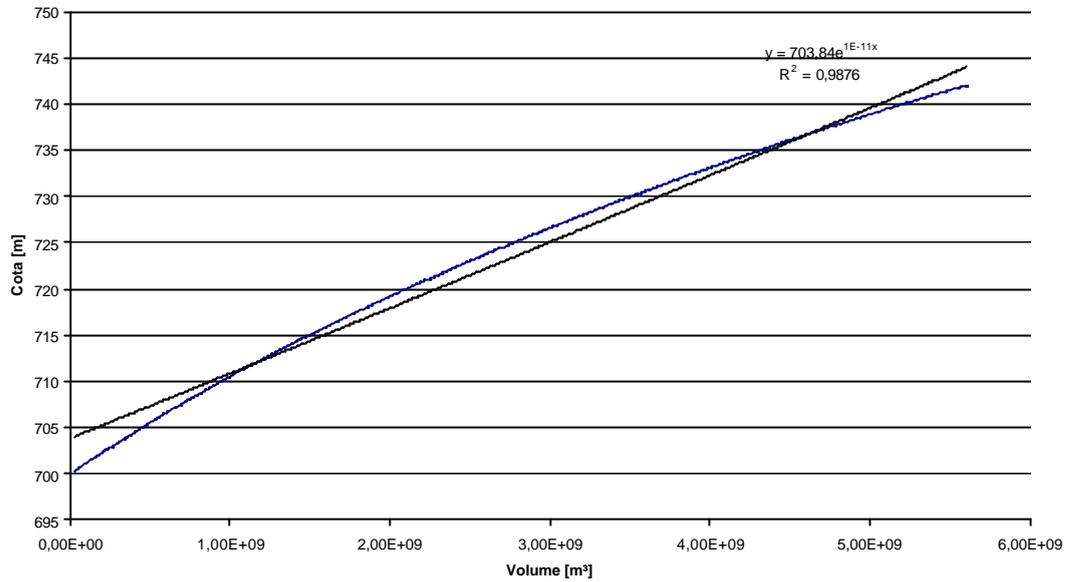


Gráfico 5 – Curva COTA X VOLUME da UHE FOZ do AREIA

Curva COTA X ÁREA UHE FOZ do AREIA

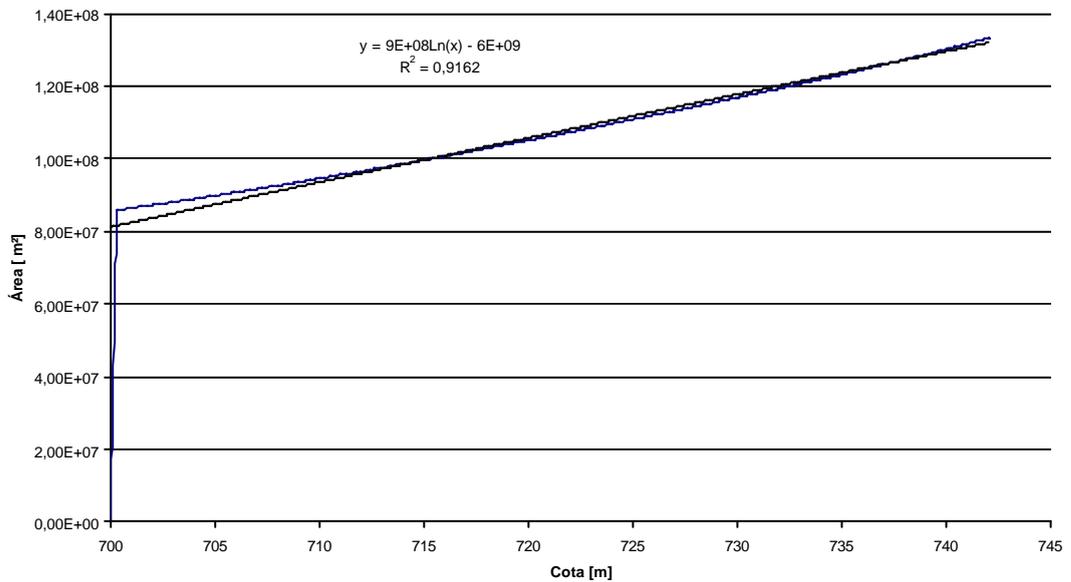


Gráfico 6 – Curva COTA X ÁREA da UHE FOZ do AREIA

Curva Cota X Volume UHE FUNIL

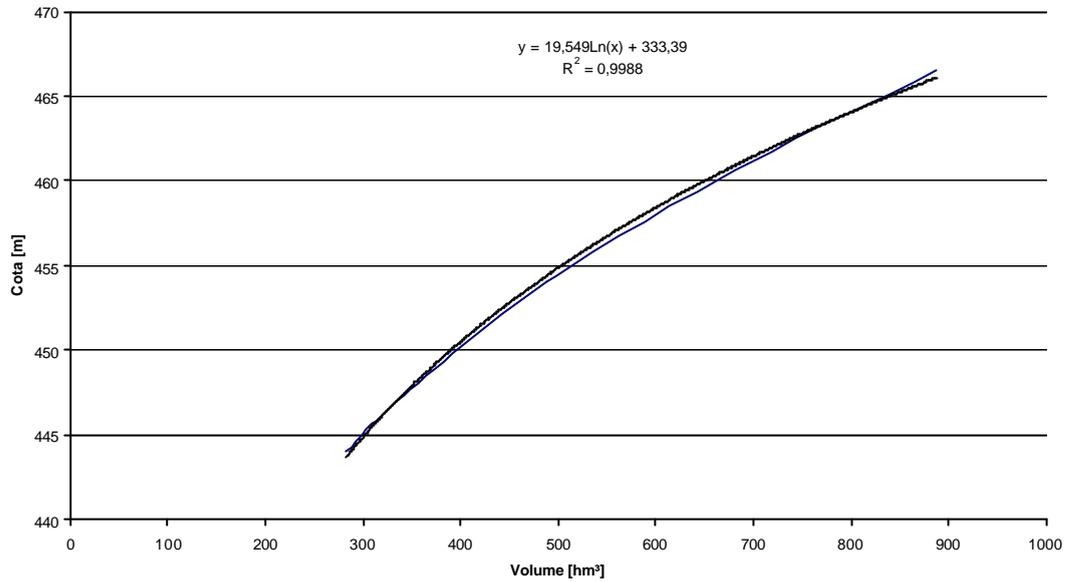


Gráfico 7 – Curva COTA X VOLUME da UHE FUNIL

Curva COTA X ÁREA UHE FUNIL

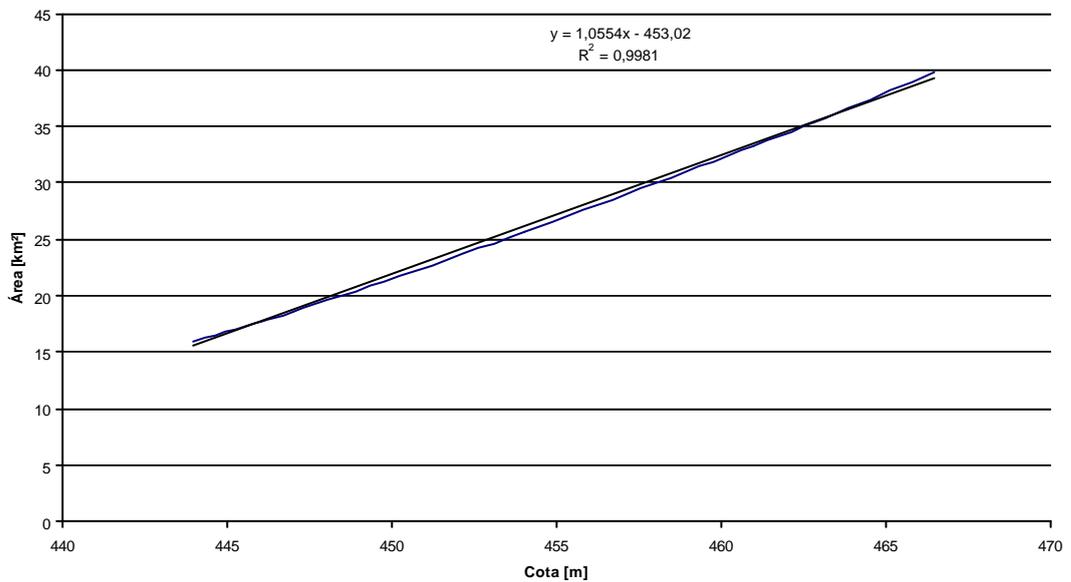


Gráfico 8 – Curva COTA X ÁREA da UHE FUNIL

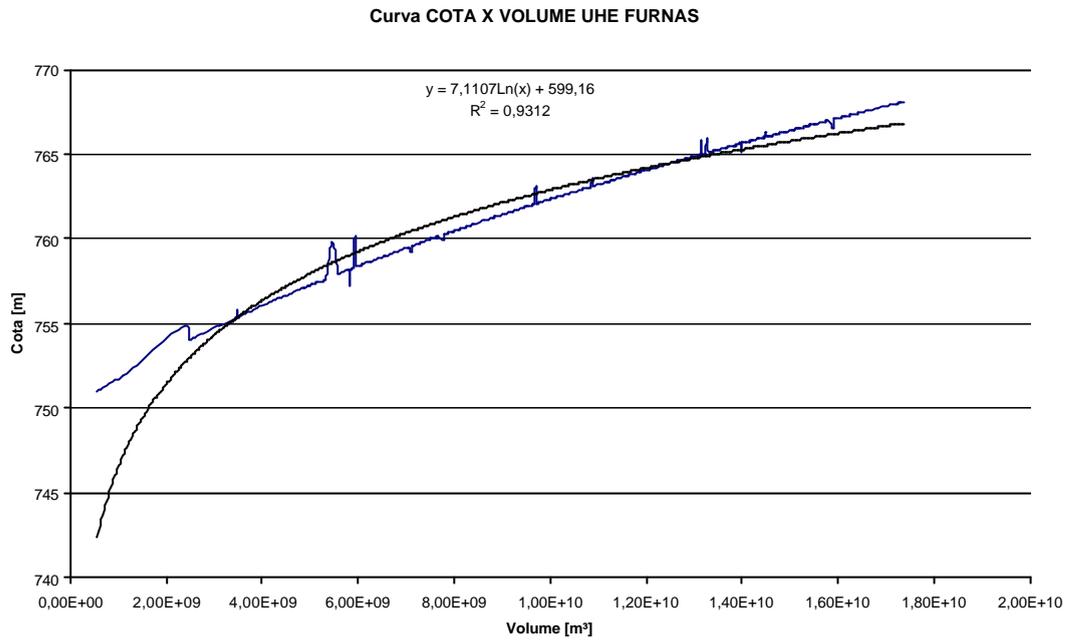


Gráfico 9 – Curva COTA X VOLUME da UHE FURNAS

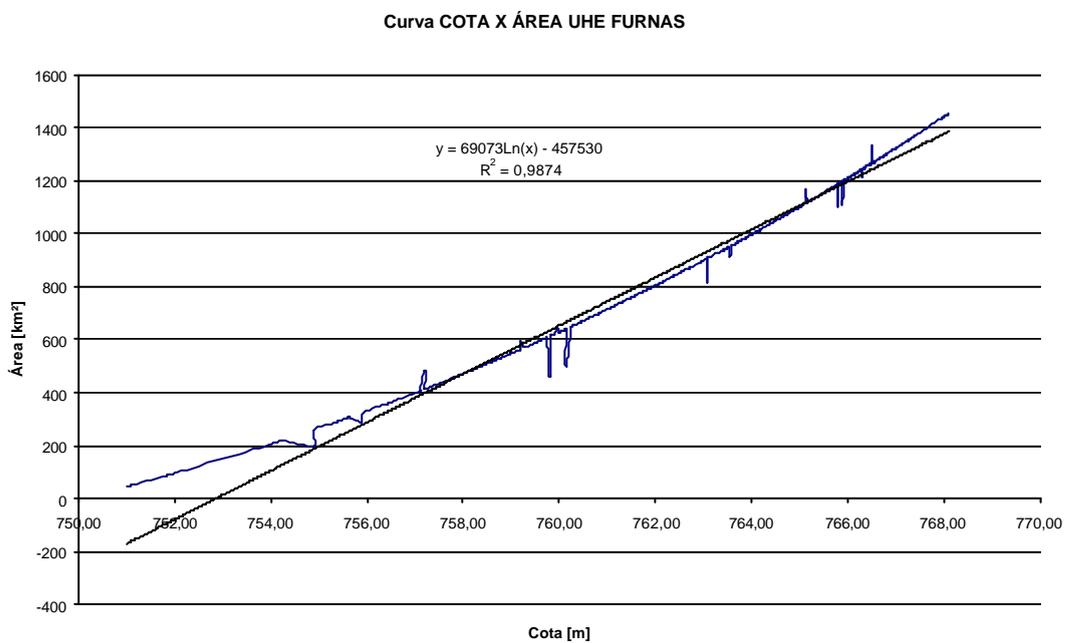


Gráfico 10 – Curva COTA X ÁREA da UHE FURNAS

Curva COTA X VOLUME UHE ILHA SOLTEIRA

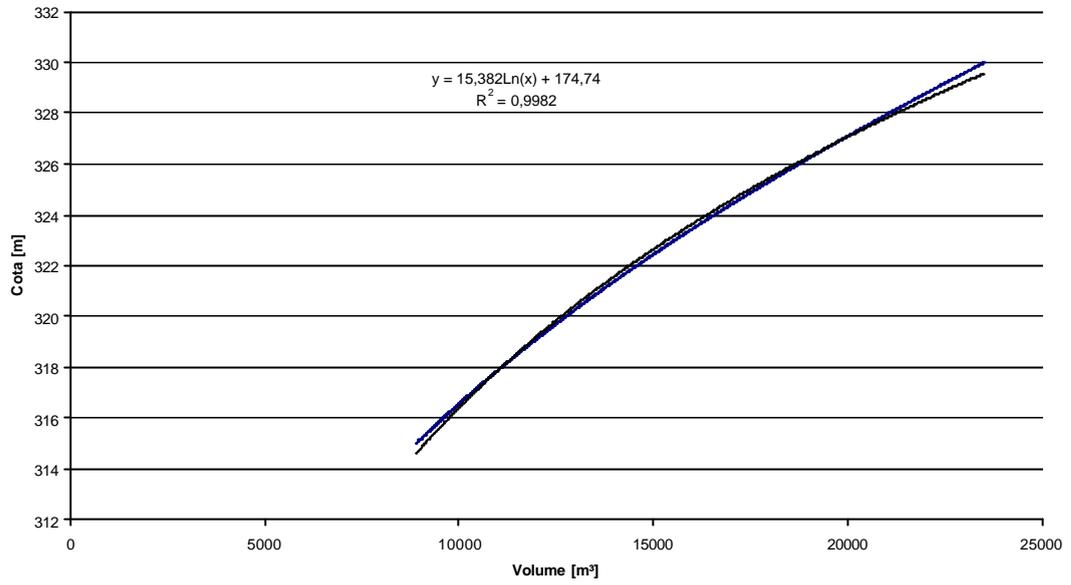


Gráfico 11 – Curva COTA X VOLUME da UHE ILHA SOLTEIRA

Curva COTA X ÁREA UHE ILHA SOLTEIRA

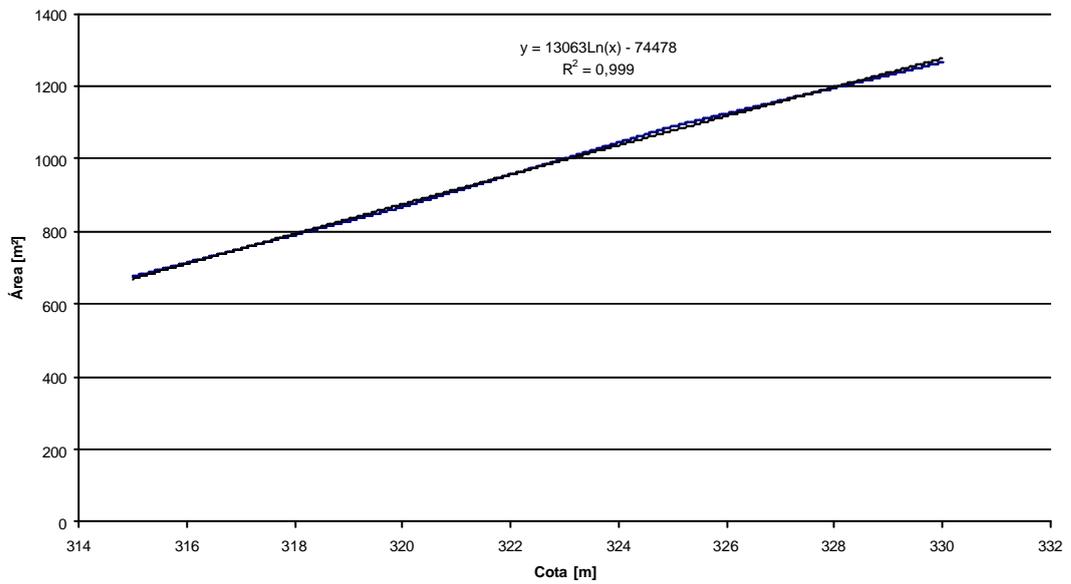


Gráfico 12 – Curva COTA X ÁREA da UHE ILHA SOLTEIRA

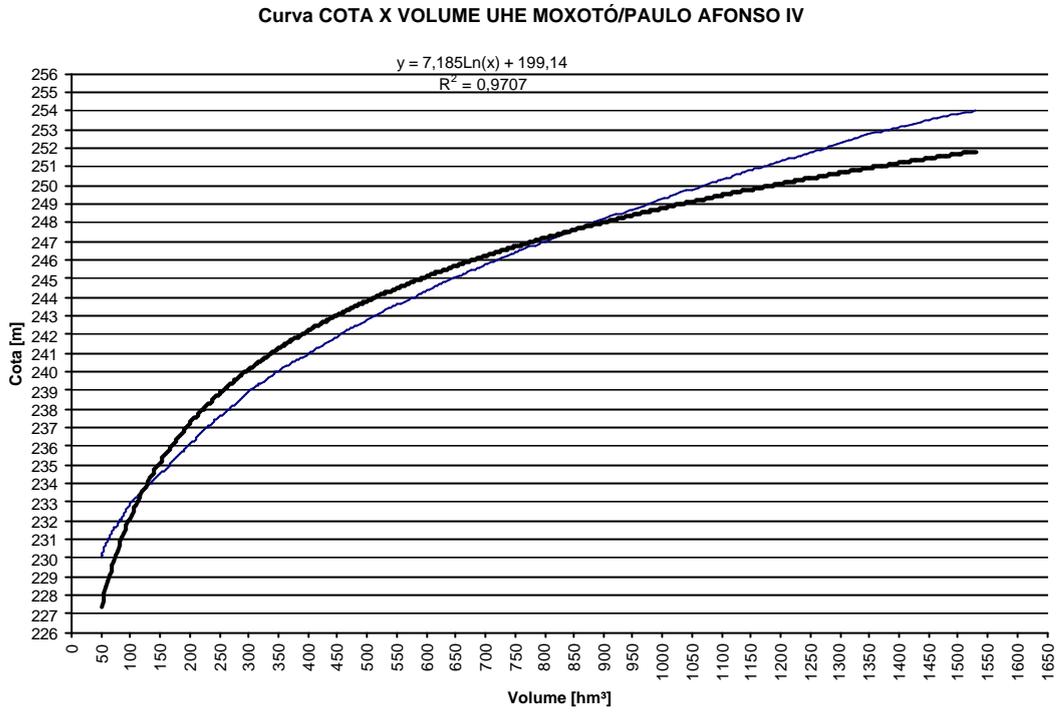


Gráfico 13 – Curva COTA X VOLUME da UHE MOXOTÓ/PAULO AFONSO IV

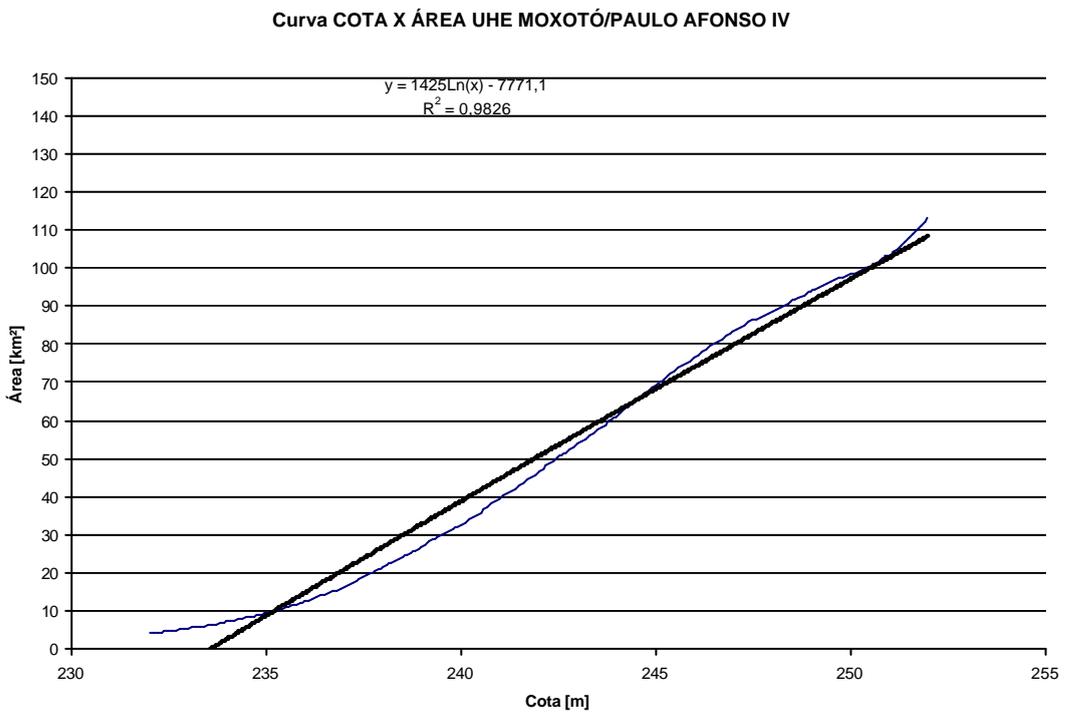


Gráfico 14 – Curva COTA X ÁREA da UHE MOXOTÓ/PAULO AFONSO IV

Curva COTA X VOLUME UHE SANTA BRANCA

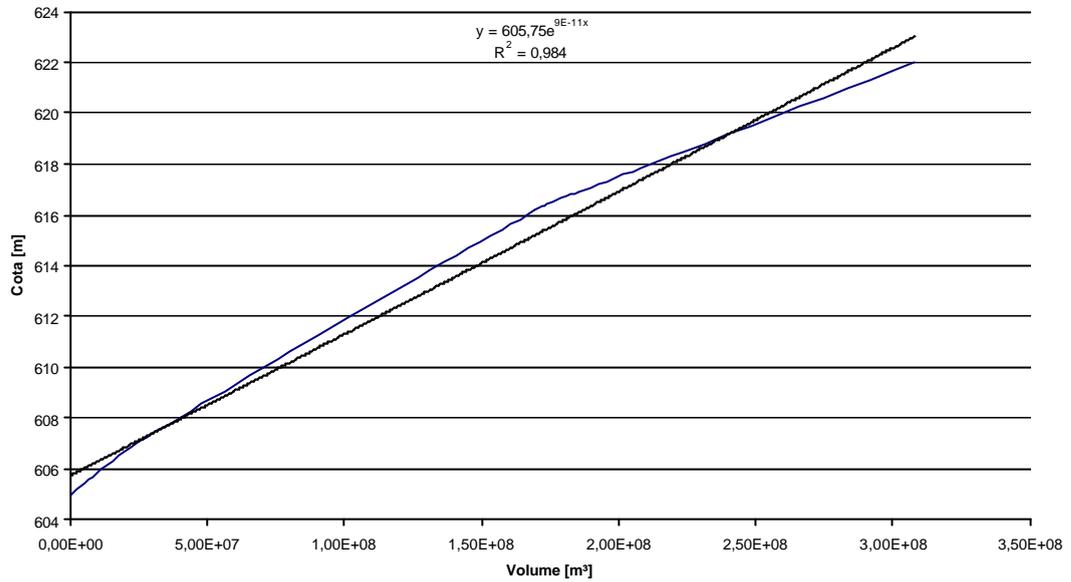


Gráfico 15 – Curva COTA X VOLUME da UHE SANTA BRANCA

Curva COTA X ÁREA UHE SANTA BRANCA

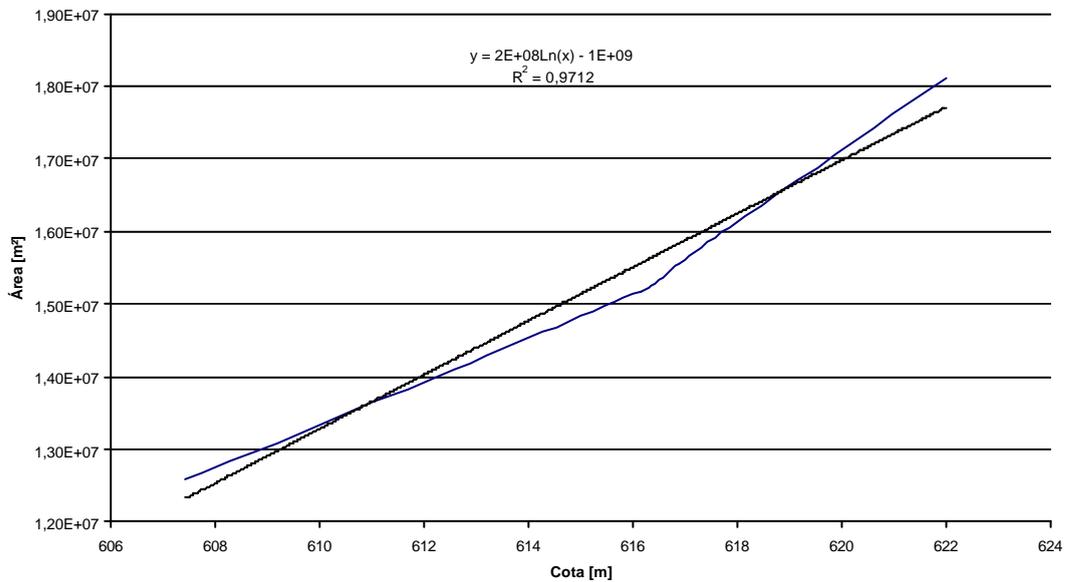


Gráfico 16 – Curva COTA X ÁREA da UHE SANTA BRANCA

Curva COTA X VOLUME UHE SOBRADINHO

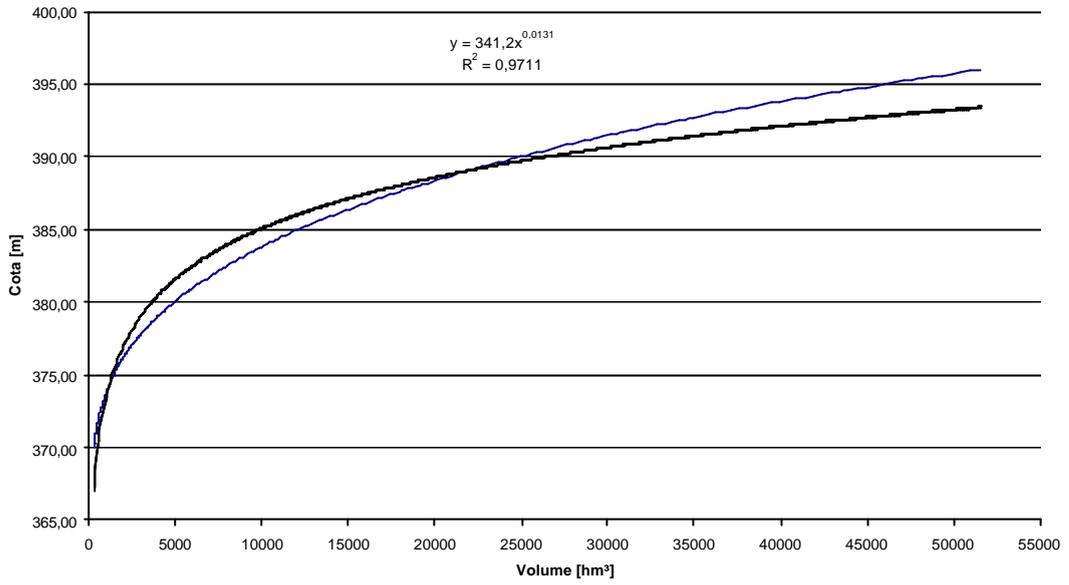


Gráfico 17 – Curva COTA X VOLUME da UHE SOBRADINHO

Curva COTA X ÁREA UHE SOBRADINHO

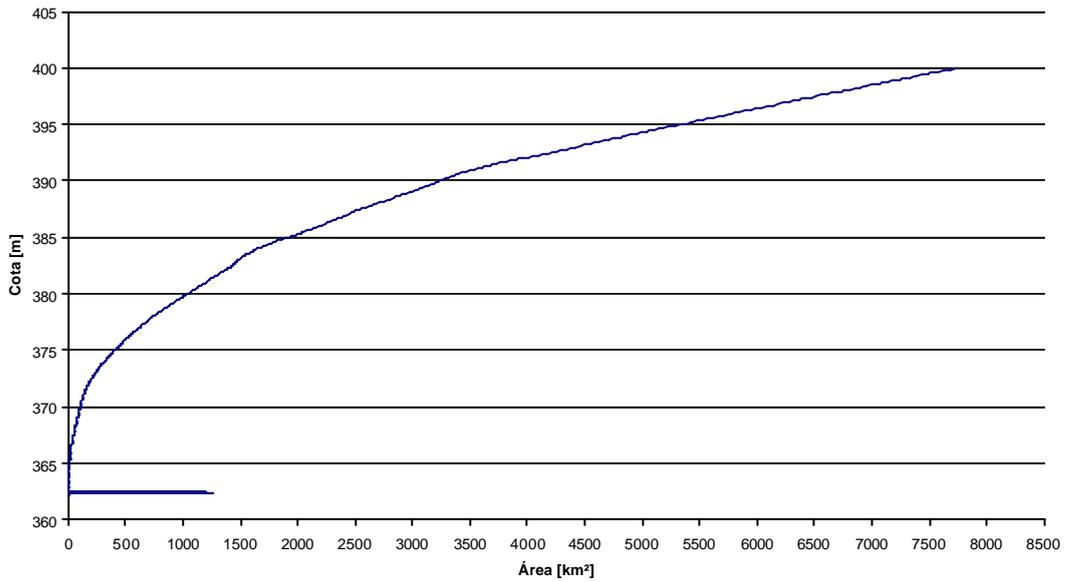


Gráfico 18 – Curva COTA X ÁREA da UHE SOBRADINHO

Curva COTA X VOLUME UHE TRÊS MARIAS

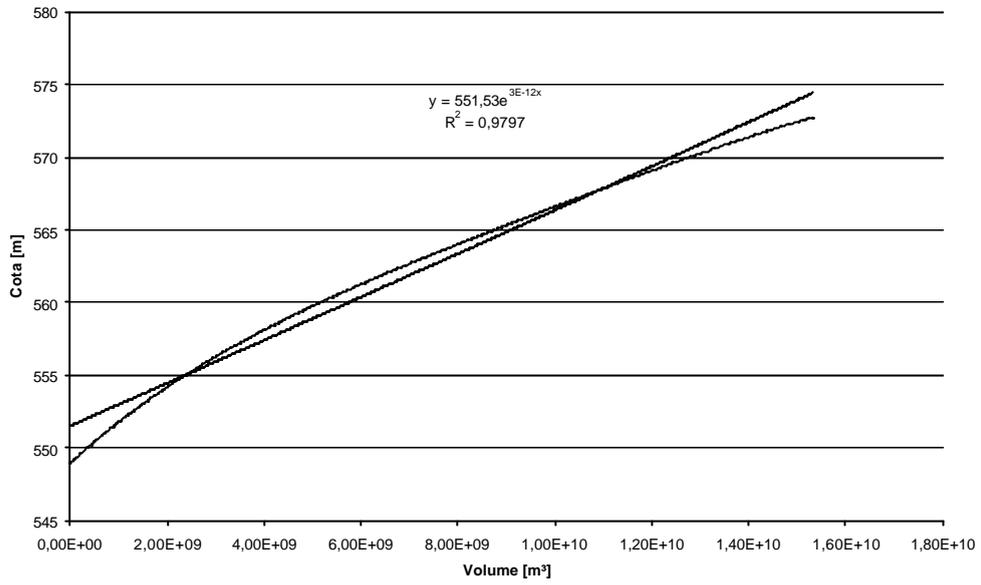


Gráfico 19 – Curva COTA X VOLUME da UHE TRÊS MARIAS

Curva COTA X ÁREA UHE TRÊS MARIAS

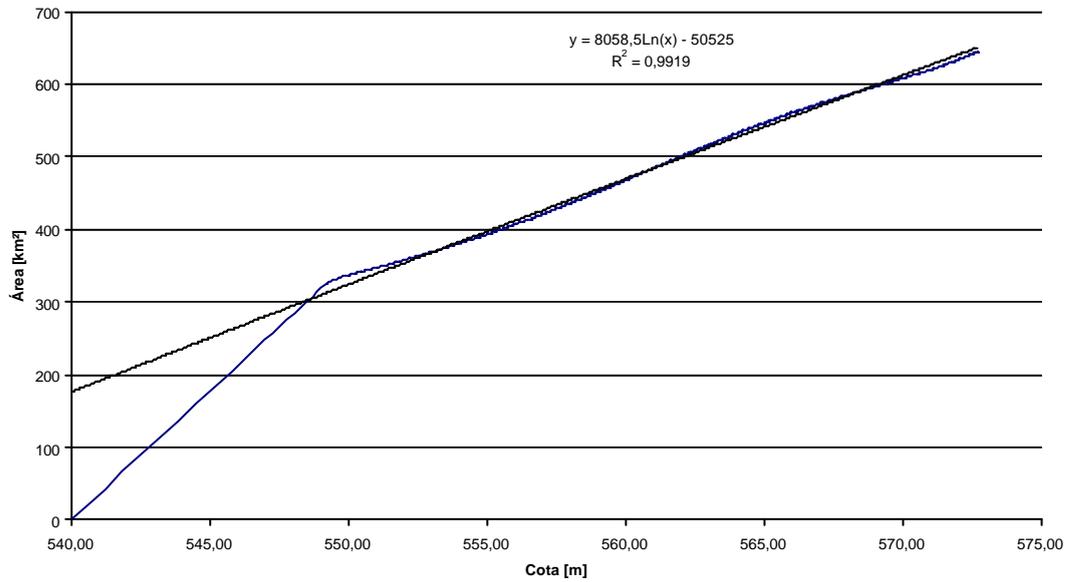


Gráfico 20 – Curva COTA X ÁREA da UHE TRÊS MARIAS