

LEOPOLDO UBERTO RIBEIRO JUNIOR

CONTRIBUIÇÕES METODOLÓGICAS VISANDO A
OUTORGA DO USO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA
GERAÇÃO HIDRELÉTRICA

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Itajubá
como parte dos requisitos necessários
à obtenção do título de mestre em
Engenharia da Energia

Itajubá 2004

LEOPOLDO UBERTO RIBEIRO JUNIOR

CONTRIBUIÇÕES METODOLÓGICAS VISANDO A
OUTORGA DO USO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA
GERAÇÃO HIDRELÉTRICA

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Itajubá
como parte dos requisitos necessários
à obtenção do título de mestre em
Engenharia da Energia

Orientador: Professor Afonso Henriques
Moreira Santos
Co- Orientador: Professor Edson da Costa
Bortoni

Itajubá 2004

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá –
Bibliotecária Jacqueline Rodrigues de Oliveira Balducci – CRB_6/1698

R484c

Ribeiro Junior, Leopoldo Uberto.

Contribuições metodológicas visando a outorga de recursos
hídricos para geração hidrelétrica / por Leopoldo Uberto Ribeiro
Junior -- Itajubá (MG) : [s.n.], 2004.

157 p. : il.

Orientador : Prof. Dr. Afonso Henriques Moreira Santos

Co-Orientador: Prof. Dr. Edson da Costa Bortoni

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá –
Departamento de Energia .

1Recursos Hídricos. 2. Reservatórios. 3. Outorga. 4. Energia.

I. Santos, Afonso Henriques Moreira, orient. II. Bortoni, Edson

da Costa, co-orient. III. Universidade Federal de Itajubá . IV. Título.

CDU 556.18:621.311 (043)

DEDICATÓRIA

Ao Amigo
Afonso Henriques Moreira Santos

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não poderia ter sido realizado sem a paciência, colaboração e apoio dos meus pais, irmãos, namorada e filha. A todos vocês, demais familiares e amigos que torceram e contribuíram de alguma forma para o desenvolvimento desse trabalho, meu sincero agradecimento.

À minha segunda família formada no CERNE, pelo incentivo e ajuda sempre nos momentos mais difíceis.

À Marcio Antônio Severi, pelos comentários e subsídio.

Ao amigo Marco Aurélio, peça fundamental no desenrolar das simulações.

Ao professor Antonio Carlos Zuffo, pela contribuição.

Ao professor Edson Bortoni, pela sabedoria, paciência e amizade.

Ao professor Afonso Henriques Moreira Santos, pela orientação, criatividade e imenso apoio na minha vida profissional e acadêmica. A você, que ao longo deste dois anos de caminhada, se tornou meu segundo pai e acima de tudo um grande amigo, sempre me incentivando e acreditando no meu potencial, meu eterno agradecimento.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	IV
LISTA DE TABELAS.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VI
LISTA DE ABREVIATURAS.....	IX
RESUMO.....	XI
ABSTRACT.....	XII
1 – INTRODUÇÃO.....	15
2 – VAZÃO OUTORGÁVEL - DISPONIBILIDADE HÍDRICA.....	18
2.1 – OUTORGA.....	18
2.2 – DEFINIÇÃO DAS VAZÕES.....	19
2.2.1 – VAZÃO DE REFERÊNCIA.....	20
2.2.2 – VAZÃO OUTORGÁVEL.....	22
2.2.3 – VAZÃO SANITÁRIA.....	26
2.2.4 – VAZÃO ECOLÓGICA.....	27
3 – USINAS HIDRELÉTRICAS.....	33
3.1 – ASPECTOS LEGAIS.....	33
3.2 – TIPOS DE APROVEITAMENTOS.....	35
3.2.1 – CENTRAIS QUANTO À CAPACIDADE DE REGULARIZAÇÃO.....	35
3.2.2 – SISTEMA DE OPERAÇÃO.....	36
3.2.3 – QUANTO Á POTÊNCIA INSTALADA E Á QUEDA DE PROJETO.....	36
3.3 – IMPACTOS DOS APROVEITAMENTOS HIDRO-ELÉTRICOS.....	38
3.4 – AÇÕES MITIGADORAS.....	43
4 – VAZÃO NO TRECHO CURTO CURCUITADO DAS PCHs.....	48
4.1 – PCH PARAITINGA.....	48
4.2 – CONCEITUAÇÃO DO PROBLEMA.....	49
4.2.1 – USOS DA ÁGUA.....	49
4.2.2 – ICTIOFAUNA.....	50
4.2.3 – VEGETAÇÃO CILIAR NO TVR.....	51
4.2.4 – QUALIDADE DA ÁGUA.....	52
4.2.5 – AÇÕES MITIGADORAS.....	52
4.2.6 – PRODUÇÃO DE ENERGIA.....	53
5 – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA MULTI-CRITERIAL.....	56
5.1 – JUSTIFICATIVA.....	56
5.2 – HISTÓRICO DOS MÉTODOS MULTICRITERIAIS.....	57
5.3 – MÉTODOS MULTICRITERIAIS UTILIZADOS.....	57
5.3.1 – MÉTODO DE PROGRAMAÇÃO DE COMPROMISSO.....	57
5.3.2 – MÉTODO DA TEORIA DOS JOGOS COOPERATIVOS - CGT.....	59
5.4 – DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS.....	59
5.5 – DETERMINAÇÃO DAS ALTERNATIVAS - ESTIMADORES DE VAZÃO MÍNIMA.....	61
5.6 – APLICAÇÃO DOS MÉTODOS MULTICRITERIAIS.....	62
5.6.1 – PROGRAMAÇÃO POR COMPROMISSO.....	64
5.6.2 – TEORIA DOS JOGOS COOPERATIVOS.....	65
5.7 – CONCLUSÕES.....	66
6 – OPERAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS.....	68
6.1 – JUSTIFICATIVA.....	68
6.2 – O MODELO.....	70
6.3 – UHE DE FURNAS.....	73

6.4	– APLICAÇÃO DO MODELO	76
6.5	– OUTORGA PARA USINAS	88
7	– PROPOSTA PARA OPERAÇÃO	94
7.1	– OPÇÃO 1	94
7.2	– OPÇÃO 2	104
7.3	– OPÇÃO 3	106
8	– OUTORGA PARA OS CASOS ESTUDADOS	110
8.1	– O CASO DAS PCHs	110
8.2	– O CASO DAS UHE	114
9	– CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	117
10	– ANEXO	120
11	– BIBLIOGRAFIA	128
APENDICE 1		132
APENDICE 2		138
APENDICE 3		142
APENDICE 4		144
APENDICE 5		146
APENDICE 6		148
APENDICE 7		150

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Central de Represamento e de Desvio	37
Figura 3.2 - Implantação de pequenos barramentos	44
Figura 3.3 - Opção 1	47
Figura 4.1 - Arranjo típico de uma central de desvio com Trecho de Vazão Reduzida.....	48
Figura 4.2 - Contribuição lateral	49
Figura 4.3 - Recarga do aquífero	52
Figura 5.1 - Seleção do ponto Meta.....	58
Figura 6.1. - Diagrama parcial do SIN	69
Figura 6.2 - Curva do volume diferencial acumulado	72
Figura 6.3 - Determinação da operação.....	72
Figura 6.4 - Represa de Furnas antes e depois de sua implantação.....	73
Figura 6.5 - Municípios do Entorno de Furnas.....	74
Figura 6.6 - Estância Turística Escarpas do Lago na cidade de Formiga em dois momentos deplecionamento em 1998 e o reservatório cheio em 2003	75
Figura 6.7 - Hidrograma de Furnas com e sem regularização.....	76
Figura 6.8 - Regularização do volume do reservatório de furnas.....	76
Figura 6.9 - Curvas de duração das vazões afluyente e regularizada	77
Figura 6.10 - Curva de duração do nível do reservatório	77
Figura 6.11 - Efeito de redução do volume útil sobre a regularização de vazões	78
Figura 6.12 - comportamento do fator de punição (Kp).....	78
Figura 6.13 - Curva de duração de vazão para diferentes penalidades.....	79
Figura 6.14 - Curva de duração de altura para diferentes penalidades.....	80
Figura 6.15 - Regularização sem efeito de penalidade ao deplecionamento.....	81
Figura 6.16 - Penalidade ao deplecionamento 1000 vezes maior que a da parcela do desvio quadrático	82
Figura 6.17 - Curva de duração de vazões para diferentes penalidades ao deplecionamento..	83
Figura 6.18 - Curva de duração de cotas para diferentes penalidades ao deplecionamento....	83
Figura 6.19 - Trade-off para decisão multi-objetivo	87
Figura 6.20 - Curva de permanência de cotas para os pontos indicados pelo Trade-off.....	87
Figura 6.21 - Curva de permanência de vazões para os pontos indicados pelo Trade-off.....	88
Figura 6.22 - Conduta do reservatório no período entre 1998 e 2000.....	90
Figura 6.23. - Frequência de transgressão aplicado para reservatório de Furnas.....	92
Figura 6.24 - Duração de transgressão aplicado para reservatório de Furnas	92
Figura 7.1 - Curva de duração de alturas para a 1ª opção considerando 30 anos de planejamento.....	103
Figura 7.2 - Frequência para a 1ª opção, considerando 30 anos de planejamento	103
Figura 7.3 - Curva de duração de vazões para a 1ª opção considerando 30 anos de planejamento.....	104
Figura 7.4 - Curva de duração de alturas para a 2ª opção considerando 30 anos de planejamento.....	105
Figura 7.5 - Frequência para a 2ª opção considerando 30 anos de planejamento	106
Figura 7.6 - Curva de duração de vazões para a 2ª opção considerando 30 anos de planejamento.....	106
Figura 7.7 - Organograma da terceira opção	107
Figura 7.8 - Curva de duração de alturas para a 3ª opção	108
Figura 7.9 - Frequência para a 3ª opção considerando 30 anos de planejamento	109
Figura 7.10 - Curva de duração de vazões para a 3ª opção considerando 30 anos de planejamento.....	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Resumo de critério de outorga de alguns estados.....	22
Tabela 2.2 - Recomendações de vazão mínima garantida, a partir de categorias de percentagem de vazão média anual do método de Montana, para espécies aquáticas, recreação e recursos ambientais relacionados (Tennant, 1976).....	29
Tabela 2.3. - Vazões mínimas garantidas recomendadas pelo método ABF	30
Tabela 3.1 - Classificação das PCHs quanto à potência e quanto à queda de projeto.....	36
Tabela 3.2 - Resumo comparativo entre as alternativas	47
Tabela 4.1 - Informações básicas da PCH.....	48
Tabela 4.2 - Cobertura Vegetal das Margens do Trecho de Vazão Reduzida.....	50
Tabela 4.3 - Dados da Produção de Energia – Projeto Básico	53
Tabela 4.4 - Características fluviométricas utilizadas para o dimensionamento.....	54
Tabela 5.1 - Critérios abordados	60
Tabela 5.2 - Resumo das alternativas	62
Tabela 5.3 - Peso médio dos critérios adotados	63
Tabela 5.4 - Matriz pay - off.....	63
Tabela 5.5 - Matriz de avaliação	64
Tabela 5.6 - Resultado da metodologia CP para S = 1	64
Tabela 5.7 - Resultado da metodologia CP para S = 2.....	65
Tabela 5.8 - Resultado da metodologia CGT	65
Tabela 5.9 - Resposta dos métodos multicriteriais estudados	65
Tabela 5.10 - Comparação do TVR de Usinas	66
Tabela 6.1 - Valores de W_1 e W_2	80
Tabela 6.2 - Comparação da regularização de vazões utilizando diferenciados valores de W_2 e W_3	84
Tabela 6.3 - Comparação da variação de cotas utilizando diferenciados valores de W_2 e W_3	85
Tabela 6.4 - Geração média de energia elétrica para diferentes condições operativas	86
Tabela 7.1 - Dados históricos para os últimos 10 anos do reservatório	97
Tabela 7.2 - Comparação entre os valores de duração e frequência.....	98
Tabela 7.3 - Projeção do nível do reservatório para fevereiro de 2004.....	99
Tabela 7.4 - Projeção de níveis do reservatório.....	99
Tabela 7.5 - Projeção de níveis do reservatório acumulando 15% da vazão defluente.....	101
Tabela 7.6 - Projeção de níveis do reservatório acumulando 30 % da vazão defluente.....	102
Tabela 7.7 - Número de vezes que as condições de duração e frequência foram atingidas ...	105
Tabela 7.8 - Número de vezes que as durações e frequências foram atingidas para as três opções.....	107
Tabela 10.1 – Vazões Média Mensais – Estação Estrada do Cunha - 58030000.....	120
Tabela 10.2– Histórico de cotas do reservatório	122
Tabela 10.3 - Dados de vazões afluentes – Furnas (m^3/s).....	123
Tabela 10.4 – Vazões defluentes planejadas através do método do Conti - Varlet.....	125
Tabela 10.5 Projeção de cotas armazenando 10% da vazão defluente planejada – Opção 1 ..	126
Tabela 10.6- Projeção de cotas armazenando 30% da vazão defluente planejada – Opção 1	127

LISTA DE SÍMBOLOS

A - Alternativas

C - Critérios

CO₂ - Gás carbônico

CP - Método de Programação por Compromisso

CGT - Teoria dos Jogos Cooperativos

d - Duração

d_c - Duração calculada

d_d - Duração desejada

dt - Duração de transgressão

dez - Dezembro

E [Y] - Esperança

f - Frequência

f_c - Frequência calculada

f_d - Frequência desejada

\overline{ft} - Frequência de transgressão média

f_i^* - Melhor valor obtido para o critério i ;

f_i^{**} - Pior valor obtido para o critério i ;

$f_i(x)$ - é o resultado da implementação da decisão x com respeito ao i ésimo critério;

Fr - Número de Froude

h - Altura de queda

ha - hectares

H_{\min} - Altura mínima operativa

H_{req} - Altura requerida pelos usuários do lago de Furnas

H_t - Altura regularizada

jan - Janeiro

K_o - Percentual outorgável

km - Quilômetro

km² - Quilômetro quadrado

l - Litros

l/s - Litros por segundo

ls - Distância de cada alternativa à solução ideal

m - Ordem da amostra

m^2 - Metro quadrado

m^3 - Metro cúbico

m^3/s - Metro cúbico por segundo

n - Tamanho da amostra

n° - Número

P - Ponto genérico

Q - Vazão

\bar{Q} - Vazão média

Q_{di} - Vazão defluente no instante i

$Q_d(t)$ - Demanda de água

Q_{ai} - Vazão afluyente no instante i

Q_m - Vazão média consumida

Q_{mlt} - Vazão média de longo termo

Q_{mpc} - Vazão média de período crítico

Q_{mps} - Vazão média de período seco

Q_{max} - Vazão máxima média mensal

Q_{min} - Vazão mínima média mensal

Q_r - Vazão remanescente

Q_R - Vazão regularizada

Q_{TVR} - Vazão no trecho de vazão reduzida

Q_{TUR} - Vazão turbinada

Q_{50} - Indica uma vazão com permanência de 50 % do tempo

Q_{90} - Indica uma vazão com permanência de 90 % do tempo

Q_{95} - Indica uma vazão com permanência de 95 % do tempo

$Q_{7,10}$ - Vazão mínima de sete dias consecutivos, associado ao período de retorno de dez anos.

s - Desvio padrão da amostra

T - Tempo de retorno

T_e - Tempo

V_i - Volume no reservatório no instante i

V_{i-1} - Volume no reservatório no instante i - 1

VAO - Volume acumulado

VAR [Y] - Variância

VA_t - Volume regularizado

VA_0 - Volume morto

VA_{\min} - Volume mínimo
 VA_{\max} - Volume máximo
VD - Volume disponível para armazenamento
VDA(t) - Volume diferencial acumulado
 W_1 - Fator de penalização
 W_2 - Fator de penalização
 W_3 - Fator de penalização
 k_p - Fator de punição
 α - Parâmetro da escala
 α_i - Pesos atribuídos a cada critério
 μ - Parâmetro de locação
 Σ - Somatório
 Δt - número de segundos no mês

LISTA DE ABREVIATURAS

ABF - Método da Nova Inglaterra ou da Vazão Básica

ANA - Agência Nacional de Águas

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

ASUL - Associação dos Usuários do Lago de Furnas

CBH - Comitê de Bacia Hidrográfica

CDE - Conta de Desenvolvimento Energético

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DAIA - Departamento de Avaliação de Impacto Ambiental

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DM - Decision Maker

DNAEE - Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica

ELETROBRAS - Centrais Elétricas Brasileiras S.A.

EIA - Estudo de Impacto Ambiental

EUA - Estados Unidos da América

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IFIM - Instream Flow Incremental Methodology

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão de Águas

IQA - Índice de Qualidade da Água

LI - Licença de Instalação

LO - Licença de Operação

LP - Licença Prévia

NEVE - Núcleo de Vazão Ecológica

OD - Oxigênio Dissolvido

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico

PCH - Pequena Central Hidrelétrica

PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

QUAL2E - The Enhanced Stream Water Quality Model

RIMA - Relatório de Impacto ao Meio Ambiente

SIN - Sistema Interligado Nacional

SP - São Paulo

STP - Sistemas para a Transposição de Peixes

TMDL - Total Maximum Daily Load

TVR - Trecho de Vazão Reduzida

UHE - Usina Hidrelétrica

UFES - Universidade Federal do Espírito Santo

USFWS - United States Fish and Wildlife Service

RESUMO

Esse trabalho teve por objetivo apresentar mecanismos para que se busque um melhor gerenciamento dos recursos hídricos, visando a mitigação de usos concorrentes, conforme decreta o inciso IV do artigo 1º da lei federal nº 9.433/97. No caso brasileiro, grande parte desses conflitos é oriunda da implantação das grandes usinas hidrelétricas. Assim, a água destinada para a geração de energia é o foco principal dessa monografia.

Nessa dissertação são dados dois enfoques: a vazão remanescente no trecho de vazão reduzida das centrais de desvio e os usos múltiplos da água nos grandes reservatórios.

No caso das Pequenas Centrais, a quantidade de água que deve permanecer no trecho curto – circuitado entre a barragem e a casa de força não estará disponível para a geração de energia, proporcionando um entrave entre empreendedores e órgãos ambientais, o primeiro interessado na maior quantidade possível para a geração e o outro preocupado em manter uma quantidade suficiente, visando o menor impacto. Somando - se a isso o fato de este caso ser carente de um parecer legal, pode ser verificado que quando se impõe uma vazão mínima a mesma se apresenta desprovida de argumentações científicas. Assim, buscando uma metodologia que incorporasse critérios ambientais, sociais, além dos técnicos e econômicos, encontrou-se nos métodos multicriteriais uma ferramenta que pudesse ser utilizada como auxílio à tomada de decisão.

Para aplicação da metodologia multicriterial, foi realizada uma consulta a vários especialistas de abrangentes áreas sob a ótica de 8 critérios e 11 alternativas sendo utilizados duas técnicas: Método de Programação por Compromisso (CP) e Teoria dos Jogos Cooperativos (CGT). Os dois métodos apresentaram resultados semelhantes, de tal modo que a utilização desse instrumento se mostrou eficaz.

O outro estudo de caso foi a Usina Hidrelétrica de Furnas, detentora de um reservatório que representa quase a metade da costa brasileira, de tal maneira que os intensos e duradouros esvaziamentos representam uma instabilidade no desenvolvimento de atividades sócio –econômicas no entorno. No início da década de 60, a usina instalada no curso médio do rio Grande alagou terras agrícolas pastoris, principal fonte econômica da época. No entanto, a construção do reservatório fez com que a população lindeira no entorno do “Mar de Minas” se adaptasse às novas condições impostas, dando início ao desenvolvimento de atividades turísticas na represa.

Mas o que parecia ser a solução para a retomada do desenvolvimento econômico da região não passou de ilusão. A exposição dos usuários do lago á freqüentes e duradouros rebaixamentos, trazendo uma grande insegurança e descontinuidade no que diz respeito ao

desenvolvimento, fere o disposto no inciso XII e §3º do art. 4º da Lei nº 9.984, de 2000. Este inciso diz que as condições de operação do reservatório de aproveitamento hidrelétrico serão definidas e fiscalizadas pela ANA, em articulação com o Operador Nacional do Sistema – ONS.

Assim, essa parte do trabalho, teve como objetivo formular uma regra de operação que melhor ponderasse tanto os interesses de jusante como os de montante, evoluindo para a fixação dos parâmetros de duração e frequência de transgressão para alguns níveis pré-estabelecidos, com intuito de haver maior sustentabilidade no desenvolvimento de atividades pela população ribeirinha, sem haver grandes perdas na geração de energia para a usina em estudo. Dessa maneira, não foi foco analisar o impacto causado na cascata.

Dando continuidade aos estudos elaborados, foram propostas regras de operação para que esses parâmetros fossem alcançados, sempre considerando um horizonte de planejamento de dez anos, demonstrando ser possível para as usinas hidrelétricas operarem de modo a atender o interesse de todos os usuários.

ABSTRACT

The objective of this work is to present mechanisms to search for better management of waterresources aiming at the mitigation of competing uses, as incise IV of the article 1° of the federal law 9.433/97. In the Brazilian case, a great part of these conflicts is deriving of the implantation of the great hudroelectric plants. Thus, the water destined to energy generation is the main focus of this monograph.

In this dissertation, two approaches are given: the remaining outflow in the stretch of the reduced outflow of the derivation centrals and the utilization of multiple uses of the water in the great reservoirs.

In the case of the Small Central offices, the amount of water that must remain in the short stretch - circuit between the dam and the power house will not be available for the energy generation, which will cause an impediment between entrepreneurs and environmental agencies, the former interested in the largest amount for generation and the latter worried about keeping a sufficient amount, aiming at a lesser impact, adding to this the fact that this case is devoid of a legal opinion, can be verified that when a minimum outflow is imposed, the same does not present cientific arguments. Thus, searching a methodology that incorporated environmental and social criteria, in addition to technician and economic criteria, a tool was found in the multicriterial methods that could be used as aid to decision making.

For application of the multicriterial methodology, a consultation to various specialists of comprehensive areas was made observing 8 criteria and 11 alternatives by means of two techniques: Method of Compromisse Programming (CP) and Theory of the Cooperative Games (CGt). Both methods presented similar results, in such way that the use of this instrument wa shown to be effective.

The other case study was the Furnas Hidropower Plant, which has a reservoir that represents almost half of the Brazilian coast, so muvh so that the intense and lasting reduction of level represent an instability in the development of social - economic atitivities developed on the board. In the early 60's, the plant installed in the medium course of Rio Grande flooded agricultural lands of 34 cities greatly harming the agricultural activities the main economic source at the time. However, the construction of the reservoir made the bordering population of "Minas Sea" adapt to the new imposed conditions, thus starting development of tourism at the dam.

But what it seemed to be the solution for the resumption of economic development of became only an illusion. The exposition of users lake to frequent and lasting degradations, a development to be gratly insecure and temporary. The so called planning, conflitcts with the

interpolated proposition XII and §3º of art. 4º of 9.984 law, of 2000. This interpolated proposition, mentions that the conditions of operation of the reservoir for hydroelectric exploration will be defined and inspected by the ANA, together with the National Operator of System - ONS.

Thus the objective of this part of the work was to formulate an operation rule that would better consider both the downstream and upstream interests, evolving to the setting of the parameters of duration and frequency of trespassing for some daily pre-established levels, so as to have greater sustainability in the development of activities by the marginal population, without having great losses in the generation of energy for the plant in study. Therefore, it was easy to analyze the impact on the cascade.

Finally rules of operation were proposed so that these parameters could be achieved, always considering a horizon of a ten - year planning, showing that it will be possible for the hydroelectric power plants to meet the interest of all users.

1 – INTRODUÇÃO

Ao longo de toda a história da humanidade, o desenvolvimento econômico e a diversidade da sociedade resultaram em usos múltiplos e variados dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Não só o aumento populacional e a aceleração da economia ampliam os usos múltiplos; o desenvolvimento cultural faz com que outras necessidades sejam incorporadas, resultando em impactos diversificados e de maior amplitude. Comum, em muitos países, é a visão religiosa da água, o que resulta, em alguns casos, na utilização em massa de rios e lagos sagrados para diversas atividades, Tundisi (2003).

No caso brasileiro, a água é aproveitada para diversas finalidades, como: abastecimento humano, dessedentação animal, irrigação, turismo, lazer, etc. Porém muitas vezes esses usos são concorrentes, gerando conflitos entre setores usuários, ou mesmo impactos ambientais, como os oriundos do setor elétrico.

Nossa matriz energética é composta, aproximadamente, por 90% de geração hídrica, deixando o restante distribuído entre a geração térmica, eólica e nuclear, provocando, no país, uma competição pela exploração do uso da água. Assim, gerir os recursos hídricos é uma necessidade para que se busque acomodar as demandas em níveis sustentáveis, de modo a permitir a convivência dos usos atuais e futuros da água. É nesse instante que o instrumento da outorga se mostra necessário, ganhando forte amparo legal com a Lei Federal 9.433 de 8 de janeiro de 1997, tornando –se um dos principais instrumentos para o gerenciamento das águas.

Em seu texto, Hora (2003) afirma que um dos grandes problemas brasileiros diz respeito ao desafio de se criar mecanismos jurídicos e administrativos de forma a compatibilizar a utilização de seus recursos ambientais com o desenvolvimento econômico e social de forma sustentável e duradoura. Neste sentido, o presente estudo busca contribuir na discussão deste tema, trazendo uma proposta de procedimentos para outorga pela utilização dos recursos hídricos com fins energéticos.

O próximo capítulo dedicado à outorga, aonde será demonstrado o processo para sua aquisição, o cálculo da vazão outorgável, bem como os aspectos legais que definem a quantidade de água que cada estado coloca a disposição dos usuários. Ainda nesse tópico, serão abordados alguns aspectos que podem ser utilizados como instrumentos que auxiliarão na determinação da vazão mínima a ser mantida no corpo d'água, com objetivo de se maximizar a exploração da água, minimizando os impactos ao meio ambiente.

Como neste trabalho o foco principal é a outorga que deve ser dada para os usuários de água que têm como destino principal a geração de energia, no terceiro capítulo será feito um

breve histórico da eletricidade no Brasil. Ainda neste capítulo, serão abordados de forma bem sucinta, todos os impactos oriundos da implantação dos reservatórios, principalmente os de ordem ambiental e social. Isto se faz fundamental neste trabalho, pois nos dias atuais, existe uma grande mobilização social no que diz respeito à preservação do meio ambiente, que deve ser perseguida, sem impedir a continuidade do desenvolvimento e implantação de novas tecnologias. Desse modo, ainda neste capítulo serão apresentadas algumas ações mitigadoras que vêm se apresentando com bastante eficácia.

No capítulo seguinte, é abordado um entrave pelo qual as Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCHs, vêm passando. Em alguns tipos de arranjo, devido à topografia do terreno, é necessário fazer o desvio do rio, com intuito de haver um maior aproveitamento da queda. Nesse caso, a quantidade mínima de água que deve ser mantida no trecho que se forma entre a casa de máquinas e a barragem, vem sendo objeto de muita discussão entre os órgãos ambientais e empreendedores. O caso estudado se refere a um empreendimento no estado de São Paulo, que vem enfrentando o problema, para obter a Licença Ambiental, referente à manutenção de um caudal mínimo. Com intuito de se buscar uma solução para o entrave existente, serão aplicados alguns métodos multicriteriais, que vêm apresentando resultados satisfatório, conforme apresentado no quinto capítulo.

Devido à peculiaridade de cada caso, e à abrangência dos aspectos envolvidos, a proposta deste trabalho convergiu, para aplicação de técnicas multicriteriais, como auxílio a tomada de decisão. Segundo Zuffo et al (2002), a necessidade de se analisar aspectos ambientais e sociais de difícil inserção e comparação com aspectos técnicos e econômicos vem apresentando bons resultados com a aplicação de métodos multicriteriais como auxílio na tomada de decisão. Neste trabalho, foram abordados 8 critérios e 11 diferentes alternativas para aplicação da Programação por Compromisso (CP) e Teoria dos Jogos Cooperativos (CGT).

No capítulo 6, serão abordados as questões do uso múltiplo integrado e os conflitos existente. O caso escolhido para abordagem do tema será a Usina Hidrelétrica -UHE de Furnas. Este empreendimento trouxe, ao longo dos anos, um grande benefício a todo o sistema elétrico, no que se refere a geração de energia. No entanto, o grande lago formado, que em extensão representa quase a metade da costa brasileira, vem ocasionando prejuízos enormes as atividades econômicas que se desenrolaram ao longo do reservatório. Neste capítulo, será abordada a questão do uso integrado dos recursos hídricos. Para que a apropriação da água seja realizada de forma harmônica, foi desenvolvida uma metodologia para que os reservatórios venham a trabalhar, de forma que se pondere o interesse de todos os

usuários que podem ser alcançados, caso as usinas sejam obrigadas a trabalhar em função da fixação da frequência e duração de transgressão para alguns níveis pré-estabelecidos, de tal modo que no capítulo seguinte foram sugeridas regras operativas de maneira a mostrar como esses parâmetros podem ser atingidos.

No último capítulo, foi apresentada uma proposição de outorga para os estudos de caso, ou seja, foi abordado o aspecto da vazão mínima no trecho de vazão reduzida nas PCHs e alguns itens que abordem a questão da frequência e duração de transgressão de lâminas de água para as grandes usinas.

2 – VAZÃO OUTORGÁVEL - DISPONIBILIDADE HÍDRICA

2.1 – OUTORGA

A outorga é o ato administrativo mediante o qual o Poder Público outorgante (União, Estados ou Distrito Federal) faculta ao outorgado o uso de recurso hídrico, por prazo determinado (não excedendo 35 anos, podendo ser renovável), nos termos e nas condições expressas no respectivo ato, que é publicado no Diário Oficial da União (caso da ANA), ou nos Diários Oficiais dos Estados ou Distrito Federal, onde o outorgado é identificado e estão estabelecidas as características técnicas e as condicionantes legais do uso das águas que o mesmo está sendo autorizado a fazer.

Desse modo, depois de concedido e regularizado o uso da água, é assegurado o efetivo exercício do direito de acesso à água, evadindo conflitos, certificando o controle quantitativo e qualitativo desse recurso.

Conforme preconiza o Artigo 12 da lei nº 9433, estão sujeitos à outorga pelo Poder Público os direitos dos seguintes usos de recursos hídricos:

I - derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;

II - extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;

III - lançamento, em corpo de água, de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;

IV - aproveitamento dos potenciais hidrelétricos;

V - outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.

No mesmo artigo, a lei determina que independentem de outorga, o uso de recursos hídricos para a satisfação das necessidades de pequenos núcleos populacionais, distribuídos no meio rural bem como as derivações, acumulações, captações e lançamentos considerados insignificantes, tanto do ponto de vista de vazão como de carga poluente. Os demais usuários devem dirigir-se ao órgão gestor e solicitar outorga para garantir seus direitos de uso de determinada vazão ou volume de água, de acordo com as especificidades de cada bacia hidrográfica.

Em corpos hídricos de domínio da União, a Agência Nacional de Águas - ANA é a responsável pela análise dos pedidos e emissão de outorgas de direito de uso dos recursos

hídricos. Em corpos hídricos de domínio dos Estados e do Distrito Federal, a solicitação de outorga deve ser feita às respectivas autoridades outorgantes estaduais.

Em nosso país, o modelo aplicado para a emissão de outorga, é o de controle por objetivos, onde se fixa a quantidade residual mínima em função de uma vazão referencial, que deve ser mantida a jusante de cada captação, respeitando as normas, conforme a dominialidade.

Em Minas Gerais, por exemplo, o Instituto Mineiro de Gestão de Águas – IGAM é o responsável pela emissão de outorgas, sendo adotado como referência a vazão mínima de sete dias consecutivos para um tempo de retorno de 10 anos - $Q_{7,10}$. A vazão a ser garantida à jusante de cada captação, no curso de água, em condições naturais, ou após regularização, deverá ser de 70% (setenta por cento) da $Q_{7,10}$. Isto significa dizer que esta é a vazão residual, que deve ser assegurada para a manutenção do meio biótico em cada seção de um curso de água.

2.2 – DEFINIÇÃO DAS VAZÕES

A água suporta funções de grande valor para os seres humanos. Estes papéis podem ser categorizados como: manutenção da saúde pública, desenvolvimento econômico, recreação e preservação do equilíbrio ecológico. Os serviços oferecidos pela água dependem de um certo grau de manutenção de suas características hidrológica, morfológica, química e ecológica. O balanço adequado entre utilização da água e manutenção de sua estrutura natural permite o uso continuado da água no presente e no futuro. Quando este balanço não é resguardado, funções exercidas pela água deixam de existir, com enormes prejuízos sociais.

Uma das variáveis requeridas para possibilitar a continuidade das funções oferecidas pela água é a manutenção de vazões mínimas que suportem o ecossistema aquático. Na literatura inglesa, vazões mínimas são freqüentemente denominadas de “instream flows minimum requirements”. Estas vazões são definidas através de valores numéricos que representam a quantidade de água que permanece no rio depois de retiradas para atender usos externos, tais como abastecimento público, industrial, irrigação e, em algumas instâncias, energia elétrica. Em algumas situações, vazões mínimas são também fixadas para atender atividades de recreação (Benetti et al., 2002).

Segundo Sarmiento e Pelissari (1999), a vazão residual dos rios no País, a ser considerada nos empreendimentos que envolvem o uso da água, não tem merecido muita atenção dos órgãos gestores. Esses autores recomendam o uso combinado de diversas metodologias, que visem à fixação de vazões residuais, o que poderia flexibilizar o percentual, ou mesmo alterar a vazão de referência.

Conforme afirma Santos¹ et al. (2003), dentro da gestão de recursos hídricos, tem-se a necessidade de se definir claramente diferentes vazões características, seja para a outorga de uso, seja para responder à preocupação ecológica, dentre outros. Para tanto, por vezes se utilizam métodos estatísticos e outros tantos métodos físicos. Há dois enfoques bem diferenciados nesses estudos: a visão qualitativa e a quantitativa. A primeira vê a qualidade da água ou do ambiente afetado, enquanto a segunda analisa a disponibilidade hídrica com relação ao seu volume, independente dos demais parâmetros.

A seguir se conceituam as vazões de referência, sanitária, ecológica e outorgável. As aplicações dessas definições irão auxiliar a definição de vazões mínimas a serem mantidas nos rios, visando à proteção do ambiente aquático, sendo essa associada a um determinado risco. No entanto, podem ser utilizados métodos hidrológicos, hidráulicos e ecológicos como instrumento de auxílio.

2.2.1 – VAZÃO DE REFERÊNCIA

A vazão de referência está associada a uma estimativa de vazão mínima, seja com base em históricos (métodos estatísticos) ou em níveis pré-estabelecidos (métodos físicos). Os métodos estatísticos, predominantemente, estabelecem uma vazão associada a um determinado risco aceitável, ou seja, uma probabilidade de se ter débitos inferiores a um valor estabelecido. Esta vazão tem sido utilizada como referência para outorga, pois, representando a vazão mínima, as demandas existentes, consuntivas ou não, terão garantia de atendimento dentro do risco estabelecido, e a vazão remanescente, a ser mantida no curso d'água, também será respeitada, no limite do mesmo risco.

Em outras palavras, será outorgável, no máximo, apenas uma parcela estabelecida dessa vazão de referência (mínima). Uma dos procedimentos mais aplicados por estudiosos é a curva de permanência, que é um método hidrológico de muita aplicabilidade com intuito de se obter essas vazões mínimas. Ela apresenta a frequência com que ocorrem valores iguais ou superiores aos valores de uma série temporal, garantindo que poderá contar com vazões iguais ou maiores do que a demanda que se deseja suprir. As principais vazões de referência associadas a essas metodologias são:

Q₉₀ - Indica uma vazão com permanência 90 % do tempo (risco de 10%), podendo ser com base diária ou mensal;

Q₉₅ - Indica uma vazão com permanência 95 % do tempo (risco de 5%), nas mesmas bases definidas;

Para Tucci (2001), o traçado da curva de permanência, que fornecerá os valores acima mencionados, será adquirido obedecendo ao seguinte procedimento:

- Ordene as vazões de ordem decrescente, atribuindo ordem 1 ao maior valor e a ordem n ao menor, em uma amostra de tamanho n;
- Compute a frequência com que cada valor ordenado é excedido ou igualado (permanência), como $100.(m/n)$, sendo m sua ordem e n o tamanho da amostra;
- Graficar a série ordenada em escala decimal, com a escala de permanência representada no eixo horizontal.

Outra metodologia muito aplicada, é a do $Q_{7,10}$, que representa a vazão média das mínimas de 7 (sete) dias consecutivos para um período de recorrência de 10 (dez) anos. O procedimento adequado para determinação da vazão mínima vai depender do tipo de objetivo a ser alcançado. Várias são as distribuições teóricas (Normal, Log-Normal, Gamma, Gumbel e Weibull ou Extremo tipo III), no entanto, a distribuição comumente utilizada é a distribuição Extremos I (ou Gumbel, como é mais conhecida) que é calculado obedecendo ao seguinte procedimento:

- 1) Obtêm-se as séries de vazões diárias;
- 2) Organizam-se valores diários, de cada ano em ordem cronológica (de 01/jan a 31/dez);
- 3) Calcula-se a média móvel de sete dias para o ano todo. O primeiro valor da média móvel é a média aritmética do dia 01 a 07/jan. O segundo valor será a média entre os dias 02 a 08/jan. Sucessivamente até o último valor, média de 25 a 31/dez;
- 4) Seleciona-se o menor valor da média móvel calculada, para cada ano da série. Esta será a vazão mínima de 7 dias do ano;
- 5) Repete-se os passos de 2 a 4 para todos os anos da série, tendo-se então a série de vazões mínimas de 7 dias.

Após a obtenção de todos os valores mínimos, calcula-se a média (\bar{Q}) e o desvio padrão (s) desta série. Para esta distribuição foram calculados os parâmetros μ e α . Onde o parâmetro α é de escala e o parâmetro μ de locação. Os eventos da distribuição de Gumbel (esperança e variância) que deverão ser usados para estimativas de μ e α , são:

$$E [Y] = \mu + 0,577 / \alpha \quad (2.1)$$

$$VAR [Y] = \pi^2 / (6\alpha^2) = 1,645 / \alpha^2 \quad (2.2)$$

O ajuste da distribuição, é feito pela substituição dos $E [Y]$ e $VAR [Y]$ por suas estimativas amostrais \bar{x} e s^2 . Como resultado obtém-se:

$$\alpha = 1,286 / s \quad (2.3)$$

$$\mu = \bar{x} - 0,451.s \quad (2.4)$$

sendo $\bar{x} = \bar{Q}$

Após a obtenção das estimativas amostrais, a vazão é associada a um tempo de retorno, através da seguinte relação:

$$Q = \mu - \frac{1}{\alpha} \times \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (2.5)$$

Thomann e Mueller citado por Benetti (2002) dizem que essa vazão de referência vem sendo utilizada para determinar-se a eficiência com que poluentes devem ser removidos em estações de tratamento de águas residuárias para que não ocorra a violação dos padrões de qualidade em corpos receptores. Entretanto, quando se utiliza um pequeno valor de referência, como no caso do $Q_{7,10}$ se obtêm maior garantia de que não haverá falhas de atendimentos às demandas, em contrapartida, uma vazão considerável não será utilizada, podendo acarretar conflitos pela utilização desta abundância de água disponível.

2.2.2 – VAZÃO OUTORGÁVEL

A quantidade de água destinada aos usuários normalmente se refere a um somatório da porcentagem da vazão de referência, garantindo uma vazão remanescente no curso d'água suficiente para atender outros usuários da mesma bacia hidrográfica, seja à montante ou jusante do ponto de outorga.

Santos¹ et al (2003), afirma que, com a evolução das ciências ambientais e dos conceitos de regulação do uso da água, é que se têm desenvolvido procedimentos e parâmetros para a definição da vazão aplicável para outorga de empreendimentos que fazem uso da água. No entanto, ainda não existe um procedimento que considere os usos da água de forma integrada, definindo as conseqüentes vazões outorgáveis suficientes para manter o equilíbrio da disponibilidade hídrica na bacia como um todo, considerando um plano de desenvolvimento futuro. Esta é a dificuldade vivida para se regulamentar a disponibilidade hídrica para geração hidrelétrica prevista na lei da ANA (lei nº 9.984, 17 de julho de 2000).

O que se tem, mesmo assim sem consenso, é a fixação de um percentual outorgável (K_o) da vazão de referência, apresentado na tabela 2.1, que mostra a disparidade dos critérios adotados em diferentes estados brasileiros.

Tabela 2.1 - Resumo de critério de outorga de alguns estados

Estado / Ato	Critério da vazão de referência	Vazão Residual
Alagoas Decreto nº 6 de 21 de janeiro de 2001	A soma dos volumes d'água outorgados numa determinada bacia não poderá exceder a nove décimos da vazão regularizada anual, com noventa por cento de garantia.	No mínimo 10% das vazões regularizadas deverão escoar à jusante

Estado / Ato	Critério da vazão de referência	Vazão Residual
Bahia Decreto nº 6296 de 21 de março de 1997	O somatório dos volumes a serem outorgados corresponde a 80% da vazão de referência do manancial; das vazões regularizadas com 90% de garantia, dos lagos naturais ou naturais ou de barramentos implantados em mananciais perenes ou 95% de Q_{90} dos lagos naturais ou de barramentos implantados em mananciais intermitentes e para o abastecimento humano	Estará garantida no mínimo entre 5 e 20% das vazões regularizada a jusante.
Ceará Decreto nº 23.067 11 de fevereiro de 1994	O valor de referência será a descarga regularizada anual com garantia de 90%. O somatório dos volumes a serem outorgados corresponde a 80% da vazão de referência do manancial e nos casos de abastecimento humano, pode - se atingir 95%.	20% das vazões regularizadas deverão escoar para jusante
Distrito Federal Decreto nº 21.007 de 18 de fevereiro de 2000	O valor de referência será a descarga regularizada anual com garantia de 90%. O somatório dos volumes a serem outorgados corresponde a 80% da vazão de referência do manancial e nos casos de abastecimento humano, pode - se atingir 95%.	Deverão escoar para jusante, 20% das vazões regularizadas
Minas Gerais Portaria nº 10 do IGAM de 1998	O somatório dos volumes a serem outorgados corresponde a uma percentagem fixa em 30% da $Q_{7,10}$, Quando o curso de água for regularizado o limite de outorga poderá ser superior a 30% da $Q_{7,10}$ aproveitando o potencial de regularização, desde que seja garantido um fluxo residual mínimo à jusante, equivalente a 50% (cinquenta por cento) da vazão média de longo termo.	Ficam garantidas, as jusantes de cada derivação, vazões mínimas equivalentes a 70% da $Q_{7,10}$.
Paraíba Decreto nº 19.260, de 31 de outubro de 1997	A soma dos volumes de água outorgados numa determinada bacia não poderá exceder 9/10 (nove décimos) da vazão regularizada anual com 90% (noventa por cento) de garantia.	Está garantido no mínimo 10% de Q_{90} .

Estado / Ato	Critério da vazão de referência	Vazão Residual
Paraná Decreto nº 4.646, de 31 de agosto de 2001	O volume permissível de captação de água direta deve ser menor do que 50% do $Q_{7,10}$,	Vazão mínima à jusante maior do que 50% do $Q_{7,10}$.
Rio de Janeiro Portaria Serla nº 273 de 11 de dezembro de 2000	O somatório dos volumes a serem outorgados corresponde a uma percentagem fixa em 80% do $Q_{7,10}$ do curso de água junto à seção de interesse, para captação com fins de abastecimento humano; e 50% do $Q_{7,10}$ do curso de água junto à seção de interesse para os demais casos de uso consuntivo.	Deverá escoar a jusante, no mínimo 20% do $Q_{7,10}$ no caso de abastecimento humano e 50% da mesma vazão de referência, para demais usos consuntivos
Rio Grande do Norte Decreto nº 13.283 de 22 de março de 1997	O valor de referência será a descarga regularizada anual com garantia de 90%. O somatório dos volumes a serem outorgados não poderá exceder 9/10 da vazão regularizada anual com 90% de garantia.	20% das vazões regularizadas deverão escoar para jusante
Rio Grande do Sul Decreto nº 6.296 de 21 de março de 1997	O valor de referência será a descarga regularizada anual com garantia de 90%. O somatório dos volumes a serem outorgados corresponde a 80% da vazão de referência do manancial e; 95% das vazões regularizadas com 90% de garantia, dos lagos naturais ou barragens implantados em mananciais intermitentes.	20% das vazões regularizadas deverão escoar para jusante

Analisando a legislação estadual do Espírito Santo, verifica-se que o Decreto nº 4.489, de 13 de julho de 1999 (Art. 6º, VII) determina que a vazão residual da barragem deverá ser, no mínimo, igual ao menor valor comparativo entre o $Q_{7,10}$ e a vazão mínima medida em período de seca, calculada para aquela seção do curso d'água, que deverá constar no projeto técnico, garantindo o uso múltiplo à jusante e a manutenção do ecossistema aquático.

Em São Paulo, a Lei nº 9.034, de 27 de dezembro de 1994 (Art. 13, I) implementa a vazão de referência, para orientar a outorga de direitos de uso de recursos hídricos, com base no $Q_{7,10}$ e nas vazões regularizadas por reservatórios, descontadas as perdas por infiltração, evaporação ou por outros processos físicos, decorrentes da utilização das águas e as reversões de bacias hidrográficas. Já o artigo 14 da mesma lei estabelece, como regime geral, que o

somatório das vazões captadas não deve superar 50% (cinquenta por cento) da respectiva vazão de referência. A partir deste potencial exige-se um gerenciamento especial.

Observando todos os critérios adotados pelos estados brasileiros, pode ser observado que o Instituto Mineiro de Gestão de Águas –IGAM, em Minas Gerais, vem adotando a medida mais conservadora, outorgando apenas 30% do $Q_{7,10}$, sendo um dos estados que detêm maior disponibilidade hídrica.

O Código de Águas (Decreto nº 24.643 de 1934), em seu Artigo 143, já estabelecia que todos os aproveitamentos de energia hidráulica deverão satisfazer as exigências acauteladoras dos interesses gerais como: Alimentação e necessidades das populações ribeirinhas, salubridade pública, irrigação, proteção contra as inundações, conservação e livre circulação do peixe e o escoamento e rejeição das águas. Devendo ainda atender a outros aspectos, como beleza cênica e paisagística do rio. Em outras palavras, a vazão outorgável leva em consideração parâmetros quantitativos e qualitativos, como será mostrado no item a seguir, sendo estes tangíveis ou não.

No setor elétrico, vigorou durante muito tempo, as Normas 2 e 3 do DNAEE - Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica, de 7/07/1997, para Aprovação de Projetos de Geração Hidrelétrica para Uso no Serviço Público e Exclusivo de Particulares, que no seu artigo 3.7. previa:

“Na elaboração dos estudos e na concepção do Projeto Básico deverá ser considerado que a vazão remanescente no curso d’água, à jusante do barramento, não poderá ser inferior à 80% da vazão mínima média mensal, caracterizada com base na série histórica de vazões com extensão de, pelo menos, 10 anos....”.

Porém, segundo Santos¹ et al.(2003), era prática usual no antigo DNAEE outorgar até o limite de 70% de $Q_{7,10}$, embora o sistema de outorga de então fosse bastante frágil, sendo incipientes as experiências vividas e estudadas.

Para o caso de Pequenas Usinas Hidrelétricas a Norma nº 4, Norma de Projetos de Geração de PCH, no item 3, subitem 3.9 estipula que na elaboração de estudos e na concepção do projeto, deverá ser considerado que a vazão remanescente no curso d’água, à jusante do barramento, não poderá ser inferior à vazão mínima média mensal calculada com base nas observações anuais no local previsto para o barramento, de acordo com o Manual de PCH – Eletrobrás/DNAEE. Mortari, (1997).

2.2.3 – VAZÃO SANITÁRIA

A vazão sanitária é aquela que deve ser mantida no curso d'água visando a preservar a qualidade da água compatível com seus usos à jusante, sendo estes estabelecidos por critérios normalizados.

A Resolução 20/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, por exemplo, estabelece nove classes de qualidade para águas doce, salobra e salinas, segundo sua destinação, definindo valores toleráveis de alguns parâmetros físico-químicos, (como exemplo: coliformes, cor, turbidez, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e oxigênio dissolvido (OD)) e considera que a condição crítica de vazão para estudos sobre a capacidade de autodepuração dos corpos de água é o $Q_{7,10}$. A determinação dessa vazão está associada a processos de lançamento de efluentes no corpo d'água envolvido, sendo necessária uma vazão mínima suficiente para garantir a diluição e autodepuração desses efluentes, permitindo a disposição de uma água de boa qualidade à jusante.

Um dos artifícios mais aplicados é o modelo matemático conhecido como "The Enhanced Stream Water Quality Model - QUAL2E", desenvolvido pelo "Center for Water Quality Modeling - Environmental Research Laboratory (Athens, Georgia) da Environmental Protection Agency – EPA por Brown e Barnwell em 1987".

Segundo Bezerra (2001), o QUAL2E é um método sanitário, bastante utilizado, capaz de simular um número grande de constituintes de qualidade da água, considerando que estão completamente misturados ao escoamento. O modelo assume que os principais mecanismos de transporte, advecção e dispersão, são significativos apenas ao longo da direção principal do escoamento (eixo longitudinal do rio ou canal). Em uma simulação, podem ser considerados vários pontos de lançamento (cargas industriais e domésticas), captações, entradas de tributários e de vazões incrementais, que podem ser positivas (contribuição do aquífero para o rio ou escoamento superficial que chega a calha do rio em um determinado trecho) ou negativas (contribuição do rio para o aquífero e retiradas de água). O modelo pode ser operado como permanente ou dinâmico. Quando operado na forma permanente, pode ser usado para estudo do impacto dos despejos (magnitude, qualidade e localização) na qualidade da água do rio. Na forma dinâmica, permite o estudo dos efeitos das variações diurnas dos dados meteorológicos na qualidade da água (oxigênio dissolvido e temperatura) e das variações do oxigênio dissolvido devido ao crescimento e respiração das algas.

O modelo pode simular no máximo 15 constituintes de qualidade da água em qualquer combinação desejada pelo usuário. Estes constituintes são: Oxigênio dissolvido, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Temperatura, Algas, Nitrogênio Orgânico, Amônia, Nitrito,

Nitrato, Fósforo Orgânico, Fósforo Dissolvido, Coliformes, Constituinte não conservativo (arbitrário) e três constituintes conservativos.

Também permite o cálculo das vazões necessárias para diluição quando um nível mínimo, pré-fixado, de oxigênio dissolvido não for alcançado. Para o caso específico da demanda bioquímica de oxigênio e do oxigênio dissolvido, analisa a biodegradação da matéria carbonácea, demanda bentônica e sedimentação da matéria orgânica.

Outro modelo qualitativo bastante desenvolvido nos Estados Unidos, segundo Neves e Porto (2003), objetivando ao enquadramento de corpos d'água, é o "Total Maximum Daily Load – TMDL". O TMDL procura definir a carga máxima diária de um determinado poluente que pode ser produzido e lançado nos corpos d'água, sem que haja comprometimento à qualidade da água necessária para atendimento aos usos designados, promovendo excelentes oportunidades de gestão, ao considerar visões alternativas de decisões no gerenciamento de bacias, baseados na qualidade da água.

Os principais desafios referentes ao TMDL estão relacionados diretamente ao controle de cargas difusas, no que se refere a sua implementação, monitoramento e aplicação.

Assim, no Brasil, que enfrenta o desafio do tratamento de suas fontes poluidoras pontuais, que são bastante conhecidas, enquanto que as técnicas estruturais para a minimização da poluição difusa, são ainda pouco difundidas, o princípio contido no TMDL seria importante, pois reconhece que as fontes pontuais não são as únicas culpadas pela degradação da qualidade das águas e que as fontes difusas têm sua responsabilidade no processo.

O Programa do TMDL procura relacionar ambos os tipos de fontes, mas é necessário realizar adaptações ao modelo para ajustá-lo à realidade nacional.

2.2.4 – VAZÃO ECOLÓGICA

A vazão ecológica é aquela que atende às exigências da biota enfocada, seja mantendo as condições existentes antes da intervenção antrópica, seja para garantir condições estabelecidas, que busquem mitigar os impactos dessa intervenção. Assim, é necessário estabelecer claramente os impactos de tal ação antrópica, definindo a vazão que atenuaria esses efeitos. Por exemplo, enfocando somente a ictiofauna, a vazão dimensionada para escoar através do sistema de transposição, no caso de ser escada, podendo ser utilizada como referência a ser mantida ao longo do corpo d' água. Da mesma forma, a lâmina d' água, em trechos de grande declividade, pode ser reduzida significativamente sem afetar a mata ciliar, pois esta tem seus sistemas radiculares irrigados pela água subterrânea, normalmente fluindo dos pontos de mais altos potenciais (do topo para as margens).

Segundo Bezerra (2001), historicamente o aspecto de proteção do ecossistema aquático tem sido limitado nos estudos de vazões mínimas. Entretanto, a consideração do fator ambiental é importante como forma de conservar a diversidade das espécies e a integridade ecológica do ecossistema aquático. Assim, a vazão ecológica é aquela que deve ser mantida no corpo d' água, visando atender às exigências da biota enfocada, seja mantendo as condições existentes antes da intervenção antrópica, seja para garantir condições estabelecidas, que busquem mitigar os impactos dessa intervenção. Deste modo, é necessário estabelecer claramente os impactos de tal ação antrópica, definindo a vazão que atenuaria esses efeitos.

No Brasil, os estudos pioneiros sobre vazões mínimas garantidas, levando em consideração as questões ecológicas, vêm sendo desenvolvidos pelo Núcleo de Vazão Ecológica – NEVE, na Universidade Federal do Espírito Santo – UFES no rio Timbuí. Entre os métodos mais utilizados com intuito de se obter o caudal necessário para obtenção da vazão ecológica, temos os Método do “WRRI Cover”, o Método de Washington, Método da Califórnia, Método de Oregon, e o método “Instream Flow Incremental Methodology” (IFIM).

O método Montana (Tennant), é um dos modelos hidrológicos mais utilizados nos EUA, sendo desenvolvido por Tennant em 1976 no “United States Fish and Wildlife Service” - USFWS. Esse método recomenda vazões mínimas garantidas para espécies aquáticas relacionados, em função de percentagens de vazão média anual divididas em categorias que variam de acordo com as condições gerais de qualidade do habitat. O método também recomenda vazões máximas periódicas para possibilitar o transporte de sedimentos do leito do rio. A vazão média anual e o perímetro molhado, que forma a base conceitual dessa metodologia, foram desenvolvidos por meio de estudos de campo conduzidos em rios, nos estados americanos de Montana, Wyoming e Nebraska em um período de dez anos. Esse estudo intensivo revelou que a condição do habitat aquático era notavelmente similar na maioria dos rios estudados que portavam a mesma porção de vazão média anual. Essa correlação foi, posteriormente, verificada por vários outros estudos em rios de 21 estados por um período de 17 anos (Tharme, 1996).

Esse método foi desenvolvido por meio de estudos da variação na percentagem de largura, profundidade e velocidade em relação à redução da vazão média anual (Cassie e El-Jabi, 1995).

Em seu texto, Tennant (1976), diz que a aplicação desse método envolve as seguintes etapas:

- Determinação da vazão média anual da bacia hidrográfica no local de interesse;
- Estudo do corpo d'água quando a vazão no mesmo for aproximadamente, 10%, 30% e 60% da vazão média anual. Esses estudos correspondem a documentação com fotografias dos vários tipos de habitat, e as medições em seções transversais, características da largura, profundidade e velocidade de escoamento do leito do rio.

A tabela 2.2 apresenta os resultados encontrados por Tennant, em seus estudos desenvolvidos nos EUA que, segundo o autor, deve ser estendida sua aplicabilidade a rios de qualquer parte do mundo.

Tabela 2.2 - Recomendações de vazão mínima garantida, a partir de categorias de percentagem de vazão média anual do método de Montana, para espécies aquáticas, recreação e recursos ambientais relacionados (Tennant, 1976)

Descrição das vazões	Regimes de vazões mínimas recomendadas ⁽¹⁾	
	Outubro – Março ⁽²⁾	Abril – Setembro ⁽³⁾
Máxima ⁽⁴⁾	200%	200%
Ótima	60-100%	60-100%
Excepcional	40%	60%
Excelente	30%	50%
Muito boa	30%	50%
Boa	20%	40%
Suficiente	10%	30%
Mínima	10%	10%
Degradação elevada	0-10%	0-10%

⁽¹⁾ Percentagem em relação à vazão média anual.

⁽²⁾ Período de seca.

⁽³⁾ Período de chuva.

⁽⁴⁾ Vazão recomendada para lavagem do leito do rio (transporte dos sedimentos).

Como resultado dessas medidas, Tennant concluiu que 10% da vazão média anual seria a vazão mínima instantânea necessária para manter o habitat saudável, por um curto período de tempo, constituindo –se nas condições de habitat necessárias à sobrevivência da maior parte das espécies aquáticas.

Para uma vazão de 30% da vazão média anual, o habitat mantém condições boas para a vida aquática dos rios estudados. As larguras, profundidades e velocidades são geralmente, satisfatórias, e parte significativa do leito se mantém coberta e os peixes maiores não tem mais problemas para circulação.

Já para 60% da vazão média anual, são mantidas condições excelentes dos habitat e as formas de vida aquática e para a maioria dos usos recreativos. Esse método tem a virtude de

necessitar somente de dados de vazões médias anuais para a sua aplicação. Contudo, é sujeito a muita subjetividade a sua aplicação.

O método da Nova Inglaterra ou da Vazão Básica – ABF, é um método hidrológico desenvolvido pelo USFW em 1981 que surgiu a partir do método de Montana. De acordo com as citações feitas por (Cassie e El-Jabi, 1995), o método tem como hipótese básica, que a mediana das vazões mensais (Q_{50}), para o mês mais seco, é suficiente para a proteção da biota aquática. Essa hipótese, segundo Gonçalves et al (2003), só pode ser aplicada quando a área de drenagem da bacia for maior que 130 km^2 e a série histórica de vazões for igual ou superior a 25 anos de registro. Isso porque os estudos indicaram que, para bacias com áreas menores, o Q_{50} proporcionava vazões muito reduzidas.

Quando o critério acima não for cumprido, usa-se outro critério baseado em um percentual que representa a vazão específica produzida pela área de drenagem da bacia. A tabela 2.3 mostra os critérios e valores a serem utilizados para se calcular a vazão mínima garantida a partir do método ABF.

Tabela 2.3. - Vazões mínimas garantidas recomendadas pelo método ABF

Período	Registro de séries históricas	
	< 25 anos	> 25 anos ⁽¹⁾
Abril – Junho ⁽²⁾ (primavera)	0,0437 $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$	100% ⁽³⁾
Junho – setembro (verão)	0,0055 $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$	100%
Outubro – março (outono)	0,0109 $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$	100%

⁽¹⁾ Rio natural, com bacia hidrográfica superior a 130 km^2

⁽²⁾ Períodos de postura (desova) e incubação (germinação dos ovos) dos peixes

⁽³⁾ Mediana das vazões mensais (mês mais seco)

Vale ressaltar que a vazão mínima garantida é determinada em função dos registros históricos de vazão média do mês de agosto, mês que corresponde, à média mais baixa na Nova Inglaterra. (Karim et al., 1996).

Outra metodologia que vem sendo implantada com a finalidade de se determinar a vazão mínima garantida em cursos d'água é o **Método do Perímetro Molhado** "Wetted Perimeter Method". Esta é uma técnica baseada em critérios hidráulicos que se baseia na existência de uma relação direta entre o perímetro molhado e a disponibilidade de habitat para a ictiofauna. Esse método baseia-se na definição das seções transversais em locais onde se julga haver grande variação da superfície do corpo de água com a vazão. Em seguida são realizadas medições de profundidade e vazão. A partir de então, é construído um gráfico que relaciona as duas grandezas medidas. Identifica-se então, o principal ponto de inflexão da curva em que o aumento da vazão recomendada traduz-se em um aumento pouco significativo do perímetro.

O "Wetted Perimeter Method", um dos mais utilizados, tem a grande vantagem de necessitar de pouco trabalho de campo e também facilita a regionalização da vazão residual a ser recomendada como uma função da vazão média ou da superfície da água. Contudo existem dois problemas básicos com o método. O primeiro se refere à determinação do ponto de inflexão da curva, em que se fundamenta o método, por não ser de fácil percepção; O segundo problema é que o ponto de inflexão da curva é altamente dependente da inclinação do rio, e as conseqüências biológicas da locação do ponto de inflexão são também dependentes dessa inclinação. Para os canais com seções retangulares, o ponto de inflexão ocorre para uma profundidade muito pequena, próxima ao valor zero, não sendo ideal sob o ponto de vista biológico Pelissari, (1999).

O Método Incremental é a metodologia mais aplicada no mundo e determina a vazão mínima por meio de cruzamento de informações biológicas e modelos hidráulicos. Esse método ecológico surgiu com intuito de suprir as falhas encontradas nos métodos hidráulicos e hidrológicos, visando à maximização da população de peixes. Segundo Sarmiento e Pelissari, (1999), esse método foi desenvolvido sob a orientação do U.S. Fish and Wildlife Service e integra os conceitos de planejamento de derivação de água, modelos analíticos da hidráulica e da qualidade de água e empiricamente estabelece as funções de habitat e vazões. O IFIM é o instrumento mais utilizado pelos gestores dos recursos hídricos para a determinação da vazão residual nos rios, objetivando a maximização da população de peixes, sendo aplicado não só a estudos de vazões ecológicas, mas também a estudos de impactos ambientais.

Bovee et al. (1998) apresenta quatro etapas seqüenciais para aplicação do IFIM cujos principais tópicos estão abordados abaixo:

Fase 1 - Diagnóstico e identificação do problema:

- Análise legal e institucional
- Análise Física

Fase 2 - Planejamento do estudo:

- Seleção das metodologias adequadas
- Seleção da área, local e época das amostragens
- Escolha das espécies para estudo
- Determinação das variáveis ambientais de interesse

Fase 3 - Implementação dos estudos

- Concepção dos modelos (hidrológicos, geomorfologia do canal, temperatura da água, qualidade de água)
- Seleção das espécies

- Época de amostragem
- Calibração dos modelos
- Síntese dos resultados

Fase 4 - Análise das alternativas e resolução do problema (Determinação da vazão mínima garantida)

- Estratégias
- Riscos
- Economia

A maior crítica do modelo IFIM é a falta de evidência de que a existência abundante de habitat adequado para peixe resultará, necessariamente, numa população abundante de peixes do mesmo rio. A grande vantagem do modelo é a sua simplicidade, custo relativamente baixo, e permite aplicação regional, Sarmiento e Pelissari (1999).

Já Bartholow (1989), afirma que a temperatura da água tem influência direta no que diz respeito a qualidade da água, distribuição geográfica de peixes e outros organismos aquáticos. No entanto esse fator que sofre influência direta à jusante da implantação dos reservatórios não vem ganhando importância. Além disso, o autor garante que uma brusca diminuição do nível de água causa o aumento da temperatura, trazendo impactos imensuráveis.

Contudo pode ser visto que os métodos hidrológicos e hidráulicos estão relacionados ao tamanho do rio, tendendo a manter as características antes da intervenção e se fundamentam no princípio de que os impactos estão diretamente relacionados à redução de vazão, recomenda-se aplicabilidade usual nos rios onde não se tem um estudo profundo sobre o ecossistema. Já os métodos ecológicos tendem a se preocupar mais com a velocidade e profundidade que serão mantidas ao longo do curso d'água, tendo como foco a manutenção de alguns tipos de espécies ou usos específicos.

O Método das vazões anuais mínimas de 7 dias é um método hidrológico que vem tendo muita aplicabilidade na Inglaterra. Neste caso a vazão de referência é a mínima das médias móveis das vazões diárias com janelas de 7 dias ao longo de cada ano hidrológico. O valor adotado como mínimo será a média de todos os valores para toda a série histórica. Diferentemente do $Q_{7,10}$ esse método não associa essas vazões a um determinado tempo de retorno. Habitualmente, adota-se percentual outorgável, uma variação entre 50 e 100% desse valor. No caso de não haver dados da série histórica de vazões, Larson apud Benetti et al., (2002), determinaram na Nova Inglaterra, EUA as vazões residuais em função da área de drenagem da bacia hidrográfica, chegando a um valor de $5,5 \text{ l/s.Km}^2$ de área de drenagem.

3 – USINAS HIDRELÉTRICAS

3.1 – ASPECTOS LEGAIS

A geração de energia, utilizando como fonte primária a água, se baseia na construção de uma central hidroelétrica, onde se realiza a transformação em potência elétrica com um rendimento global em muitos casos superior a 90% da potência hidráulica contida no produto ($Q \times h$) do caudal turbinado (m^3/s) pela altura de queda (m), constituindo a roda de uma turbina associada a um alternador, o elemento primário desta transformação.

A história da hidroeletricidade brasileira tem seus primeiros registros nos últimos anos do Império, impulsionados pelo desenvolvimento do país, provocado pela elevação das exportações e pela conseqüente modernização da infra-estrutura e dos serviços brasileiros. A operação da Usina de Ribeirão do Inferno, no ano de 1883, inaugurou a hidroeletricidade brasileira. A evolução do parque gerador, que ocorreu a partir daquele empreendimento, esteve intimamente atrelada aos ciclos de desenvolvimento nacional. Os períodos de maior crescimento implicavam aumento da demanda de energia. Igualmente as épocas recessivas afetaram diretamente o ritmo de implantação de novos empreendimentos. Nos primórdios da hidroeletricidade, há relatos de pequenas usinas com pouca potência, destinadas a usos privados em moinhos, serrarias e algumas tecelagens. A grande concentração dessas usinas ocorreu em Minas Gerais, disseminando-se na direção sudeste, até chegar a São Paulo.

A opção pelas usinas hidrelétricas, foi a trajetória tecnológica escolhida pelo país em razão da ampla disponibilidade de potenciais hidráulicos, a custos não excessivamente elevados e, sobretudo, em razão da falta de disponibilidade nacional de combustíveis fósseis. Hoje, a participação hidrelétrica, fonte primária comum para a geração de energia elétrica no Brasil, alcança cerca de 90%. Em termos mundiais, o óleo combustível derivado de petróleo e o carvão mineral são responsáveis em conjunto por mais de 60% da produção de energia elétrica, sendo o carvão mineral, individualmente, responsável por mais de 40% da produção. Ambos os combustíveis, no entanto, não constituem, no Brasil, alternativas competitivas de geração frente ao gás natural.

Por volta de 1950, a construção de barragens foi impulsionada, à medida que a população aumentava e a economia nacional crescia. Pelo menos 45.000 grandes barragens foram construídas para atender demandas de água ou energia. Hoje quase metade dos rios do mundo tem pelo menos uma grande barragem.

Na entrada do novo século, um terço dos países do mundo depende de centrais hidroelétricas para produzir mais da metade da sua eletricidade em que as grandes barragens geram 19% de toda a eletricidade do mundo.

É sabido que a experiência vivida pelos países desenvolvidos aponta para a necessidade de um meio de incentivo para tornar as Fontes Alternativas competitivas em relação as Fontes Convencionais. No Brasil em particular, este aspecto se reveste de maior gravidade pelo baixo custo da energia de origem hidráulica, hoje a maior parte amortizada, e pela incorporação de energia térmica com o uso de gás natural cujo preço é bastante elevado se comparado com o da energia de origem hidráulica. No entanto, há o risco de aumento do preço do gás natural importado, em razão da variação cambial e, por outro lado, não havendo garantias de repasse desse aumento para a tarifa, que faz com que os investidores venham tendo dificuldades em viabilizar as operações de financiamento, principalmente junto aos agentes internacionais.

Cabe a Agência Nacional das Águas – ANA, órgão Federal responsável pela implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e pela Coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, segundo a Lei Federal nº 9.984/2000, autorizar o uso dos recursos hídricos nos corpos d’água de domínio da União. A autorização deve ser feita através do regime de licitação aberta a empresas ou instituições, que obterão uma concessão para construção e operação de usinas hidrelétricas. Tal concessão deve ser licitada pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, que viabiliza, junto à ANA, a obtenção prévia de declaração de reserva de disponibilidade hídrica.

Segundo o manual de PCHs das Centrais Elétricas Brasileiras - ELETROBRAS, (2004) os aspectos institucionais e legais, de interesse à realização do Projeto Básico deverão ser considerados, desde o registro até a “aprovação do estudo” pela ANEEL e abrangem uma faixa ampla da legislação vigente, tendo como linhas mestras a “Constituição da República Federativa do Brasil”, de 1988, o “Código de Águas” – Decreto nº 24.263, de 10 de julho de 1934, Lei 8.987 de 13 de fevereiro de 1995, Lei 9.427 de 26 de dezembro de 1996 que instituiu a ANEEL e a legislação complementar.

De acordo com a Constituição Federal, os potenciais de energia hidráulica constituem bens da União (Capítulo II, art. 20, inciso VIII). De acordo ainda com a Constituição, compete à União explorar diretamente, ou mediante autorização, concessão ou permissão, o aproveitamento energético dos cursos d’água, em articulação com os Estados onde se situam os potenciais hidroenergéticos (Capítulo II, art. 21, inciso XII, alínea b).

Do ponto de vista legal, o Projeto Básico representa a condição para a obtenção da autorização/concessão para exploração do aproveitamento hidrelétrico. Para o desenvolvimento do Projeto Básico desse aproveitamento, o interessado deve encaminhar à ANEEL os documentos necessários ao registro dos estudos em conformidade com a

Resolução ANEEL nº 395 de 04 de dezembro de 1998. O Relatório Final do Projeto Básico deve ser submetido à aprovação da ANEEL, dando o parecer final para exploração do aproveitamento hidrelétrico.

Adicionalmente, a obtenção da concessão para exploração dos recursos hídricos deve estar de acordo com o previsto nas leis nº 9.074/95 e nº 9.984/2000 e nos decretos nº 1.717/95 e nº 2.003/96.

Atualmente, os empreendimentos hidrelétricos estão enquadrados, conforme Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998. No entanto a necessidade de estabelecer condições, visando a estimular o desenvolvimento de estudos, projetos e construção de centrais hidrelétricas de potência igual ou inferior 30.000 KW, fez surgir a resolução nº 394, de 04 de dezembro de 1998, de conformidade com o previsto no art. 4º da mesma lei.

O artigo Art. 2º dessa resolução, classifica os empreendimentos hidrelétricos com potência superior a 1.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW, com área total de reservatório igual ou inferior a 3,0 km², como aproveitamentos com características de pequenas centrais hidrelétricas – PCHs, sendo a área do reservatório delimitada pela cota d'água associada à vazão de cheia com tempo de recorrência de 100 anos.

3.2 – TIPOS DE APROVEITAMENTOS

Segundo consta no manual da ELETROBRÁS (2004), a Lei nº 9.648, de 27/05/98, autoriza a dispensa de licitações para empreendimentos hidrelétricos de até 30 MW de potência instalada, para Autoprodutor e Produtor Independente. A concessão será outorgada mediante autorização, até esse limite de potência, desde que os empreendimentos mantenham as características de Pequena Central Hidrelétrica.

De uma maneira geral, as PCHs podem ser classificadas conforme a sua regularização, quanto ao sistema de adução, operação e quanto à potência instalada e queda de projeto.

3.2.1 – CENTRAIS QUANTO À CAPACIDADE DE REGULARIZAÇÃO

3.2.1.1 – FIOD'ÁGUA

Esse tipo de PCH é empregado quando as vazões de estiagem do rio são iguais ou maiores que a descarga necessária à potência a ser instalada para atender à demanda máxima prevista, dispensando estudos de regularização de vazões e barragens normalmente baixas, pois têm a função apenas de desviar a água para o circuito de adução.

3.2.1.2 – REGULARIZAÇÃO

Esse tipo de PCH é empregado quando as vazões de estiagem do rio são inferiores à necessária para fornecer a potência. Nesse caso, o reservatório fornecerá o adicional

necessário de vazão regularizada. Essa regularização pode ser diária ou mensal, conforme o estudo elaborado.

3.2.1.3 – SISTEMA DE ADUÇÃO

Quanto ao sistema de adução, são considerados dois tipos de PCH:

- adução em baixa pressão com escoamento livre em canal / alta pressão em conduto forçado;
- adução em baixa pressão por meio de tubulação / alta pressão em conduto forçado.

3.2.2 – SISTEMA DE OPERAÇÃO

Quanto ao sistema de operação, existem centrais que são usadas para satisfazer necessidades energéticas repentinas em horários de maior consumo, e que são chamadas horas de ponta ou de pico e as centrais são caracterizadas pelo funcionamento contínuo e com carga praticamente constante. As que se adaptam melhor a estes requisitos são as de fio-d' água, evitando assim o desperdício.

3.2.3 – QUANTO À POTÊNCIA INSTALADA E À QUEDA DE PROJETO

As PCH podem ser ainda classificadas quanto à potência instalada e quanto à queda de projeto, como mostrado na tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Classificação das PCHs quanto à potência e quanto à queda de projeto

CLASSIFICAÇÃO DAS CENTRAIS	POTÊNCIA – P (KW)	QUEDA DE PROJETO – H (m)		
		BAIXA	MÉDIA	ALTA
MICRO	$P < 100$	$H_d < 15$	$15 < H_d < 50$	$H_d > 50$
MINI	$100 < P < 1.000$	$H_d < 20$	$20 < H_d < 100$	$H_d > 100$
PEQUENAS	$1.000 < P < 30.000$	$H_d < 25$	$25 < H_d < 130$	$H_d > 130$

Em suma, pode ser dito que existem dois tipos básicos de empreendimentos de geração hidrelétrica, figura 3.1, os que formam uma queda artificial, mediante implantação de barragens de maiores alturas, neste caso, a barragem, vertedouro, tomada d' água e casa de força encontram-se solidários, ocupando todo o leito do rio. A queda, assim, é proporcionada pela altura da barragem, que implica na formação de grandes áreas de reservatório.

Dentre os impactos ambientais, destacam-se as áreas alagadas pelo reservatório, impondo a relocação dos moradores do local, ou dos usos que se faz neste trecho, e uma forte mudança na biota. Além do mais, o desnível concentrado proporcionado pela barragem dificulta a implantação de mecanismos de transposição de peixes onde for necessário.

Já nas usinas de desvio, é aproveitado o desnível do trecho do curso d' água para gerar o potencial hidráulico. Neste caso, a casa de máquinas se localiza afastada da barragem, interligadas pelo circuito hidráulico, que desvia a água do rio de seu leito natural. A queda é proporcionada em maior parte, aproveitando-se a queda natural existente no rio.

Nota-se uma enorme redução da área alagada, uma vez que a barragem neste caso não tem mais a função de agregar queda e sim, permitir a captação e pequena reservação da água para permitir a operação da central.

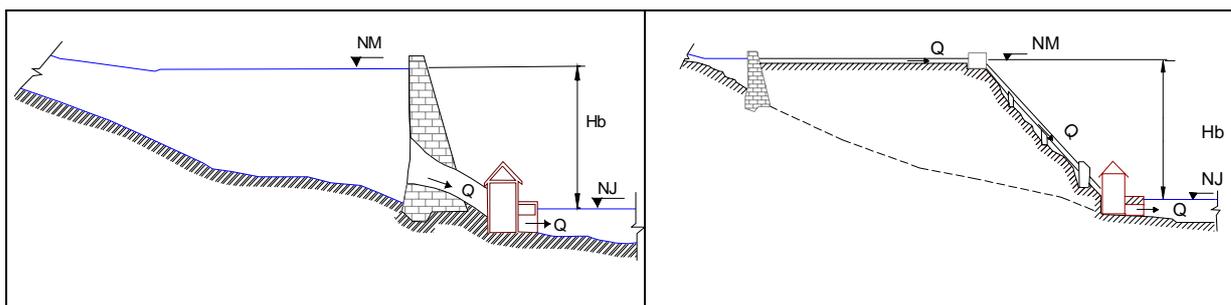


Figura 3.1 - Central de Represamento e de Desvio

Como contraponto à redução do impacto causado pela redução de área, surgem novos impactos associados à formação de um Trecho de Vazão Reduzida - TVR, compreendido entre a barragem e a casa de força, afetando o próprio leito natural do rio e também a população lindeira que faz uso dessa água. Este segundo arranjo é típico para as Pequenas Centrais Hidrelétricas, implantadas nas cabeceiras das bacias hidrográficas, aproveitando-se das quedas naturais desses rios para geração de energia em escala reduzida. A manutenção da vazão mínima neste trecho vem sendo objeto de muita discussão entre empreendedores e órgãos ambientais, pois a vazão destinada a este percurso, é uma parcela que não estará disponível para a geração, sendo abordado de maneira mais específica no capítulo 4.

Deve ser observado que o empreendimento faz a captação de água na barragem, e restitui à jusante da casa de força. Neste caso, a disponibilidade hídrica se refere ao montante de água reservado para o aproveitamento como um todo, da mesma maneira como ocorre para a indústria, por exemplo. Ao ser considerado o TVR, como uma estrutura isolada, não faz sentido.

A prática atual faz aplicação equivocada dos conceitos, pois para um mesmo potencial, o arranjo de desvio tende a produzir menor impacto ambiental. É claro que ambos barram o rio, trazendo conseqüências sobre a biota, mas no caso do arranjo de desvio, a supressão de áreas é extremamente inferior e os impactos decorrentes do TVR podem ser mitigados, ao contrário do reservatório, onde o impacto é incondicional. Além disso, a preservação das características naturais de queda no leito do rio permite facilitar a implantação dos mecanismos de transposição de peixes, uma vez que não há concentração significativa de

queda na barragem. Vale lembrar, que em vários casos, excetua-se a implantação desses mecanismos, uma vez que as quedas aproveitadas já constituem naturalmente barreiras para a migração de peixes no rio.

No entanto, a Vazão Remanescente -Qr, que é a vazão mínima a ser mantida no leito do rio no trecho desviado, capítulo 4, tem sido motivo de muita discussão atualmente. Em verdade, há muito já se estabeleciam valores de referência para esse caudal, sendo, entretanto, os mesmos carentes de maiores justificativas científicas.

3.3 – IMPACTOS DOS APROVEITAMENTOS HIDRO-ELÉTRICOS

O licenciamento ambiental é um procedimento administrativo, instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente, através do qual a Administração Pública controla e fiscaliza as ações dos administrados, impondo-lhes a elaboração dos estudos de impacto ambiental para a implantação e operação de empreendimentos, com a conseqüente expedição de licenças ambientais. Tal procedimento é disciplinado por normas federais e estaduais para o licenciamento de obras e/ou atividades que possam causar significativa degradação ambiental. De acordo com a Lei nº 6.938/81 e com a Resolução CONAMA nº 237/97, compete ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA o licenciamento de atividades e obras com significativo impacto ambiental, de âmbito nacional ou regional, localizadas ou desenvolvidas em dois ou mais Estados e cujos impactos ambientais diretos ultrapassem os limites territoriais do País ou de um ou mais Estados. Aos órgãos ambientais estaduais cabe o licenciamento ambiental dos seguintes empreendimentos e/ou atividades:

- localizados/desenvolvidos em mais de um Município ou em unidades de conservação de domínio estadual;
- localizados/desenvolvidos nas florestas e demais formas de vegetação natural de preservação permanente relacionadas no art. 2º do Código Florestal e em todas as que assim forem consideradas por normas federais, estaduais ou municipais;
- cujos impactos ambientais diretos ultrapassem os limites territoriais de um ou mais Municípios; e cuja responsabilidade for delegada pela União aos Estados ou ao Distrito Federal, por instrumento legal ou convênio.

A resolução CONAMA nº 6/87 estabelece os critérios para o licenciamento de empreendimentos do setor de energia elétrica e as etapas do empreendimento nas quais as licenças devem ser solicitadas. No artigo 4º, para empreendimentos de aproveitamento hidrelétrico, a Licença Prévia – LP deve ser requerida no início do estudo de viabilidade da

Usina. A Licença de Instalação – LI deve ser obtida antes da realização da licitação para a construção do empreendimento; e a Licença de Operação – LO deve ser obtida antes do fechamento da barragem.

Em função da nova sistemática de outorga das concessões de serviço público de energia elétrica, o pedido de LP não pode vir a ocorrer após a licitação. A realização de obras e empreendimentos hidrelétricos está sujeita a uma série de autorizações, aprovações e licenciamentos por parte de órgãos federais, estaduais e municipais, também responsáveis pela fiscalização e, quando da existência de infrações, pela imposição das penalidades previstas na legislação pertinente.

Os procedimentos de licenciamento e a expedição das respectivas autorizações, bem como as competências para fiscalização, encontram-se explicitados em diplomas legais que os disciplinam, e cabe ao empreendedor, dependendo do tipo de intervenção e características da obra/atividade, recorrer aos diferentes órgãos competentes para a devida regularização.

Em empreendimentos hidrelétricos, compete aos órgãos ambientais estaduais, além de se manifestar sobre o EIA/RIMA, fixar medidas relativas ao controle dos padrões de qualidade ambiental e licenciar atividades relacionadas às áreas de apoio, como os canteiros de obras (instalações de acampamento, administração, usinas de asfalto, concreto e solo, fábrica de pré-moldados, britagem, pátios de estocagem, depósitos, etc.), cujo controle sanitário, assim como da emissão de particulados e ruídos, estão sujeitos ao seu monitoramento.

O impacto ambiental das centrais hidrelétricas tem sido discutido, de maneira mais intensa, a partir da década de 80, quando a legislação ambiental teve seu principal avanço, marcado pela Resolução 01/86 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, estabelecendo a obrigatoriedade de elaboração do Estudo de Impacto Ambiental – EIA e Relatório de Impacto Ambiental – RIMA para a implantação de empreendimentos hidrelétricos.

O EIA/RIMA tem por finalidade construir um modelo que permita verificar as conseqüências físicas, químicas e biológicas causadas na saúde, na segurança, no bem-estar da população, nas atividades sociais e econômicas, na biota, nas condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e na qualidade dos recursos ambientais, geradas pela suposta implantação de uma atividade humana.

Se antes essas centrais eram impostas à sociedade como uma necessidade básica, justificando os prejuízos ambientais como um “mal necessário”, posteriormente tornaram-se alvo de críticas e de uma análise mais profunda, questionando-se alternativas tecnológicas e

locais, sem deixar de computar os benefícios energéticos, econômicos e sociais que as mesmas aportam para as regiões em que se inserem.

Concomitantemente, a busca incessante da “energia limpa e renovável” apontou para o aproveitamento de fontes alternativas de suprimento de energia, destacando-se dentre outras tecnologias como energia solar e biomassa, os pequenos potenciais hidráulicos remanescentes à partir da implantação de PCH’s, definidas conceitualmente como centrais hidrelétricas de impacto ambiental reduzido, dado suas restrições de potência e de área alagada.

Um forte movimento governamental ocorreu com o advento da Lei 9.074/95, que estabelece normas para outorga e prorrogação das concessões e permissões de serviços públicos. Para o caso de geração de energia elétrica, a lei determina o prazo necessário à amortização dos investimentos, limitado a trinta e cinco anos. Já para transmissão e distribuição de energia elétrica, o prazo necessário será de trinta anos ambos contados da data de assinatura do contrato, podendo ser prorrogado no máximo por igual período, a critério do poder concedente, nas condições estabelecidas no contrato. Esta lei foi sancionada no sentido de se expandir a geração no país, porém não alcançando o sucesso esperado, notadamente pelo modelo institucional vigente, da venda da energia, impossibilitando o financiamento e sua viabilização, especialmente no caso das PCH’s. Um enorme número de estudos (inventários e projetos) foi realizado, em grande parte às custas e riscos pela iniciativa privada, satisfazendo um desejo, acalentado há décadas, de avaliar o potencial nacional de PCH’s.

Mas a questão da bancabilidade permanece, parecendo encontrar solução agora, com a Lei 10.438/02. A lei cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA, a Conta de Desenvolvimento Energético -CDE e dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica, dentro outros pontos conjunturais.

No entanto, deve ser observado que a matriz energética, com forte base hídrica, cujo impacto ambiental é causado pelos alagamentos, a energia hidrelétrica é renovável e não emite CO₂, como é o caso das usinas térmicas que utilizam carbono e derivados de petróleo.

As usinas térmicas á gás natural provocam impactos a serem considerados, como a liberação de produtos resultantes da combustão, especialmente o NOx. Estas emissões têm efeito sobre a saúde da população, a vegetação e a fauna associada.

Ambientalmente, as PCHs carregam o ônus do mesmo processo de licenciamento das centrais de grande porte, que não faz distinção de tamanho ou impacto potencial, onerando seus orçamentos e dilatando prazos, em geral superiores ao seu período de construção,

sucumbindo, em alguns casos, a iniciativa de investimento privado no país. Além disso, podem ser citadas outras vantagens de implantar empreendimentos deste tipo:

- Menor período de implantação;
- Geralmente são situadas em área de característica rural, com reservatórios de pequeno porte (até 300 ha), implicando em menor interferência sobre infra-estrutura pública ou privada;
- Grande parte dos equipamentos e materiais necessários à implantação das PCH's são encontrados no mercado brasileiro, sem haver necessidade de importação;
- Em grande parte, são interligadas a sistemas elétricos de distribuição (até 69 KV) com redução de perdas elétricas e melhoria da qualidade do fornecimento de energia da região onde se localizam;
- As PCH's provocam menor supressão de vegetação ciliar, menor supressão de terras agricultáveis e geralmente não causam alteração negativa da qualidade de água do curso d'água, tendo em vista o menor tempo de permanência da água no reservatório.

Adicionalmente aos problemas já citados, os aproveitamentos hidráulicos alteram o regime hidrológico dos cursos de água à jusante, devido ao efeito de regularização de caudais, captação e derivação de água e às perdas por evaporação. A modificação do regime hidrológico traz importantes alterações ao nível dos ecossistemas, dado que o caudal constitui um fator determinante na estrutura e diversidade das comunidades bióticas. Dentre as principais alterações temos:

- Redução do caudal médio anual;
- Diminuição da variação sazonal do caudal;
- Alteração da época de ocorrência dos caudais extremos;
- Redução da magnitude das cheias e imposição de descargas não naturais;
- Alteração da velocidade e da profundidade do escoamento, do transporte de sedimentos e da morfologia do leito, da temperatura e da qualidade da água;
- O habitat das espécies é conseqüentemente afetado, induzindo impactos nas comunidades bióticas;
- A destruição de florestas e habitats selvagens, incluindo o desaparecimento de espécies e a degradação das áreas de captação à montante, devido à inundação da área do reservatório;
- A redução da biodiversidade aquática, a diminuição das áreas de desova à montante e à jusante, e o declínio dos serviços ambientais prestados pelas planícies aluviais à jusante, brejos, ecossistemas de rios, estuários e ecossistemas marinhos adjacentes;

- Impactos cumulativos sobre a qualidade da água, inundações naturais e a composição de espécies quando várias barragens são implantadas num mesmo rio;
- Emissão de gases que contribuem para o efeito estufa, como ocorre com os lagos naturais, devido à decomposição de vegetação e ao influxo de carbono na captação.

Já quando se refere aos impactos nos ecossistemas, os mesmos podem-se considerar de diferente ordem:

- i) Primeira ordem, as que ocorrem após a construção do aproveitamento e incluem alterações no regime hidrológico, no transporte de sedimentos, no fluxo de energia, na qualidade da água e na temperatura;
- ii) Segunda ordem, as que ocorrem como resultado dos impactos de primeira ordem, e que se verificam ao nível da estrutura do habitat (morfologia do leito e composição do substrato), da vegetação ripícola e das fontes de matéria orgânica;
- iii) Terceira ordem, ocorre ao nível das comunidades piscícolas e de macro-invertebrados e são uma consequência dos impactos de primeira e segunda ordem.

Os impactos de segunda ordem podem ser sensíveis a prazos mais ou menos longos, da ordem de dezenas de anos, em alguns casos, o que, por sua vez, se reflete no tempo necessário para que se manifestem os impactos de terceira ordem e no tempo necessário para que o ecossistema atinja um novo estado de equilíbrio. No sentido de minimizar os impactos aos ecossistemas, têm sido desenvolvidos esforços no sentido de quantificar o caudal ecológico a se manter no curso de água, de tal maneira que se permita assegurar a conservação e manutenção dos ecossistemas aquáticos naturais, a produção das espécies com interesse desportivo ou comercial, assim como, a conservação e manutenção dos ecossistemas ripícolas e os aspectos estéticos da paisagem ou outros de interesse científico ou cultural. O caudal ecológico é, em geral, definido como uma série temporal de valores de caudal, que consideram as necessidades das espécies ao longo dos seus ciclos de vida, flexível em função das condições hidrológicas naturais que se verificam em cada ano, refletindo a variabilidade do regime hidrológico.

O caudal ambiental para um curso de água é definido por uma combinação de valores de caudal, que além do caudal ecológico, inclui ainda caudais de limpeza para a remoção de materiais finos depositados e de caudais para a manutenção da estrutura do leito, Alves (1998).

De maneira sucinta, pode-se dizer que a construção de barragens e a derivação de caudais alteram o regime hidrológico natural dos cursos de água, reduzindo o caudal médio anual, diminuindo a variação sazonal do caudal, alterando a época de ocorrência dos caudais

extremos, restringindo a magnitude das cheias e/ou impondo descargas não naturais. A redução do caudal implica também o agravamento da qualidade da água, por abaixamento da diluição e diminuição da capacidade natural de depuração.

Além dos impactos causados ao meio ambiente, pode ser citado também o impacto social decorrente da implantação dos barramentos, pois em muitos casos se faz necessária, a desapropriação de terras, e o deslocamento de pessoas, o que nem sempre é realizado de maneira pacífica. Além da emigração, no caso dos grandes reservatórios, ocorre uma imigração excessiva, devido à oportunidade de exploração desses reservatórios. Em alguns casos, pode acarretar também a desapropriação de patrimônios históricos e valores estéticos.

A construção dos reservatórios, apesar de causar todos os danos acima citados, traz consigo, alguns efeitos positivos, a saber:

- Criação de oportunidades de recreação e turismo;
- Proteção contra cheias das áreas à jusante;
- Armazenamento de águas para o período de seca e redução das vazões nos períodos de cheia;
- Possibilita a navegação;
- Gera empregos;

3.4 – AÇÕES MITIGADORAS

Várias têm sido as medidas mitigadoras propostas a fim de minimiza os impactos, mas nem todas apresentam grandes respostas. Para o caso das PCHs, onde o maior impacto se encontra no TVR, a implantação de pequenos barramentos vem apresentando bons resultados, figura 3.2. Estes devem ser instalados em locais que apresentam baixa declividade, garantindo, assim a manutenção da lâmina d'água em condições próximas às naturais, preservando alguns de seus usos, como dessedentação animal, banho, lazer, pesca, divisa de propriedades, além de manter condições de umidade às vegetações marginais e beleza paisagística. Também, em muitos casos, permite a permanência de peixes, além de sua migração.



Figura 3.2 - Implantação de pequenos barramentos

Sua concepção é simples, face à reduzida altura e as condições favoráveis de fundação, aproveitando os pontos de controle hidráulico natural dos rios, potencializando seu efeito, mantendo um remanso, por menor que seja a vazão residual adotada.

A implantação de pequenos barramentos em locais de baixa vazão historicamente vem se mostrando uma das medidas mais eficazes visando à melhoria do habitat de diferentes tipos de peixes. Sua aplicação pode ser feita com vários tipos de materiais e implantados em canais de formato e tamanhos variados.

Se dimensionado de maneira adequada, dentre vários benefícios que possa conseguir, podemos citar:

- Aumento da profundidade e manutenção de baixas temperaturas nas acumulações
- Acréscimo da velocidade à jusante dos barramentos

Dado o sucesso limitado das medidas tradicionais de mitigação, as leis para evitar ou minimizar os impactos ecológicos têm recebido cada vez mais atenção, preservando em seu estado natural segmentos ou bacias fluviais específicas e selecionando projetos locais ou concepções alternativas.

No caso das usinas hidrelétricas formadoras de grandes lagos, vários são os estudos que norteiam os impactos ambientais ocorridos. No entanto os choques oriundos de intensos e duradouros deplecionamentos trazem prejuízos às atividades econômicas que se desenvolveram no lago ao longo de décadas. Entretanto poucos são os esforços voltados para a mitigação desses impactos. Assim, no desenrolar desse trabalho será proposta uma

metodologia para que os reservatórios venham a operar de modo a atender as necessidades de todos os usuários.

Na legislação portuguesa, a Lei de Bases do Ambiente (Lei nº 11/87 de 7 de Abril) e o Decreto Lei nº 70/92 de 2 de Março, é exigido a necessidade de se tomar em consideração a proteção e conservação do ambiente no processo de planeamento, administração e utilização do domínio hídrico. Esta legislação constitui a base legal que tem permitido desde 1989 incluir, no licenciamento de novos aproveitamentos hidráulicos, a obrigação de manter um caudal mínimo no curso de água à jusante da barragem para a minimização dos impactos negativos nos ecossistemas aquáticos. O valor deste caudal é independente do caudal reservado que tem de ser sempre garantido à jusante dos aproveitamentos hidráulicos, para a manutenção de usos já existentes, como sejam a rega e o abastecimento público e outros usos.

A definição de caudais ecológicos em Portugal tem merecido diferentes abordagens em resultado das diferenças existentes ao nível dos sistemas hídricos localizados a sul e norte do rio Tejo e em função do tipo de aproveitamentos hidráulicos:

- Para pequenos aproveitamentos hidroelétricos e outros aproveitamentos a norte do rio Tejo, o caudal ecológico foi definido como um valor não inferior a 2,5 a 5% do caudal modular do curso de água, a manter ao longo de todo o ano, sempre que o caudal instantâneo que ocorre em regime natural o permita.
- Para aproveitamentos hidroagrícolas a sul do rio Tejo, o caudal a manter na linha de água à jusante da barragem deverá ser, para cada mês, igual ou superior a 5% da vazão média anual, sempre e só se o caudal assim determinado for inferior ou igual ao caudal médio mensal, caso contrário deverá manter-se o caudal médio nesse mês, o que poderá significar um caudal nulo nos meses de estiagem.

Para o Aproveitamento Hidráulico, na Ribeira do Enxó e bacia do Guadiana, foi definido um regime para o caudal ecológico, que teve em consideração a hidrologia, a hidrogeologia e as características do ecossistema fluvial, sendo sujeito a um programa de monitoramento para avaliar a eficácia do regime de caudal ecológico proposto. Para os Aproveitamentos Hidráulicos do Alto Lindoso e Touvedo, o respectivo Estudo de Impacto Ambiental previa com base em recomendações da direção geral dos serviços florestais e Aquícolas de 1971, um valor para o caudal ecológico da barragem do Alto-Lindoso de 1 a 4 m³/s que nunca foi garantido.

Apenas em 1997, no âmbito do convênio estabelecido entre o Ministério do Ambiente e a EDP- Eletricidade de Portugal relativo ao Programa de Otimização Ambiental das Condições de Exploração dos Aproveitamentos Hidroelétricos do Alto-Lindoso e Touvedo,

no rio Lima, foi estabelecido e mantido um regime provisório para o caudal ecológico: meses de Junho a Setembro, $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ e nos meses de Outubro a Maio, $2 \text{ m}^3/\text{s}$. Este regime deverá ser mantido até à conclusão do Estudo Experimental para a definição do Caudal Ecológico do rio Lima.

Para o Aproveitamento Hidráulico do Touvedo, o caudal proposto foi $4 \text{ m}^3/\text{s}$, tendo sido assegurada a sua descarga, desde o início. Rios Internacionais, Douro, Tejo e Guadiana: foram calculados os caudais ambientais que deverão ser assegurados por Portugal e Espanha, obedecendo à proporção da sua contribuição para o escoamento em regime natural daqueles rios com base em métodos baseados em registros caudais, adequados ao planeamento de recursos hídricos à escala da bacia hidrográfica. Ultimamente, está em curso o projeto “Metodologias para a Avaliação de Caudais Ecológicos em Cursos de Água de Regime Torrencial Mediterrânico” com o Departamento de Ecologia da Universidade de Évora e outras Universidades Portuguesas e está se desenvolvendo a celebração de um Protocolo com a Universidade do Porto para a realização de vários projetos que permitirão a aplicação de metodologias para a determinação do caudal ecológico utilizado e a verificar a eficácia do atual regime de caudal ecológico proposto (Alves, 1998).

Os Sistemas para a Transposição de Peixes – STP’s, não podem ser considerados uma medida mitigadora, pois nos estados de São Paulo e Minas Gerais, atualmente sua implantação se faz necessária, de maneira obrigatória. Os STP’s são implantados para atenuar os efeitos negativos dos barramentos sobre os peixes migradores ou de piracema. No Brasil, como na maioria dos países subdesenvolvidos, devido a fatores históricos, financeiros, políticos, constitucionais e culturais desfavoráveis, há uma defasagem tecnológica quanto aos Sistemas para a Transposição de Peixes, STP’s.

No entanto, o fato de o peixe migrador brasileiro, ser um dos mais importantes nos aspectos econômico, esportivo e ambiental, acrescentando a isso o sucesso e a eficiência das novas passagens de peixes nos aproveitamentos energéticos de algumas usinas como Porto Primavera, Itaipu, Canoas I e II, e Igarapava, vim produzindo efeito multiplicador e a fim de que tecnologias nacionais que atendem a necessidade dos peixes se enquadrem às legislações dos Estados de São Paulo e Minas Gerais, que obrigam a implantação de STP’s.

Dentre as alternativas estudadas por Martins e Kamada (2000) na Universidade Estadual de São Paulo, para os STP’s, tabela 3.2. A alternativa 1, figura 3.3 o tipo de escada com soleira superficial parcial e orifício apresentou valores baixos de velocidades e próximas à recomendada pelo critério biológico para a locomoção dos peixes, sem causar o cansaço excessivo, vazão baixa para a profundidade mínima recomendável de 1m, o que, por

conseqüência, obteve uma das mais efetivas taxas de dissipação de energia, linhas de fluxo definidas ausentes de recirculações ou vórtices comprometedores, minimizando, assim, a desorientação e concepção estrutural simples.

Tabela 3.2 - Resumo comparativo entre as alternativas

Opção	Vazão (m³/s)	Área Média (m²)	Lâmina D'água (m)	Velocidade máxima (m/s)	Fr
1	0,7	0,525	1,00	1,80	0,9
2	2,58	1,560	1,00	2,00	0,9
3	2,77	0,800	1,00	2,70	0,9
4	3,18	1,600	1,00	3,10	1,0
5	0,76	0,800	1,00	2,60	0,8

Contudo os autores afirmam que a simples adoção de uma alternativa promissora não é garantia de sucesso na transposição de peixes, faltando, ainda, confirmações de âmbito não experimentais, tais como as ambientais e biológicas ou, ainda, hidráulicas complementares. A eficiência e a eficácia dos STP's dependem do conhecimento das características hidráulicas e, principalmente, biológicas das espécies de peixes que farão a transposição, tais como: habilidades natatórias dos peixes (velocidades de explosão, manutenção, navegação, atrativas e salto), padrão migratório (trófico e reprodutivo, volume e dimensões das espécies), padrão liminológico - ambiental, preservação e existência dos ambientes reprodutivos naturais ou artificiais, entre outros fatores.

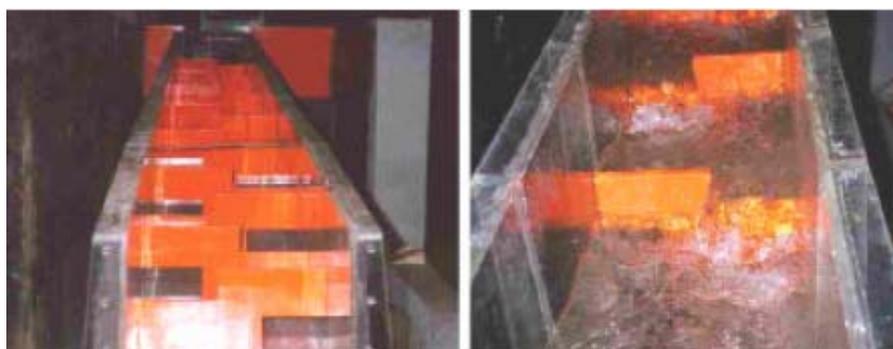


Figura 3.3 - Opção 1

4 – VAZÃO NO TRECHO CURTO CURCUITADO DAS PCHs

4.1 – PCH PARAITINGA

Esta parte do trabalho apresenta um entrave encontrado no licenciamento ambiental de uma PCH no estado de São Paulo, referente ao trecho de vazão reduzida, figura 4.1.

O trecho de vazão reduzida a ser formado entre a barragem e a casa de força é de 3,2 Km. Neste trecho o rio Paraitinga corre sobre o leito rochoso com formação de corredeiras num declive de aproximadamente 68 metros desde o local do eixo do barramento até o local da restituição da casa de força.

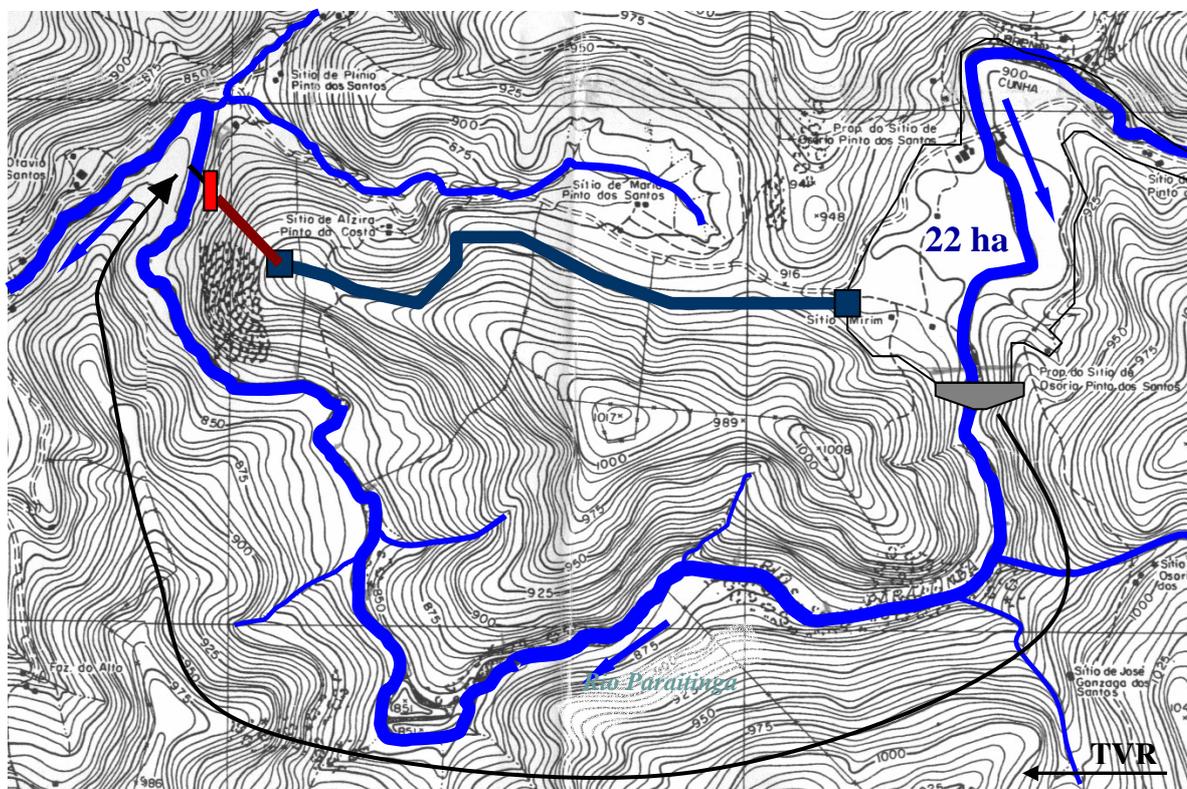


Figura 4.1 - Arranjo típico de uma central de desvio com Trecho de Vazão Reduzida

A tabela 4.1 apresenta as informações básicas do empreendimento.

Tabela 4.1 - Informações básicas da PCH

Curso d'Água	Rio Paraitinga
Municípios	Cunha (SP) e Lorena (SP)
Potência Instalada	7 MW – 2 unidades Francis
Energia Média	42.924 MWh/ano
Altura Máxima da Barragem	10 m
Área do Reservatório	22,2 hectares

4.2 – CONCEITUAÇÃO DO PROBLEMA

4.2.1 – USOS DA ÁGUA

No projeto aprovado pela ANEEL, a vazão mínima no trecho de vazão entre a barragem e a casa de força seria de $0,20 \text{ m}^3/\text{s}$, no entanto o Departamento de Avaliação de Impacto Ambiental – DAIA, ao expedir a licença prévia, limitou a vazão mínima a ser garantida no trecho com a $Q_{7,10}$ que neste caso equivale a $3,12 \text{ m}^3/\text{s}$. Várias foram as ações junto ao DAIA-SP, para demonstrar a viabilidade ambiental da vazão de projeto para o TVR, especialmente pareceres técnicos sobre ictiofauna e qualidade da água. Em busca de uma maior flexibilização para o tratamento dessa questão, foi proposto ao DAIA o aumento no TVR para 500 l/s ($0,50 \text{ m}^3/\text{s}$).

A vazão mínima de 500 l/s representa $19,38\%$ da vazão mínima média mensal do rio Paraitinga para esse trecho, sendo que nos meses úmidos (janeiro, fevereiro e março), esta vazão será incrementada pelos vertimentos decorrentes das vazões afluentes acima da capacidade de turbinamento.

Vale ainda ressaltar que a vazão mínima (vazão residual) a ser garantida a partir da instalação de dispositivo no corpo do barramento, se somarão as contribuições provenientes de pequenos córregos existentes em ambas as margens neste trecho do rio, como indicado na figura 4.2. A vazão mínima (período seco) dessas contribuições laterais, calculada considerando –se as respectivas áreas de drenagem, é de 40 l/s .



Figura 4.2 - Contribuição lateral

Conforme trabalho desenvolvido no local, verificou-se que as terras lindeiras ao trecho de vazão reduzida estão voltadas para uso agrícola ou com cobertura de vegetação arbórea

(ciliar), Assim, 65,50% das terras são destinadas a pastagens, como efetivo bovino de 155 cabeças (set/ 1999) e 34,5 % têm como cobertura vegetação ciliar, conforme apresentado na tabela 4.2 a seguir.

Tabela 4.2 - Cobertura Vegetal das Margens do Trecho de Vazão Reduzida

Tipologia	Área (há)	Participação Relativa (%)
Mata ciliar	6,44	34,50
Capoeirinha + pasto	1,62	8,70
Pasto	10,63	56,80
Área total	18,69	100

Também ficou apurado que 77,78 % das propriedades rurais utilizava o rio Paraitinga para a dessedentação do rebanho. Considerando o consumo de água *percapita/dia* do rebanho em 40 l, pode se observar que esse consumo animal representaria apenas 0,014% da vazão mínima proposta. Além disso, a quantidade de água disponibilizada é mais que suficiente para suprir todas as necessidades de consumo caso ocorra uma expansão no número de cabeças do rebanho.

No diagnóstico socioeconômico realizado, evidenciou-se que não há nenhum outro uso ou demanda de água a partir de captação neste trecho do rio, quer para consumo humano, irrigação, diluição de esgotos sanitários. Além disso, outros usos estão limitados, tendo em vista a topografia das áreas das margens deste trecho do rio, com relevo bastante declivoso.

4.2.2 – ICTIOFAUNA

Como a maioria das PCH's, geralmente usinas com arranjo do tipo de “derivação de vazão”, a construção da PCH Paraitinga representará um importante impacto para a ictiofauna. No entanto devem ser consideradas as seguintes observações:

- A vazão mínima garantida para o TVR será mais que suficiente para a garantia da qualidade físico-química da água. Portanto compatível com às necessidades de sobrevivência das espécies que se mantiverem no trecho ao longo de todo o ano.
- Os vertimentos da barragem durante o período de cheias, associados à implantação de mecanismos de transposição, deverão manter as rotas migratórias das espécies de piracema.
- As comunidades de peixes da região de influência do empreendimento serão monitoradas através de Programa de Monitoramento, que poderá indicar eventuais medidas adicionais para a conservação e o manejo da ictiofauna.

Os estudos da ictiofauna concluíram que parte das espécies de pequeno e médio porte, que também são encontradas nos córregos da região, deverá manter representantes neste trecho do rio durante todo o ano. Estas espécies deverão ficar restritas aos poções existentes

entre as áreas de corredeiras mesmo que em populações menores que as observadas atualmente neste trecho do rio.

Por outro lado, espécies de maior porte e aquelas que necessitam das condições de água corrente e maiores vazões, como alguns anostomídeos (piaus) e pimelodídeos (bagres) só deverão colonizar esta região do rio durante os períodos de cheia, retornando para as regiões do rio à jusante da casa de força durante o período da seca.

Segundo estudos realizados por especialistas em ictiofauna que participaram dos estudos ambientais, concluiu-se que os impactos impostos pela manutenção de um trecho do rio Paraitinga com vazão reduzida, terão abrangência local, sem alterar significativamente a comunidade de peixes da bacia em estudo.

4.2.3 – VEGETAÇÃO CILIAR NO TVR

De acordo com as informações já apresentadas na tabela 4.2, e tomando-se para este levantamento a faixa de 30 metros de acordo com a lei nº 4.771 de 15 de setembro de 1965, pode ser observado que esta faixa corresponde à área de preservação permanente, observando-se ainda que a maior parte (65,5%) da vegetação presente é composta de pasto e de capoeirinha associada a pasto. A vegetação ciliar remanescente corresponde a 34,50%.

Cumprе salientar, no entanto, que no se refere à cobertura vegetal existente nas margens do rio, observa-se que no trecho de vazão reduzida existem remanescentes de mata ciliar, desenvolvendo-se predominante sobre encostas íngremes e solos relativamente rasos, em sua maioria não aluvionares. Portanto não constituem uma formação de floresta aluvial tipicamente influenciada pelas cheias do rio. A faixa da encosta coberta por solo, sobre a qual desenvolve-se a vegetação florestal, fica acima do nível de cheia do rio, não sendo significativamente afetada pela variação de seu nível, mas pelo lençol freático. Do ponto de vista hidrogeológico, figura 4.3, devido à morfologia do terreno e ao gradiente altitudinal, este trecho encontra-se em área de descarga do aquífero. Portanto a redução da vazão não acarretaria impactos ao aquífero da região.

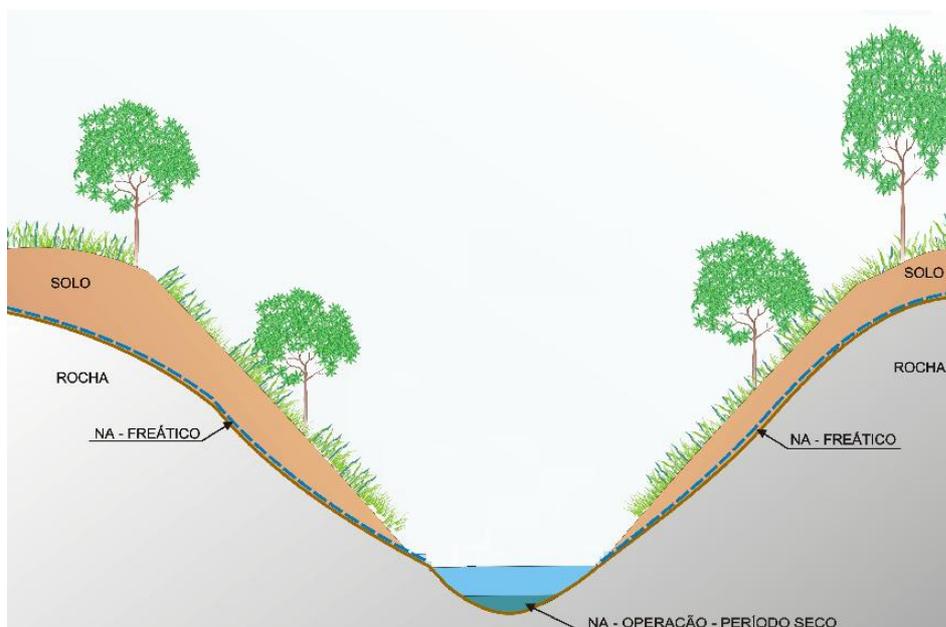


Figura 4.3 - Recarga do aquífero

4.2.4 – QUALIDADE DA ÁGUA

O resultado das análises físico, química e bacteriológica das águas para o trecho do rio de Paraitinga, no qual estará inserido o empreendimento, indicou que o Índice de Qualidade das Águas –IQA é bem satisfatório, estando as águas neste trecho classificadas como de Qualidade Boa, para os três pontos de coletas (à montante do futuro reservatório, próximo do eixo do barramento e à jusante do local da futura casa de força).

Os estudos liminológicos mostraram que as águas do TVR são de boa qualidade, pouco mineralizadas, pobres em nutrientes (fósforos, nitrogênio e materiais orgânicos de rápida decomposição), bem como ricas em oxigênio. Os índices bacteriológicos atingiram níveis plenamente satisfatórios no sentido de água de boa qualidade. Os estudos concluíram que durante todo o tempo de operação da PCH, mesmo para o trecho de vazão reduzida, os níveis de qualidade das águas deverão ser plenamente satisfatórios. Soma-se que, ainda está prevista a realização de um Programa de Monitoramento Liminológico e de Qualidade das Águas, com campanhas trimestrais durante as obras e para o primeiro ano de operação.

4.2.5 – AÇÕES MITIGADORAS

Para mitigação ou compensação dos impactos negativos causados pela implantação da PCH Paraitinga, estão previstos programas ambientais, além de recomendações de medidas ambientais, a serem observadas pelo empreendedor durante o período de construção:

- Programa de Monitoramento do Lençol Freático;
- Programa de Monitoramento da Ictiofauna;

- Programa de Conservação, Manejo e Transposição da Ictiofauna com Implantação de Mecanismos de Transposição de Peixes;
- Programa de Monitoramento Liminológico e da Qualidade das Águas;
- Programa de Avaliação e Implantação de Pequenos Diques no Trecho de Vazão Reduzida;
- Programa de Monitoramento e Controle das Vazões do Trecho de Vazão Reduzida;
- Programa de Recuperação das Áreas Degradadas;
- Programa de Reflorestamento Ciliar;
- Programa de Comunicação Social;
- Programa de Controle das Condições de Saúde;
- Programa de Negociação e Aquisição de Terras e Benfeitorias;
- Programa de Criação de Área de Lazer;
- Elaboração do Plano de Gerenciamento Ambiental da Operação

4.2.6 – PRODUÇÃO DE ENERGIA

Os estudos energéticos para dimensionamento da PCH Paraitinga elaborados no projeto básico aprovado pela ANEEL, foram efetuados de acordo com as diretrizes para projetos de PCH da ELETROBRÁS, resultando em uma potência instalada de 7 MW, de acordo com os parâmetros indicados na tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Dados da Produção de Energia – Projeto Básico

Grandeza	Unidade	Valor
NA máximo.normal montante	M	907
NA jusante médio	M	824
Queda Bruta	M	83
Perda de Carga Média	%	5
Queda Líquida	M	78,85
Vazão Máxima Turbinada	m ³ /s	10,1
Rendimento Médio da Turbina	%	92
Rendimento Médio do Gerador	%	97

O estudo hidrológico foi realizado mediante transposição das informações fluviométricas da estação Estrada do Cunha (58030000), tabela 10.1 do anexo 1, localizada no rio Paraitinga, cujas vazões características são expressas na tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Características fluviométricas utilizadas para o dimensionamento

DADOS GERAIS	
Período do Histórico Completo 1935 a 1995	Dados
Período Crítico jun/1949 a nov/1956	
VAZÕES CARACTERÍSTICAS	
Vazão Média de Longo Termo (Qmlt)	8,18 m ³ /s
VAZÕES CARACTERÍSTICAS	
Vazão Média de Período Crítico (Qmpc)	6,56 m ³ /s
Vazão Média de Período Seco (Qmps)	6,48 m ³ /s
Vazão Máxima Média Mensal (Qmax)	36,93 m ³ /s
Vazão Mínima Média Mensal (Qmin)	2,58 m ³ /s
Vazão Firme Q ₉₅ (Q ₉₅)	4,11 m ³ /s
Vazão Média Específica Longo Termo	17,05 l/s/Km ²
Vazão Média Específica Período Crítico	13,68 l/s/Km ²
Vazão Média Específica Período Seco	13,51 l/s/Km ²
Vazão Q _{7,10}	3,12 m ³ /s

Considerando que seja mantida a mesma potência instalada de 7 MW, com duas unidades geradoras, pode ser observado que a perda de energia será considerável, passando de 4,73 MW_{med} para 3,04 MW_{med} quando a vazão no TVR, passa de 0,5 m³/s para 3,12 m³/s representando uma perda de energia de aproximadamente 36%. Analisando que a usina terá o mesmo custo de instalação previsto no projeto básico, tendo em vista que os custos com obras civis (barragem, canal de adução, conduto forçado, e casa de força) e equipamentos eletromecânicos não se alteram, um empreendimento desta natureza não se viabilizaria após uma redução na sua receita deste porte.

Dessa maneira, interpretando-se os critérios de vazão outorgável apresentados no capítulo 2, nota-se, que no caso de geração hidrelétrica, que não há forte uso consuntivo de água, com exceção dos períodos de enchimento do reservatório, quando uma parcela da vazão afluente é reservada, e onde haja forte evaporação, assim, considerando a central hidrelétrica como um empreendimento qualquer, a menos que se acumule uma parcela da vazão superior à vazão outorgável no trecho, a restrição de vazão imposta pela legislação é perfeitamente atendida, se for considerado que a outorga dada é para todo o arranjo, desde o lago até a restituição no canal de fuga.

Os órgãos ambientais têm se utilizado dos critérios de vazão outorgável para a determinação da vazão residual mínima exigida no trecho de vazão reduzida de PCHs, fato

este que tem provocado o embate entre empreendedores e esses órgãos. A interpretação equivocada desses conceitos reside, talvez, no fato de se interpretar o termo “barragem” em seu sentido literal e simplista, como sendo a estrutura isolada responsável pelo barramento do rio e desvio da água, quando o correto seria a denominação usual de todo o conjunto de geração, composto de barragem (onde a água é represada), circuito hidráulico (por onde a água é desviada), casa de força (onde ocorre a geração hidrelétrica), canal de fuga (por onde a água retorna ao rio) e demais estruturas, além da área do entorno do TVR. O histórico de construção de hidrelétricas no Brasil, mostra a grande predominância de centrais de represamento, onde a barragem se sobrepõe às demais estruturas solidárias. Assim, esse termo tornou-se usual, para denominar centrais hidrelétricas, inclusive derivações, como “barragem de geração”, para diferenciá-la de “barragem de irrigação”, Santos¹ et al (2003).

Como a vazão mínima de referência reflete a vazão garantida no ponto de estudo, (associado a um risco), exigir que se destine sua fração maior para o TVR, contrapõe a finalidade desse empreendimento que é a geração hidrelétrica. Não obstante sua simples manutenção pode não preservar as condições naturais do trecho e nem atesta condições de qualidade de água ou garantia de uso, sem que outros elementos sejam analisados. A essência, da proposta presente é a substituição da referência de vazões por referências ambientais.

A alteração nas condições naturais do TVR é o impacto inerente à concepção de uma PCH, devendo ser assumido com todas as suas conseqüências. Pretender que se garanta as mesmas condições naturais por via do aumento da vazão residual implica na rejeição da alternativa tecnológica assumida. Assim, o foco a ser explorado deve ser a mitigação desses impactos, conforme mostrado anteriormente, garantindo uma vazão que atenda aos critérios sanitários e ecológicos e de usos da água, considerando as particularidades de cada caso.

Dessa maneira, com intuito de se estabelecer um critério neutro para avaliação da vazão residual que deve ser mantida no curso d'água, no próximo capítulo serão incorporados métodos multicriteriais, como tentativa de ser estabelecida uma resposta técnica ao entrave existente.

5 – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA MULTICRITERIAL

5.1 – JUSTIFICATIVA

A questão da vazão remanescente, a ser mantida à jusante de barramentos de Usinas Hidrelétricas, onde se caracteriza um TVR, tem sido, muitas vezes, fator impeditivo à construção de Usinas, quando neste trecho ocorrem interesses nos conflitos de outros usos da água. Entretanto a manutenção de uma vazão mínima à jusante do barramento, imposta por órgãos gestores, vem se mostrando carente de embasamentos técnicos. Dessa maneira, as recentes experiências de aplicação de métodos multicriteriais, aplicados em alguns casos onde se consideram aspectos ambientais e sociais de difícil inserção e comparação com aspectos técnicos e econômicos, apresentaram bons resultados como auxílio à tomada de decisão, conforme mostraram os trabalhos de Zuffo (1998), Lucena (2003) e o trabalho de Jardim e Lanna (2003).

Entretanto, deve ser enfatizado que, conforme citação feita por Jardim e Lanna (2003), a eficácia da utilização dos métodos multicriteriais se deve ao julgamento dos tomadores de decisão, que avaliam questões subjetivas como questões ambientais e sociais que fazem parte do processo. Os mesmos autores afirmam que outra característica dessa metodologia é a incerteza da função de aleatoriedade dos fenômenos hidrológicos, ambientais, sociais e econômicos.

Dessa maneira, o objetivo de se utilizarem métodos multicriteriais é trazer resultados consistentes para dar solução aos problemas de gerenciamento de recursos hídricos. Neste caso, foi utilizada a opinião de diversos profissionais, que analisaram o conflito acima descrito, sob a ótica de oito critérios e onze alternativas.

De maneira sucinta, pode ser dito que na aplicação de métodos multicriteriais, cada uma das onze alternativas é avaliada sob os oito critérios no processo de decisão. Os critérios e alternativas apresentadas neste trabalho foram determinadas e ajustadas para uma melhor caracterização deste trabalho. Dentre as várias técnicas multicriteriais desenvolvidas, existem aquelas que apontam para a alternativa de maior atratividade, a escolha de melhor compromisso e a solução mais robusta.

No presente trabalho, foram utilizados dois métodos baseados na desagregação de preferências: Programação por Compromisso (CP) e Teoria dos Jogos Cooperativos (CGT), dando seqüência ao trabalho apresentado por Ribeiro Junior et al (2004).

5.2 – HISTÓRICO DOS MÉTODOS MULTICRITERIAIS

Em seu texto, Zuffo (2002), cita que a história da Análise Multicriterial tem início com o trabalho de PARETO (1896), que examinou um problema de agregação de critérios dentro de um critério simples. Definiu também o conceito da eficiência entre duas alternativas de decisão.

Ainda em seu texto, o autor afirma que a pesquisa operacional ganha um grande impulso quando passa a ser utilizada como uma ferramenta de tomada de decisão no cenário militar inglês e norte americano durante a Segunda Guerra Mundial. A partir de então, umas variedades de ferramentas matemáticas têm sido desenvolvidas e aplicadas a diferentes atividades. Com o término da Segunda Grande Guerra muitos desses pesquisadores foram absorvidos pela iniciativa privada, descobrindo que seus estudos poderiam ser aplicados em vários outros campos de atividades. Os problemas eram similares aos que eles haviam tratado durante a guerra, principalmente em engenharia, na gestão de empresas, nos diversos níveis da administração pública e empresarial, nos negócios em geral, entre outros.

Esses problemas são largamente caracterizados pela necessidade de alocar recursos limitados para um conjunto de atividades em áreas de aplicação tão diversas em que estão presentes e devem ser ponderados vários objetivos, muitas vezes conflitantes entre si, o que faz com que, nesses casos, a chamada “Tomada de Decisão Multiobjetivo” seja relevante. Assim, o fato de este trabalho propor uma metodologia que incorpore critérios ambientais e sociais, além dos técnicos e econômicos, optou-se por aplicar métodos multicriteriais de auxílio à tomada de decisão em planejamento ambiental de recursos hídricos.

5.3 – MÉTODOS MULTICRITERIAIS UTILIZADOS

5.3.1 – MÉTODO DE PROGRAMAÇÃO DE COMPROMISSO

O método da Programação de Compromisso é um dos métodos baseados na programação multiobjetivo e foi adotado por estar baseado no conceito de distância métrica (Teorema de Pitágoras) entre dois pontos cujas coordenadas são conhecidas Zeleny, 1982 citado Zuffo et al (2002). Segundo o autor, o que motiva a utilização deste método é que ele procura minimizar a distância de todos os pontos factíveis avaliáveis, para um determinado ponto escolhido pelo tomador de decisão (DM – Decision Maker), chamado de “Ponto Ideal”. A dificuldade na escolha do “Ponto Ideal” em relação a solução final é diminuída quando, por uma restrição, o “Ponto Meta” for menor ou igual ao “Ponto Ideal”, como ilustrado na figura 5.1. Este método é caracterizado por ser um processo iterativo, geralmente com o estabelecimento progressivo de preferências, até que se atinja uma solução satisfatória.

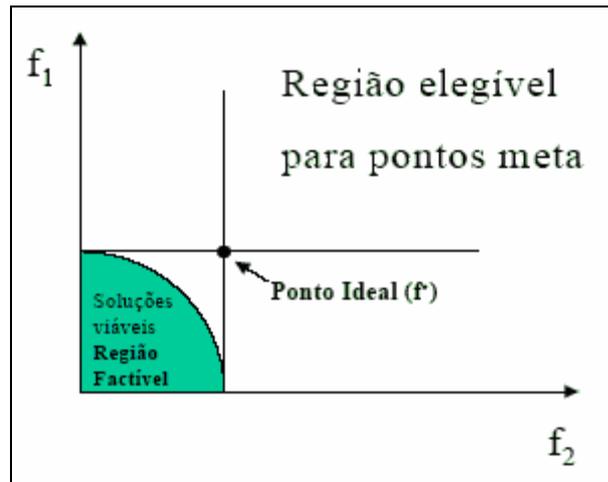


Figura 5.1 - Seleção do ponto Meta
Fonte: Zuffo (1998)

A solução de melhor compromisso é aquela representada pelo vetor dos melhores valores alcançados em cada critério da matriz de avaliação e pode ser estimado pela distância “ l_s ” de cada alternativa até a solução ideal definida por:

$$l_s = \left(\sum_{i=1}^n \alpha_i^s \left| \frac{f_i^* - f_i(x)}{f_i^* - f_i^{**}} \right|^s \right)^{\frac{1}{s}} \quad (5.1)$$

Em que:

α_i são pesos atribuídos a cada critério;

f_i^* é o melhor valor obtido para o critério i ;

f_i^{**} é o pior valor obtido para o critério i ;

$f_i(x)$ é o resultado da implementação da decisão x com respeito ao i ésimo critério;

S reflete a importância que os decisores atribuem aos desvios máximos, e varia no seguinte intervalo: $1 < S < \infty$.

Para $S = 1$, todos os desvios de f_i^* são levados em consideração proporcionalmente às suas magnitudes. Para $2 < S < \infty$, o maior desvio tem a maior influência. Para $S = \infty$, o maior desvio é o único considerado (critério minimax). O problema é resolvido, geralmente, para um conjunto de pesos atribuídos $\{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n\}$ e para $S=1, 2$ e ∞ (Gershon e Duckstein, 1983), citado por Zuffo et al (2002).

Como a escolha de “ S ” reflete a importância que o DM atribui aos desvios máximos, pode-se dizer que existe dois esquemas de pesos: no primeiro o parâmetro “ S ” reflete a importância que os desvios máximos possuem e, no segundo, o parâmetro “ α_i ” reflete a importância do critério i .

Segundo Zuffo (1998), quando as alternativas de solução estão discretizadas e cada um dos critérios está representado na matriz de avaliação (Payoff), este método pode ser aplicado

fazendo-se que os melhores valores alcançados por cada um dos critérios seja definido como f_i^* , e os piores como f_i^{**} . Com esses valores, com os parâmetros “ α_i ” (pesos) e “S” dados, calcula-se a distância de cada alternativa à solução ideal (l_s), e seleciona-se a alternativa de menor distância como a de melhor compromisso.

Conforme citação feita por Jardim e Lanna (2003) esse processo é definido como iterativo, pois uma solução desejável pode ser determinada variando-se os pesos e aplicando-se o algoritmo novamente. Entretanto os autores afirmam que o valor de $S=2$ é o mais usado por refletir um conceito vetorial.

5.3.2 – MÉTODO DA TEORIA DOS JOGOS COOPERATIVOS - CGT

No método dos Jogos Cooperativos, ao invés de se minimizar a distância de um certo ponto ideal, a “melhor” solução é aquela que maximiza a distância de algum ponto “*status quo*” de nível mínimo, em que a medida utilizada é a geométrica, (Gershon e Duckstein, 1983), citado por Zuffo et al (2002).

A teoria dos jogos, em geral, é um estudo matemático de resolução de conflitos. O resultado de cada acordo resulta na formulação de uma matriz de avaliação (payoff). A função de distância é dada por:

$$l_s(x) = \prod_{i=1}^n |f_i(x) - f_i^*|^{\alpha_i} \quad (5.2)$$

em que: α_i é o peso do i ésimo critério; f_i^* o i ésimo elemento do ponto *status quo* e $f_i(x)$ é o resultado da implementação da decisão x com respeito ao i ésimo critério.

Segundo Zuffo (2002), o que torna a técnica interessante é que ela evidencia que a única solução existente é obtida através de um único caminho, para que o problema possa ser visto como multiobjetivo. Complementarmente, o autor afirma que ao invés de enfatizar a competição entre objetivos, ela considera que os objetivos estão trabalhando em cooperação para atingirem uma solução satisfatória. Outra vantagem é que qualquer solução intermediária obtida é factível, o que é uma característica desejável devido à natureza interativa dos algoritmos de programação não linear.

5.4 – DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS

Para aplicação dos métodos multicriteriais, foram escolhidos critérios, tabela 5.1, que abordassem distintos objetivos como: econômicos, ambientais, sociais e técnicos com intuito de se obter a maior abrangência possível. No entanto, para esse estudo, foi considerada a influência desses critérios apenas no TVR. Uma análise mais profunda mostra, que o único

critério que se beneficia da redução de vazão no trecho é o energético. No entanto deve ser lembrado que seu benefício extrapola em muito, seu porte ou sua microrregião.

Tabela 5.1 - Critérios abordados

Impacto Ambiental	Impacto Social	Recreação e Turismo	Sistema de Transposição	Usos da água	Qualidade da Água	Desse- detenção	Produção de Energia
-------------------	----------------	---------------------	-------------------------	--------------	-------------------	--------------------	---------------------

O critério impacto ambiental foi considerado, levando-se em consideração que a implantação do empreendimento vai acarretar modificações no meio ambiente. Entretanto deve ser observado que tanto no reservatório como no TVR, o ímpeto da obra terá abrangência pequena. Isto ocorre principalmente devido à topografia do terreno, pois nesses locais a variação da lâmina não representa impacto significativo. Deve ser lembrado que os impactos causados são, na sua maioria, perfeitamente mitigáveis ou compensáveis.

O impacto social tem por função analisar a consequência do deslocamento de pessoas (no caso em estudo não haverá) e mudanças nas atividades econômicas e de recreação no TVR. Deve ser enfatizado que tanto esse como os demais aspectos que estão sendo analisados se referem aos efeitos da manutenção da água no trecho – curto circuitado entre a barragem e a casa de força. As atividades de recreação e turismo, para esse caso específico são pouco exploradas, devido às dificuldades de acesso ao local. Entretanto esse fator foi levado em consideração devido à importância dada pelos órgãos gestores.

A água que deverá ser mantida no trecho, onde será instalado o Sistema de Transposição de peixes, - STP's é um item muito importante, pois a implantação dessa estrutura é prática obrigatória em alguns estados brasileiros como São Paulo e Minas Gerais, com intuito de se atenuarem os efeitos negativos dos barramentos sobre os peixes migradores ou de piracema, conforme apresentado anteriormente.

Os principais usos da água para a região em estudo e para dessedentação animal, foram levados em consideração, conforme descrição feita no capítulo anterior, da mesma maneira que se avaliou a questão a qualidade da água.

A geração de energia é o critério que mais sofre com a variação de água, conforme mencionado anteriormente. A água destinada ao trecho é percentual que não será utilizado para produção de energia. Assim, quanto maior a vazão no trecho, menor será a rentabilidade do empreendimento, podendo acarretar a inviabilidade da obra. Entretanto esse é o critério de maior importância, pois esse é o grande motivador desse trabalho.

5.5 – DETERMINAÇÃO DAS ALTERNATIVAS - ESTIMADORES DE VAZÃO MÍNIMA

Vários são os estudos que sugerem a vazão mínima que deve ser mantida no curso d'água que atenda às necessidades ecológicas e sanitária do ecossistema em diagnóstico. Assim, para que se possa estimar a solução ideal para o caso em estudo, foram aplicados alguns métodos quantitativos apresentados nos itens 2.2.3 e 2.2.4 e outros que serão descritos a seguir.

O método Montana (Tennant), recomenda vazões mínimas garantidas para espécies aquáticas relacionadas, em função de percentagens de vazão média anual divididas em categorias que variam de acordo com as condições gerais de qualidade do habitat. Em seu texto, o autor diz que a aplicação desse método envolve a determinação da vazão residual sendo equivalente a 10% (0,82 m³/s), 30% (2,46 m³/s) e 60% (4,92 m³/s) da vazão média anual.

O procedimento da Nova Inglaterra ou da Vazão Básica – ABF é outro método hidrológico, conforme apresentado anteriormente, que tem como hipótese básica que a mediana das vazões mensais (Q₅₀) para o mês mais seco, é suficiente para a proteção da biota aquática. Para o caso em estudo, este valor equivale a 50% da vazão média mensal para o mês de Agosto, o que equivale a 2,60 m³/s.

Já Mortari (1997) afirma que a vazão residual deverá satisfazer duas condições primordiais: assegurar a vazão para peixes migratórios e garantir uma renovação de volume de duas vezes por dia para manter as condições de qualidade e oxigenação adequada ao habitat dos peixes. Segundo o autor, estudos realizados para implantação de usinas afirmam que para serem atendidas essas condicionantes, a vazão remanescente correspondente a 30% da vazão mínima média mensal que em nosso caso equivale a 0,77 m³/s.

O trabalho de Pacca e Fabrizzy (1996), mostrou que na França, em 1984, uma lei relativa à pesca em água doce definiu a vazão não turbinável no trecho curto-circuitado em 10% da vazão total da corredeira, durante todo o ano, quando esta for inferior a 80 m³/s. Para vazões acima deste valor, é fixado em 5%, mas pode ser aumentado pela vontade das autoridades. Além de proteger a fauna aquática, esta exigência procura não comprometer a salubridade pública, pois visa garantir o suprimento d'água à jusante da tomada d'água.

Os critérios fixados pelo extinto DNAEE estabeleciam a vazão remanescente no curso d'água, à jusante do barramento, não sendo inferior a 80% da vazão mínima média mensal, o que significa 2,06 m³/s.

O outro critério escolhido foi aquele sugerido pelo manual de PCH – Eletrobrás que considera que a vazão à jusante do barramento, não pode ser inferior à vazão mínima média mensal, calculada com base nas observações anuais no local previsto para o barramento, significando 2,58 m³/s.

Já o trabalho de Luz (1995), mostra estudos de cenários no planejamento no uso dos recursos hídricos embasado nos critérios de outorga estadual, considerando 20% de Q_{7,10} como sendo a vazão remanescente a ser mantida nos leitos dos rios. Assim, esse percentual representaria 0,62 m³/s.

A Resolução CONAMA 20/86, conforme apresentado no item 2.2.3, considera que a condição crítica de vazão para estudos sobre a capacidade de autodepuração dos corpos de água o Q_{7,10} com 3,12 m³/s.

O penúltimo critério escolhido, foi o método das vazões anuais mínimas de 7 dias. É um método hidrológico que vem tendo muita aplicabilidade na Inglaterra. Neste caso, a vazão de referência é a mínima das médias móveis das vazões diárias com janelas de 7 dias ao longo de cada ano hidrológico, sendo o valor adotado como referência, a média de todos os valores mínimos para toda a série histórica. Diferentemente do Q_{7,10}, esse método não associa essas vazões a um tempo de retorno de dez anos. Habitualmente, adota-se percentual outorgável, como sendo 100% desse valor, que, nesse caso equivale, 2,5 m³/s.

Uma opção que pode ser adotada no caso de não haver dados da série histórica de vazões, Larson apud Benetti et al. (2002), determinou na Nova Inglaterra, EUA, as vazões residuais em função da área de drenagem da bacia hidrográfica, chegando a um valor de 5,5 l/s.Km² de área de drenagem. Neste caso, onde a área de drenagem é de 480 Km², essa vazão representaria aproximadamente 2,64 m³/s. A tabela 5.2 apresenta todas as alternativas que estão sendo utilizadas para o caso em estudo.

Tabela 5.2 - Resumo das alternativas

Luz	Mortari	Montana 10%	DNAEE	Montana 30%	Q ₇	Eletrobrás	ABF	Benetti	Conama	Montana 60%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.62	0.77	0.82	2.06	2.46	2.50	2.58	2.6	2.64	3.12	4.92

5.6 – APLICAÇÃO DOS MÉTODOS MULTICRITERIAIS

Para aplicação dos métodos multicriteriais, foi realizada uma consulta a profissionais ligados aos Recursos Hídricos e Meio Ambiente, com objetivo de estabelecer, de forma isenta, o grau de importância relativa que os critérios teriam em relação aos demais, para o caso específico do TVR, conforme apresenta a tabela 5.3. Nesta estão representados os valores médios dos pesos adotados para cada critério.

Tabela 5.3 - Peso médio dos critérios adotados

Impacto Ambiental	Impacto Social	Recreação e Turismo	Sistema de Transposição	Usos da água	Qualidade da Água	Dessedetecção
6	4	3	7	4	5	5

Conforme citado anteriormente, o único critério que se beneficia do aumento da vazão no TVR é a energia. Dessa maneira, com intuito de se obter uma “competição” mais justa entre os critérios, adotou-se como solução que este critério deveria ter a mesma importância dos demais. Assim, o critério geração de energia tem peso 34.

O próximo passo foi elaborar a matriz de avaliação, onde cada critério foi analisado conforme cada alternativa apresentada.

Sendo o conjunto das alternativas determinada por: $A = \{a_1, a_2, \dots, a_{11}\}$ e o conjunto dos critérios determinados por: $C = \{c_1, c_2, \dots, c_8\}$ e o valor da alternativa a_i avaliado sob o critério c_j , determinado por $c_j(a_i)$, determinando-se a matriz de avaliação ou matriz de pay-off, segundo tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Matriz pay - off

	c_1	....	c_i	...	c_8
A_1	$C_1(a_1)$	....	$c_i(a_1)$	....	$c_8(a_1)$
.	.		.		.
.	.		.		.
.	.		.		.
a_i	$C_1(a_i)$	....	$c_i(a_i)$	....	$c_8(a_i)$
.	.		.		.
.	.		.		.
.	.		.		.
a_n	$C_1(a_{11})$	....	$c_i(a_{11})$	....	$c_8(a_{11})$

Assim, foi possível avaliar o comportamento de cada critério (escala de valores variando de 0 a 10), em função da variação da vazão, conforme tabela 5.5.

Tabela 5.5 - Matriz de avaliação

Alternativas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	f_i^*	f_i^{**}
Crítérios	==	==	==	==	==	==	==	==	==	==	==	==	==
Impacto Ambiental	4.0	4.2	4.4	6.0	6.5	6.65	6.8	6.9	7.0	7.2	7.8	7.8	4
Impacto Social	48	4.9	5.0	6.0	6.4	6.45	6.5	6.6	6.6	7.6	8.6	8.6	4.8
Recreação e Turismo	3.0	3.1	3.3	5.0	5.4	5.5	5.6	5.7	5.7	6.5	7.5	7.5	3
Sistema de Transposição	0	4.0	4.5	5.6	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	8.5	10	10	0
Usos da água	5.5	5.7	5.8	7.0	7.2	7.25	7.3	7.4	7.5	8.2	8.5	8.5	5.5
Qualidade da Água	7.0	7.1	7.2	8.2	8.5	8.55	8.6	8.6	8.6	9.0	9.2	9.2	7
Dessedentação animal	8.0	8.0	8.1	9.0	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.4	9.5	9.5	8
Produção de Energia	9.5	9.4	9.2	7.0	6.6	6.55	6.5	6.4	6.4	5.0	4.5	9.5	4.5

5.6.1 – PROGRAMAÇÃO POR COMPROMISSO

Com os dados apresentados na equação 5.1 e após a determinação da matriz de avaliação e dos pesos de cada critério, foi possível aplicar a metodologia do CP. Para $S = 1$, tivemos os seguintes resultados conforme mostra a tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Resultado da metodologia CP para $S = 1$

ALTERNATIVAS											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ls	0.09	0.08	0.08	0.04	0.03	0.0267	0.02	0.02	0.02	0.01	0.00
ls	0.06	0.06	0.06	0.04	0.03	0.0333	0.03	0.03	0.03	0.02	0.00
ls	0.04	0.04	0.04	0.02	0.02	0.0196	0.02	0.02	0.02	0.01	0.00
ls	0.10	0.06	0.06	0.05	0.04	0.0422	0.04	0.04	0.04	0.02	0.00
ls	0.06	0.05	0.05	0.03	0.03	0.0245	0.02	0.02	0.02	0.01	0.00
ls	0.07	0.07	0.07	0.03	0.02	0.0217	0.02	0.02	0.02	0.01	0.00
ls	0.07	0.07	0.07	0.02	0.01	0.0147	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
ls	0.00	0.01	0.03	0.25	0.29	0.2950	0.30	0.31	0.31	0.45	0.50
Σ	0.5000	0.4544	0.4509	0.4892	0.4817	0.4777	0.4738	0.4760	0.4707	0.5221	0.5000

Como a metodologia do CP aponta, como melhor solução, aquela que apresenta a menor distância, então teremos que a alternativa 3 apresenta a melhor solução, quando aplicado o valor de $S = 1$. Desta maneira, a proposta estudada por Tennant, que recomenda ser mantido 10% da vazão média de longo termo, ou seja, $0,82 \text{ m}^3/\text{s}$ como a quantidade mínima a ser mantida no corpo d'água, se mostra a solução mais adequada para este caso em estudo.

Da mesma maneira, a metodologia se repetiu para $S = 2$ e obtiveram-se os seguintes resultados segundo tabela 5.7.

Tabela 5.7 - Resultado da metodologia CP para S = 2

ALTERNATIVAS											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ls	0.0078	0.0070	0.0062	0.0017	0.0009	0.0007	0.0005	0.0004	0.0003	0.0002	0.0000
ls	0.0035	0.0033	0.0031	0.0016	0.0012	0.0011	0.0011	0.0010	0.0010	0.0002	0.0000
ls	0.0019	0.0019	0.0017	0.0006	0.0004	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003	0.0001	0.0000
ls	0.0106	0.0038	0.0032	0.0021	0.0019	0.0018	0.0017	0.0016	0.0015	0.0002	0.0000
ls	0.0035	0.0030	0.0028	0.0009	0.0006	0.0006	0.0006	0.0005	0.0004	0.0000	0.0000
ls	0.0054	0.0049	0.0045	0.0011	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0000	0.0000
ls	0.0054	0.0054	0.0047	0.0006	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0000	0.0000
ls	0.0000	0.0001	0.0009	0.0625	0.0841	0.0870	0.0900	0.0961	0.0961	0.2025	0.2500
Σ	0.1951	0.1714	0.1647	0.2666	0.2998	0.3038	0.3079	0.3170	0.3166	0.4510	0.5000

Para o valor de S = 2, a melhor solução continuou sendo a número 3. Entretanto houve um desempate em relação a pior situação. No caso anterior, a primeira e a última alternativa se mostraram as piores respostas, mas para esse caso, a opção 11 se mostrou como a solução mais desfavorável para o caso em estudo.

5.6.2 – TEORIA DOS JOGOS COOPERATIVOS

Para os mesmos dados do caso anterior, aplicou-se a equação 5.2 para aplicação da metodologia proposta através do método do CP, conforme tabela 5.8.

Tabela 5.8 - Resultado da metodologia CGT

ALTERNATIVAS											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ls	1.00	1.20	1.21	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.24	1.24	1.24
ls	1.00	1.01	1.01	1.05	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.08	1.10
ls	1.00	1.00	1.01	1.05	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.07	1.08
ls	1.00	1.18	1.19	1.21	1.22	1.22	1.22	1.22	1.23	1.26	1.28
ls	1.00	1.01	1.02	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.07	1.08	1.08
ls	1.00	1.01	1.01	1.06	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.08	1.09
ls	1.00	1.00	1.01	1.05	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.07	1.07
ls	2.45	2.43	2.39	1.87	1.76	1.75	1.73	1.70	1.70	1.22	1.00
Π	2.449	3.548	3.639	3.602	3.541	3.540	3.537	3.505	3.519	2.758	2.379

Diferentemente do CP, o CGT visa maximizar a distância ao ponto desejável. Dessa maneira, a alternativa 3 continuou sendo a melhor alternativa para o caso em estudo. O quadro abaixo apresenta uma comparação entre as respostas para cada caso estudado.

Tabela 5.9 - Resposta dos métodos multicriteriais estudados

		1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º	11º
CP	1	3	2	9	7	8	6	5	4	1 11	10	
	2	3	2	1	4	5	6	7	9	8	10	11
CGT		3	4	2	5	6	7	9	8	10	1	11

Analisando os dois métodos estudados, pode-se ser verificar que as alternativas 2 e 3 figuraram entre as melhores opções, enquanto que as escolhas 1, 10 e 11 figuraram entre as

piores. O interessante de se aplicar essa metodologia se deve ao fato de se confirmar que, quando se adota como solução atitudes extremas, como no caso das alternativas 1 e 11, que sugerem a manutenção de $0,62 \text{ m}^3/\text{s}$ e $4,92 \text{ m}^3/\text{s}$ representaram as piores respostas.

A tabela 5.10, faz uma comparação entre o TVR de Usinas Hidrelétricas que estão em funcionamento, com a que está sendo proposta para esse empreendimento. Deve ser observado que algumas instalações foram realizadas há muitos anos, quando a legislação ambiental não era tão rigorosa como nos dias atuais.

Tabela 5.10 - Comparação do TVR de Usinas

Usina	Potência (MW)	Q_{TUR} (m^3/s)	Q_{TVR} (m^3/s)	Q_{TVR}/Q_{TUR} (%)	TVR (m)
PCH Buritis	2,2	1,7	0,10	6	2100
PCH Esmeril	5,0	9,4	0,49	5,2	-
PCH Capão Preto	4,2	6,9	0,1	1,5	1750
PCH Muniz Freire	25	14,22	0,50	3,5	1600
PCH Foz do Chopim	27,6	150	8,30	5,5	4000
PCH Paraitinga	7	10,1	0,82	8,2	3200

Conforme o desenrolar desse trabalho, pode ser visto que a aplicação de métodos multicriteriais, como ferramenta que subsidie a tomada de decisão, se mostrou um utensílio muito eficaz e possui a vantagem, de poder ser adaptado conforme a necessidade e característica do estudo envolvido.

5.7 – CONCLUSÕES

Contudo, analisando o entrave existente entre os empreendedores e órgãos ambientais, pode-se ver que, para o caso específico deste empreendimento, a manutenção do valor do $Q_{7,10}$, exigido pelo órgão ambiental para o TVR, não irá invalidar os impactos ambientais existentes. Entretanto as perdas de energia com a adoção dessa vazão são significativas do ponto de vista energético e conduzem à inviabilidade econômica do empreendimento. Deve-se ressaltar que a adoção de percentuais de vazões de referência é meramente um valor comparativo, já que os impactos ambientais no trecho de vazão reduzida são função dos usos da água e têm que ser avaliados caso a caso. Dessa maneira a aplicação de métodos multicriteriais pode se mostrar um instrumento eficaz.

O ideal seria que se fizesse, dentro do possível, considerando cenários atuais e projeções futuras, uma análise criteriosa de cada situação, podendo assim constituir um melhor indicador da vazão remanescente. Dessa maneira, projetos hidrelétricos baseados em derivações de vazões deveriam sempre considerar primeiramente os usos da água no TVR para, em seguida, estabelecer o limite mínimo da vazão neste trecho. Da mesma maneira, Schwartzman et al. (2002) afirma que o IGAM, ao emitir outorga, considera que todas as

vazões para os diversos usos (abastecimento, irrigação, dessedentação de animais e uso industrial) são totalmente consuntivas, não havendo retorno das águas servidas no cálculo de novas vazões outorgáveis. Não sendo previsto a sazonalidade das vazões outorgadas, deve-se considerar, os fluxos constantes ao longo dos diversos períodos do ano.

Com o objetivo de estudar a aplicação dos instrumentos da outorga e cobrança o autor realizou a aplicação desses instrumentos na bacia do Paraopeba no estado de Minas Gerais. Ao realizar uma simulação baseada em projeções de crescimentos de demanda de água na bacia hidrográfica, o autor mostrou a impossibilidade de atender-se a todas as demandas, tomando – se como vazão disponível em 2006 aquela outorgável (30 % de $Q_{7,10}$).

Da mesma maneira, na análise de risco de não atendimento às demandas, ficou claro que a outorga de direito de uso de recursos hídricos não pode se basear em apenas um critério de vazão referencial. Existe um risco associado aos fenômenos hidrológicos de produção de chuva e vazões que deve ser considerado. Esta análise constitui-se num critério adicional para os processos de outorga, a qual poderá ser associada a determinada garantia de atendimento, em função dos riscos de falhas.

Em suma, pode- se observar, que o critério de se outorgar um percentual de uma vazão de referência pode ser adequado em algumas bacias hidrográficas, protegendo os mananciais de uma exploração excessiva, mas poderá se tornar restritivo, em bacias onde há maior disponibilidade de recursos hídricos. Além disso, a fixação de um percentual, em todo os cursos de água, não tem fundamento técnico, podendo ser insuficiente para o meio biótico.

Como nesse exemplo estudado, deduz -se que medidas mitigadoras apropriadas a cada caso mostram-se mais eficientes que a simples manutenção de uma vazão residual elevada, caso seja esta fixada apenas com base quantitativa. Via de regra, os locais propícios para a implantação de PCHs apresentam quedas elevadas e conseqüentes TVRs com forte declividade, onde o acréscimo de vazão não resulta em benefícios proporcionais, pois a lâmina d' água pode ser pouco afetada.

Contudo pode ser observado que existe a necessidade de se evoluir nos critérios de emissão de outorga, com estudos mais aprofundados e específicos, que podem convergir para a adoção de novas vazões de referência e o desenvolvimento de pesquisas sobre vazões residuais e a sazonalidade das vazões a serem outorgadas, em função dos diversos, usos a que se destinam os recursos hídricos.

6 – OPERAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS

6.1 – JUSTIFICATIVA

Os modelos empregados pelo setor elétrico estão sujeitos a uma série de incertezas, que os torna pouco robustos e de difícil compreensão. Destacam-se, nesta série, parâmetros econômicos, tais como a taxa de desconto, os custos de geração térmica e o custo do déficit, sendo que os dois primeiros estão submetidos à grande influência externa e o segundo é ainda pouco definido tecnicamente, funcionando mais como um parâmetro regulador.

Ainda falando de incertezas, os modelos projetam demandas e expansão do parque gerador, que quase nunca se materializam, notadamente a ampliação da geração. Observa-se, da crise recente do setor, que era prevista uma expansão, fortemente baseada em termelétricidade, que não ocorre e nem vai ocorrer como prevista. Além do mais, o setor elétrico busca um ótimo global, olvidando-se das necessidades locais, ou, quando muito, incorporando alguma restrição ambiental, como vazão mínima defluente (Santos² et al 2003.)

Quando se fala das necessidades locais, pode ser citado o caso das comunidades, que desenvolvem suas atividades econômicas no lago dos reservatórios e que têm sofrido enormemente com os sensíveis deplecionamentos, não apenas pelas intensidades, mas, sobretudo, pelas suas durações.

Dentre vários eventos, podem ser citados a impossibilidade recente de navegação em Itaipu, o impacto ao turismo e piscicultura nos reservatórios de Caconde e Furnas, o prejuízo a culturas permanentes irrigadas no Vale do São Francisco e os danos ocorridos em Três Marias decorrentes das variações de vazões, ocasionando grande influência na navegação, assoreamento, meio ambiente e outros usos da água.

Em busca de uma atenuação desses impactos, este trabalho vem mostrar que é possível a adoção de um modelo de operação que pondere os usos múltiplos da água, conforme preconiza a lei 9.433/97, atendendo os interesses das populações de jusante (interessada na regularização de vazões) e de montante (interessada em um deplecionamento menos intenso, menos freqüente e de menor duração), contrapondo o protótipo atual, que tem como foco principal a geração de energia.

A metodologia desenvolvida neste capítulo e que será aplicada à UHE de Furnas, visa fazer uma reflexão sobre o atual modelo de operação do sistema elétrico brasileiro. Presentemente, o Operador Nacional do Sistema Elétrico -ONS concentra sua atuação sobre o Sistema Interligado Nacional -SIN, sendo a maior parte da capacidade instalada composta por usinas hidroelétricas que se distribuem em 12 diferentes bacias hidrográficas em diversas regiões.

Como as usinas hidrelétricas são construídas onde melhor se pode aproveitar as aflúncias e os desníveis dos rios, comumente em locais distantes dos centros consumidores, foi necessário desenvolver, no país, um extenso sistema de transmissão, formando caminhos alternativos, permitindo transportar a energia produzida até os centros de consumo. Mais ainda, as grandes interligações possibilitam a troca de energia entre regiões, permitindo obter benefícios a partir da diversidade de comportamento das vazões entre rios de diferentes bacias hidrográficas, figura 6.1.

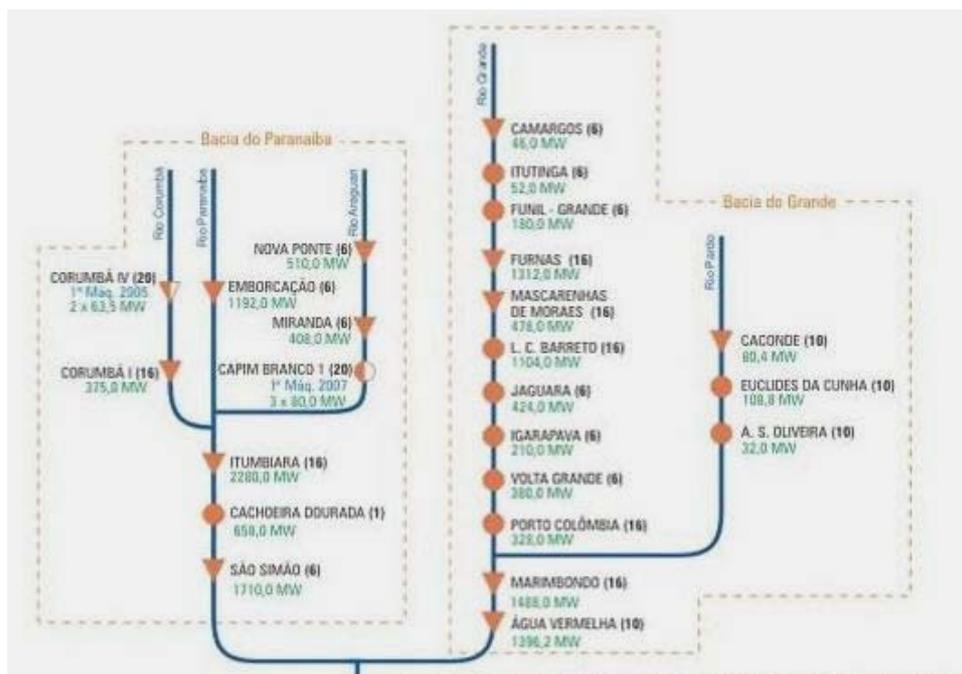


Figura 6.1. - Diagrama parcial do SIN

Fonte: ONS (2004)

Desde meados da década de 70, o sistema eletroenergético brasileiro é operado de forma coordenada, visando obter ganhos sinérgicos a partir da interação entre os agentes. A operação coordenada visa minimizar os custos globais de produção de energia elétrica, contemplando restrições intra e extra-setoriais e aumentando a confiabilidade do atendimento. Conceitualmente, a operação centralizada do Sistema Interligado Nacional está embasada na interdependência operativa entre as usinas, na interconexão dos sistemas elétricos e na integração dos recursos de geração e transmissão no atendimento ao mercado.

A interdependência operativa é causada pelo aproveitamento conjunto dos recursos hidrelétricos, através da construção e da operação de usinas e reservatórios localizados em seqüência em várias bacias hidrográficas. Desta forma, a operação de uma determinada usina depende das vazões liberadas à montante por outras usinas que podem ser de outras empresas, ao mesmo tempo em que sua operação afeta as usinas à jusante, de forma análoga.

Nos casos de períodos de condições hidrológicas desfavoráveis, as usinas térmicas podem contribuir para o atendimento ao mercado como um todo, e não apenas aos consumidores de sua empresa proprietária, e já chegou a alcançar 9,02% do total da produção de energia gerada. Nesta situação, deveria se exigir do ONS uma gestão cuidadosa dos reservatórios das usinas hidrelétricas, compatibilizando o uso múltiplo da água na produção de energia, navegação, abastecimento e questões ambientais, o que demandaria grande interação com a ANEEL, ANA, organismos federais e estaduais, CBH's e agentes associados. No entanto a transferência de energia entre regiões, intensamente utilizada para a otimização sistêmica, privilegiando o ganho de energia, da maneira como é realizado nos dias atuais, beneficia toda a população brasileira, expondo os usuários do entorno dos reservatórios a um grande risco econômico de suas atividades, sejam elas de pesca, navegação, turismo dentre outras, por estarem expostos a sazonalidade de níveis de água dos reservatórios, (ONS, 2004).

Neste estudo, será proposta uma metodologia de operação, mostrando que é possível, operar o sistema elétrico brasileiro, conforme já estabelecia, o Código de Águas (Decreto nº 24.643 de 1934), que em seu Artigo 143, institui que todos os aproveitamentos de energia hidráulica deverão satisfazer as exigências acauteladoras dos interesses gerais como: Alimentação e necessidades das populações ribeirinhas, salubridade pública, irrigação, proteção contra as inundações, conservação e livre circulação do peixe, o escoamento e rejeição das águas. Deve ainda atender a outros aspectos, como beleza cênica e paisagística do rio, beneficiando tanto a população do entorno, como os usuários que se localizam adiante da casa de máquinas, com vazões regularizadas, assim como garantir que não haverá perda de energia ao sistema.

6.2 – O MODELO

Conforme mencionado no início desse capítulo, às incertezas de operação do modelo, acarretam conflitos entre os interesses dos usuários que residem à jusante de um reservatório e a que vive no seu entorno. Assim, a proposta dessa parte do trabalho é minimizar os efeitos das operações que levam os reservatórios a trabalhar em extremos, justificadas em sua grande parte por problemas macroeconômicos. Desta maneira, esse estudo irá evoluir para o desenvolvimento de um critério de outorgada, em função de restrições de duração e frequência do nível de água a ser mantida nos lagos, buscando maior segurança no que diz respeito à permanência de cotas e vazões.

Desde modo, num primeiro passo, o enfoque foi encontrar um critério neutro de operação. Neste caso, o reservatório deveria perseguir uma vazão defluente que se aproxima

ao máximo da vazão média de longo termo, definindo uma política de operação de minimização do desvio-médio quadrático, ao longo do tempo. Ou seja:

$$\min z = \sum_{i=1}^T (\bar{Q} - Q_{di})^2 \quad (6.1)$$

Sujeito a:

$$VA_t = VA_o + \sum_{i=1}^T (Q_{ai} - Q_{di}) \quad (6.2)$$

$$VA_{\min} \leq VA_t \leq VA_{\max}, \forall t \quad (6.3)$$

Onde:

- \bar{Q} Vazão média (m³/s)
- Q_{di} Vazão defluente no instante i (m³/s)
- Q_{ai} Vazão afluente no instante i (m³/s)
- VA_t Volume regularizado (m³)
- VA_0 Volume morto (m³)
- VA_{\min} Volume mínimo (m³)
- VA_{\max} Volume máximo (m³)

Essas equações revelam, na verdade, um antigo método gráfico, que era utilizado na primeira metade deste século para o estudo de regularização parcial em centrais hidrelétricas, conhecido como “fio estendido” ou Conti-Varlet. Esse procedimento visa modular as vazões extremamente variáveis, tornando - as o mais constante possível. Segundo Souza *et al* (1999), isto poderá ser obtido da seguinte maneira:

Com base na demanda de água ao longo do tempo ($Q_d(t)$), que pode ser medida ou sintetizada, pode-se construir a curva do volume diferencial acumulado (VDA(t)), que é a integral ou somatório da diferença entre a vazão consumida a cada instante e a vazão média consumida (Q_m), dado pela equação (6.4) ou (6.5).

$$VDA(t) = \int_0^t [Q_d(t) - Q_m] dt \quad (6.4)$$

$$VDA_I = \sum_{i=1}^I [(Q_{D_i} - Q_m) \Delta t] \quad (6.5)$$

Pode-se construir esta curva conjuntamente com outra idêntica, mas deslocada para cima de uma distância correspondente ao volume disponível para armazenamento (VD). Caso já exista um reservatório, o volume do mesmo será adotado como VD. Caso se deseje construir o reservatório, o estudo deverá ser feito para diferentes volumes, sendo que uma análise econômica definirá o volume ótimo, figura 6.2.

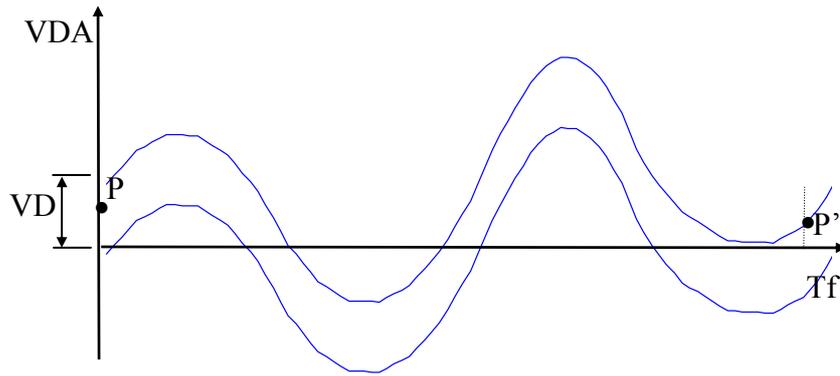


Figura 6.2 - Curva do volume diferencial acumulado

Partindo-se de um ponto genérico P, indicado na Figura 6.3, busca-se o “melhor” caminho para alcançar P’, respeitando-se os limites superior e inferior, que representam a capacidade de armazenamento e a função da demanda. A vazão regularizada (Q_R), em cada instante de tempo, será dada pela equação (6.6), onde $VAO(t)$ é o volume acumulado dado pela curva otimizada.

$$Q_R(t) = -\frac{dVAO(t)}{dt} + Q_m \quad (6.6)$$

O método do fio estendido, já citado, define esse caminho. Entretanto, assumindo-se que a curva de demanda seja cíclica, o ponto P deve ter o mesmo deslocamento de P’ em relação ao eixo x, pois o estudo se repetiria a partir de então. Também a inclinação da reta em P deveria ser a mesma que em P’. Isto induz a se fazer um estudo iterativo, variando-se P e P’ simultaneamente. Tal procedimento é válido, mas moroso. Uma alternativa é repetir duas vezes o ciclo de carga e definir P e P’ quaisquer. A operação ótima será aquela correspondente ao ciclo intermediário. Ao se proceder assim, elimina-se o efeito das pontas (P e P’). A Figura 6.3 ilustra o exposto.

Operação Otimizada

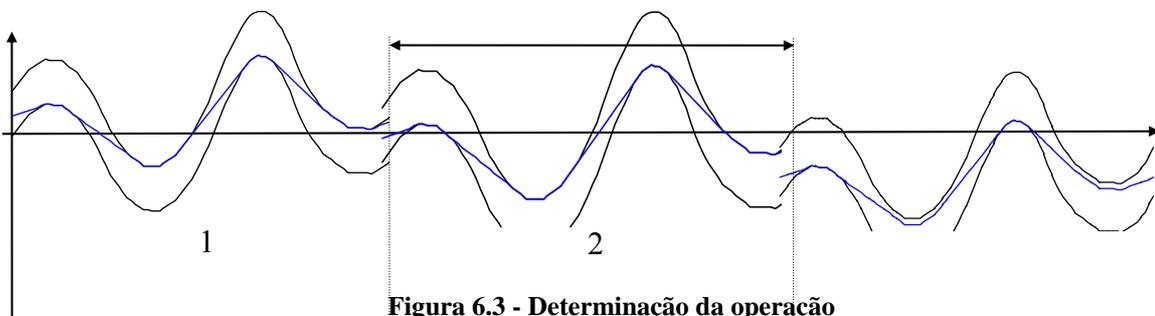


Figura 6.3 - Determinação da operação

Sobre o critério de otimização, cabe ressaltar que o método de Conti-Varlet busca o menor caminho entre os extremos. O procedimento computacional adotado para se encontrar o caminho do “fio estendido” utilizou Programação Dinâmica, que vem apresentando bons resultados, conforme afirma Santos (2001).

6.3 – UHE DE FURNAS

A Central Elétrica de Furnas foi criada em 28 de fevereiro de 1957, através do decreto federal número 41.066, com o desafio de sanar a grave crise energética que ameaçava os três principais centros socioeconômicos do país: São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte. Hoje, a Empresa conta com dez usinas hidrelétricas e duas termelétricas, sendo 42 subestações e 18.000 km de linhas de transmissão, (FURNAS, 2004).

A Usina Hidrelétrica de Furnas, figura 6.4, nosso estudo de caso, foi a primeira usina construída pela Empresa, da qual herdou o nome. A barragem está localizada no curso médio do rio Grande, no trecho denominado "Corredeiras das Furnas", entre os municípios de São João da Barra e São João Batista do Glória, em Minas Gerais. É administrada indiretamente pelo Governo Federal, vinculada ao Ministério de Minas e Energia e controlada pela ELETROBRÁS.

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 potência prevista no início de sua construção correspondia a 1/3 do total instalado no Brasil. A Usina de Furnas, além de se constituir um marco de instalação de grandes hidrelétricas no Brasil, possibilitou a regularização do rio Grande e a construção de mais oito usinas, aproveitando, integralmente, um potencial de mais de 6.000 MW instalados.

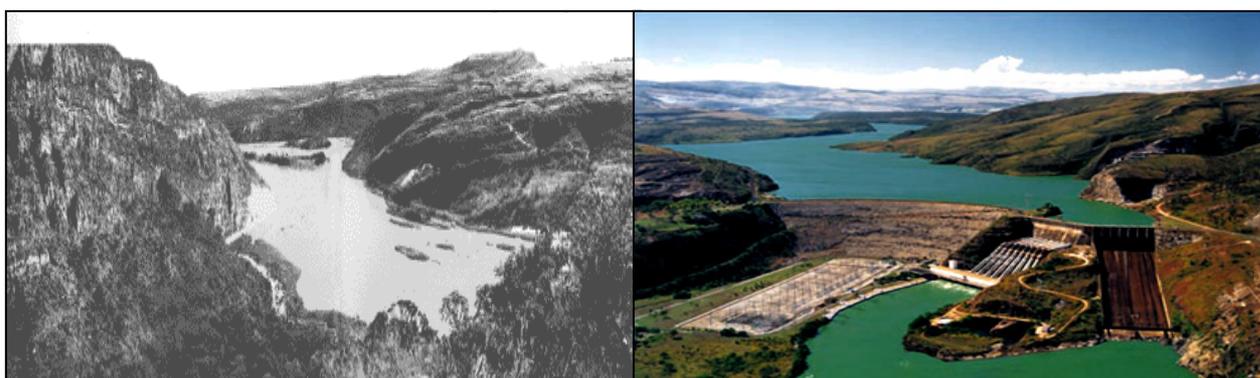


Figura 6.4 - Represa de Furnas antes e depois de sua implantação

Fonte: Furnas (2004)

O Reservatório de Furnas tem cerca de 1440 Km² de área inundada e perímetro de 3500 Km, banha 34 municípios, figura 6.5, com população de aproximadamente 800.000 habitantes. O enchimento do reservatório de 22,95 bilhões de m³ e volume útil de 17,21 bilhões de m³ ocorreu em 1963 e a geração média de energia foi de 700MW. O projeto de

aproveitamento prevê uma variação de cota entre 768 e 750m (nível máximo e mínimo de operação). Na tabela 10.2 do anexo 1, encontra-se os dados históricos de média mensal de nível do reservatório.

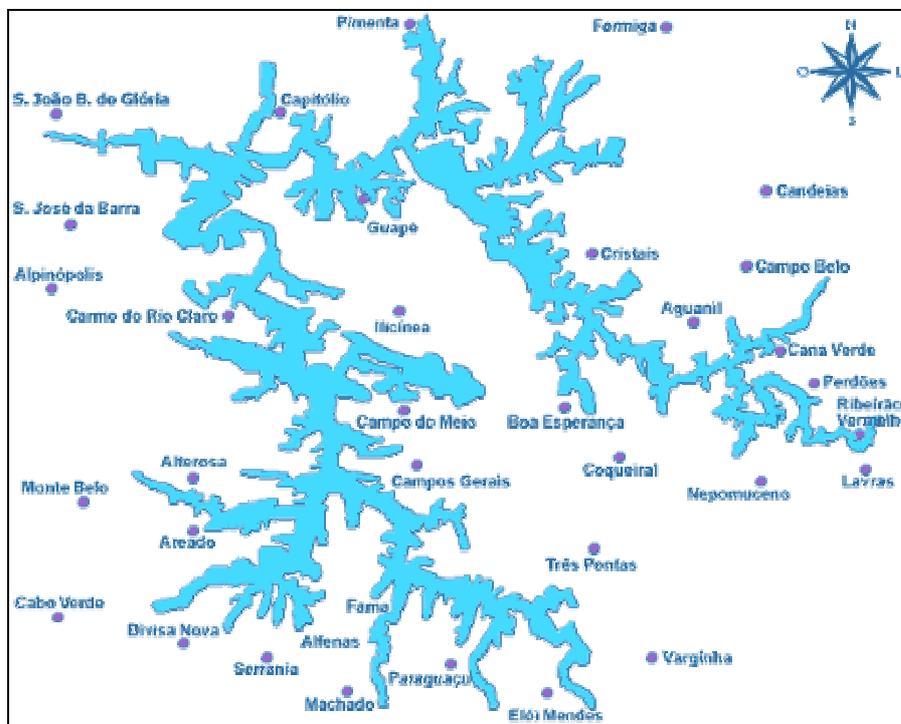


Figura 6.5 - Municípios do Entorno de Furnas

Fonte: Praias de minas (2003)

Segundo Engel (2000), o rebaixamento prolongado do nível das águas do reservatório de Furnas, figura 6.6, resultante de condições hidrológicas desfavoráveis e de redução nos investimentos do setor elétrico brasileiro, somado aos percalços na programação de entrada em operação de novas usinas e de linhas de transmissão, resultou em perdas significativas para os usuários das águas do Lago de Furnas. Estes passaram a pleitear uma cota mínima de operação do lago (762 m), que será utilizada como referencial para os estudos, além de recursos para tratamento dos esgotos urbanos. Dados da Associação dos Usuários do Lago de Furnas -ASUL mostram que os principais impactos do deplecionamento foram:

- Redução no movimento de turistas em 70%;
- Diminuição de 40 % na produção agrícola;
- Transtorno nas propriedades lindeiras para a dessedentação animal;
- Redução na qualidade e quantidade de peixes;

Além disso, Santos (2002), afirma que todo o esgoto proveniente das áreas urbanas, que antes era lançado diretamente no lago, embora sem qualquer tratamento, conta, de imediato, com uma enorme capacidade de diluição, reduzindo sobremaneira seu impacto

direto no ambiente. Com o rebaixamento do reservatório, o efluente passa a percorrer grandes distâncias a céu aberto, onde o processo de decomposição da matéria orgânica já se estabelece, provocando o aparecimento de odores e colocando em risco a saúde das pessoas e dos animais que possam com ele ter contato.



Figura 6.6 - Estância Turística Escarpas do Lago na cidade de Formiga em dois momentos deplecionamento em 1998 e o reservatório cheio em 2003

Igualmente aos problemas causados a diluição, o esvaziamento do reservatório até níveis extremos, por um longo período de tempo, tem permitido o aparecimento de grande quantidade de vegetação, principalmente nas áreas de várzea antes alagadas. Quando do retorno das águas aos níveis históricos de operação, a vegetação entrará em decomposição, com reflexos imediatos na piora da qualidade da água, notadamente junto às margens, onde se desenvolve a maioria das atividades turísticas, entre outras a pesca esportiva.

Adicionalmente, o autor, afirma que a exposição de extensas áreas de margens, especialmente as de topografia mais acidentada, acelera o processo de assoreamento, em virtude do carreamento do solo que, sem a proteção da vegetação, é levado pelas águas de chuva, reduzindo o volume do reservatório, dificultando a utilização das águas próximas às margens, onde ocorre grande parte da atividade turística, e contribuindo para a degradação da qualidade da água.

No período de 1998 a 2000, época de maior crise do setor elétrico, pôde ser observado que, em apenas 30% do tempo, a usina operou em uma condição que não viesse a causar grandes danos para as populações que residem no entorno do lago, tomando por base a altura H_{req} solicitada pela população da ASUL (762 m).

6.4 – APLICAÇÃO DO MODELO

Conforme apresentado no item 6.1, o método do fio estendido tem por finalidade encontrar a vazão mais constante possível, conforme apresentam as figuras 6.7 e 6.8, que mostram, para o lago de Furnas, o efeito regularizador alcançado, utilizando-se somente este critério. As figuras 6.9 e 6.10 apresentam, respectivamente, as curvas de duração de vazões e de nível do reservatório. Os dados básicos de cota e vazão, utilizados para esses estudos, estão na tabela 10.3 do anexo 1.

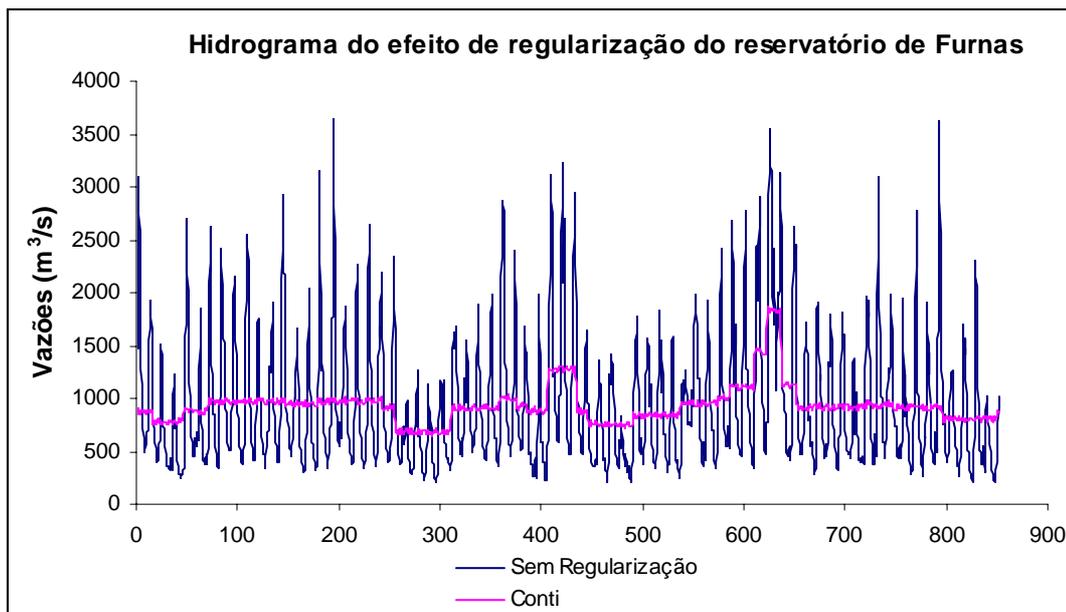


Figura 6.7 - Hidrograma de Furnas com e sem regularização

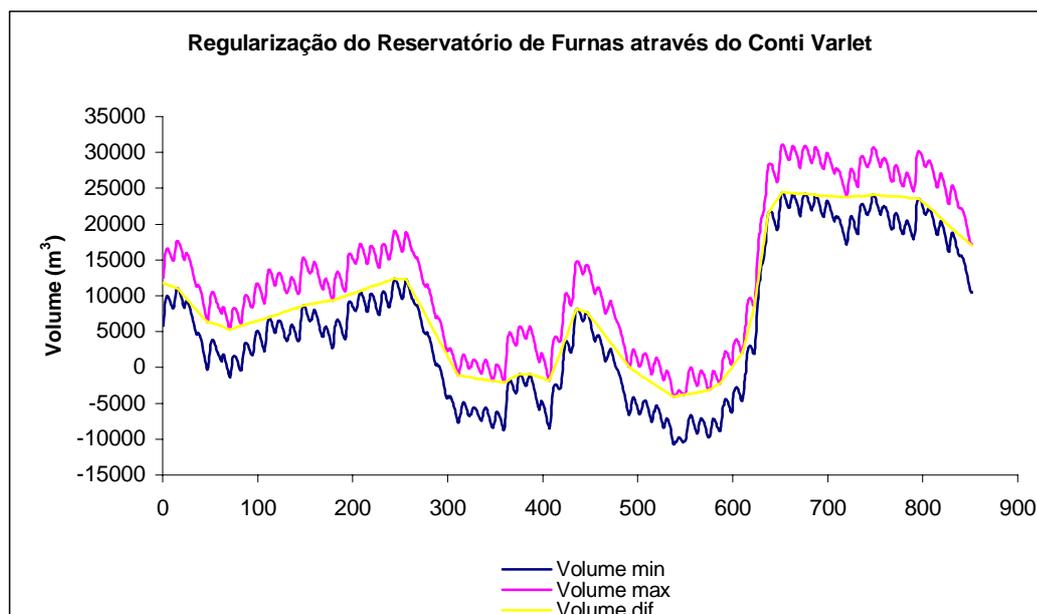


Figura 6.8 - Regularização do volume do reservatório de furnas

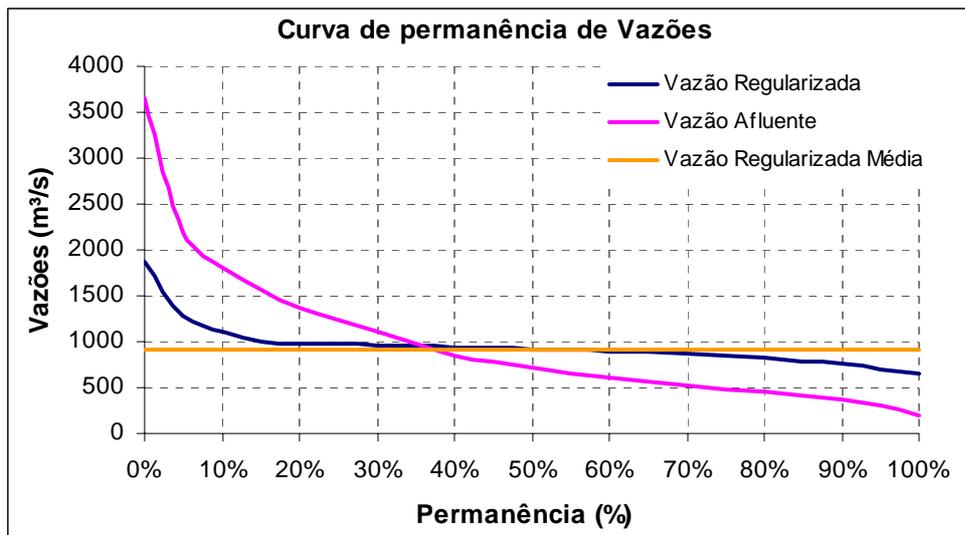


Figura 6.9 - Curvas de duração das vazões afluente e regularizada

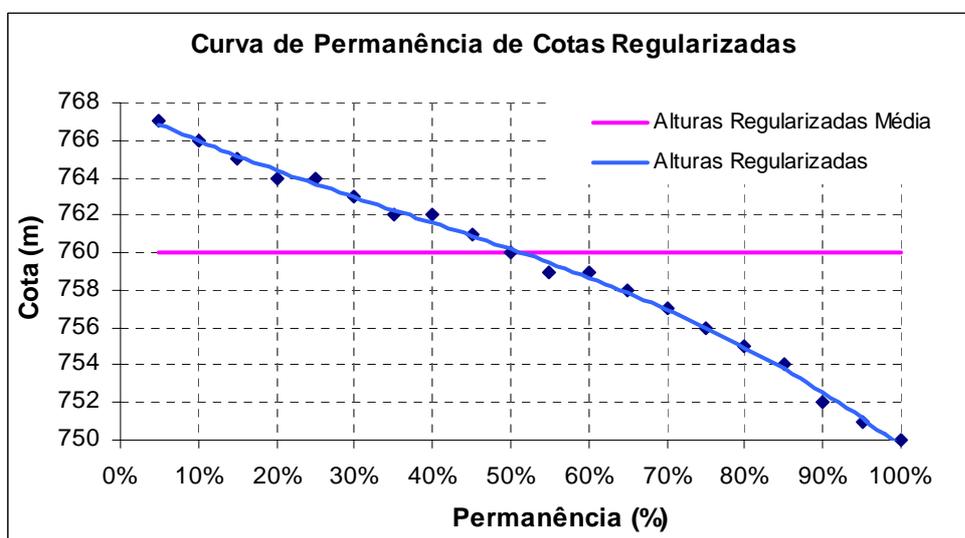


Figura 6.10 - Curva de duração do nível do reservatório

Como pode ser observado, através do Método do Conti –Varlet, as vazões regularizadas aproximam-se do valor médio. O mesmo não se pode dizer a respeito do comportamento dos espelhos d’água. Assim, a população lindeira sofre em benefício dos de jusante, intensamente com o deplecionamento, não só pela intensidade do mesmo, mas sobretudo pela duração. Caso fosse só a intensidade, a discussão poderia se concentrar no nível mínimo operativo (H_{min}), procurando elevá-lo. A figura 6.11, mostra como será a regularização de Furnas, seguindo o critério adotado, e comparando com uma redução do volume útil para 2/3 e 1/3 de seu valor nominal, representando uma elevação no mínimo para 758 m no primeiro caso e 763,5 m no segundo.

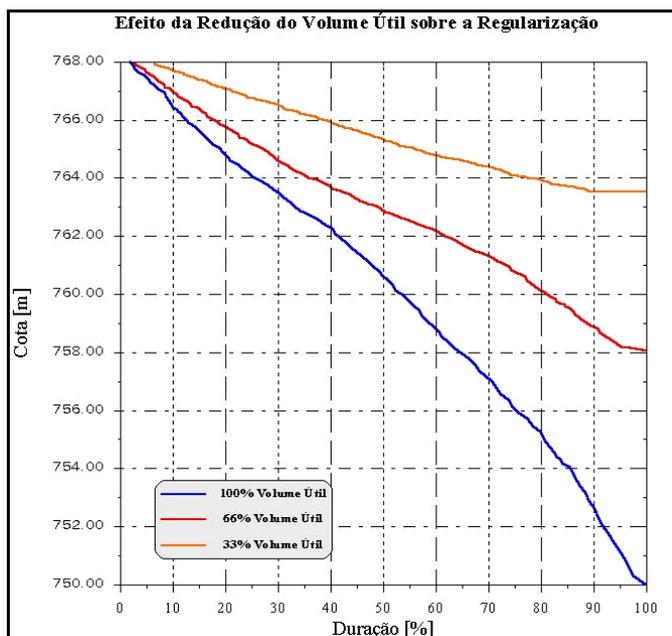


Figura 6.11 - Efeito de redução do volume útil sobre a regularização de vazões

A redução do volume útil seria uma demanda evidente da população local e poderia ser atendida, em certa medida, sem maiores perdas. Lembre-se que a curva cota-volume tem forte concavidade, representando, em seu início, menor inclinação, o que leva a significativos ganhos de cota para pequenas perdas de um volume útil. Neste caso, pode ser verificado que o reservatório teve um rebaixamento superior a 4 metros 75% do tempo, e com a redução de 66% do volume útil, passaria ter um deplecionamento de 25%. Mas essa perda pode ser essencial para períodos longos de escassez hídrica. Preferível seria mudar o critério operativo, preservando a parte inferior do volume acumulado apenas para casos extremos. Propõe-se, então, uma evolução da função objetiva, dada em (6.1), incorporando aí, uma penalização para níveis indesejáveis do reservatório, que poderia ser crescente conforme se desviasse da faixa desejada. A figura 6.12 mostra essa curva de penalidade, ressaltando aí, que o fator de punição (k_p) cresce tanto para níveis mais baixos, quanto para mais altos, em relação à faixa desejada.

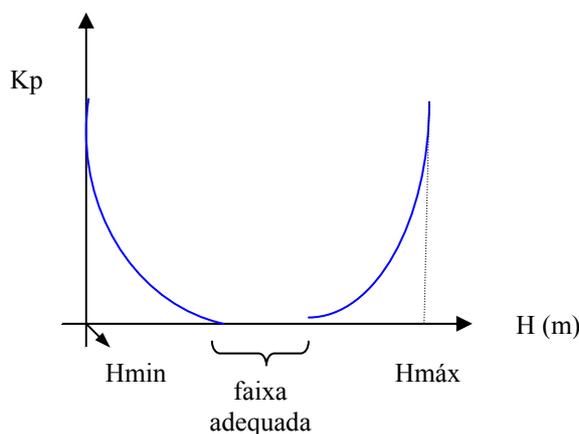


Figura 6.12 - comportamento do fator de punição (K_p)

Portanto, a função objetiva evoluiria para:

$$\min z = \sum_{i=1}^T (\bar{Q} - Q_{di})^2 + kp_i \quad (6.7)$$

Sujeito às mesmas restrições anteriores, e sabendo que:

$$kp_i = f(H_t) = f(g(VA_t))$$

Onde: H_t é a altura regularizada (6.8)

Para que se possa ponderar a adequada influência de cada parcela da função objetiva na operação do reservatório utilizaram-se dois fatores de penalização W_1 e W_2 , conforme a expressão (6.9). O uso de penalidades irá permitir que sejam realizadas simulações para diferentes combinações de pesos, objetivando a visualização do efeito na regularização do nível do reservatório.

$$\min z = W_1 \cdot \sum_{i=1}^T (\bar{Q} - Q_{di})^2 + W_2 \cdot kp_i \quad (6.9)$$

As figuras 6.13 e 6.14 apresentam as curvas de duração de vazões e cota, para uma simulação com diferentes combinações de penalidades W_1 e W_2 , com altura de referência na cota máxima. Observe que quanto menor as penalizações para W_1 , a finalidade de se obter a regularização de vazões vai se perdendo.

Sujeito a:

$$W_1 + W_2 = 1$$

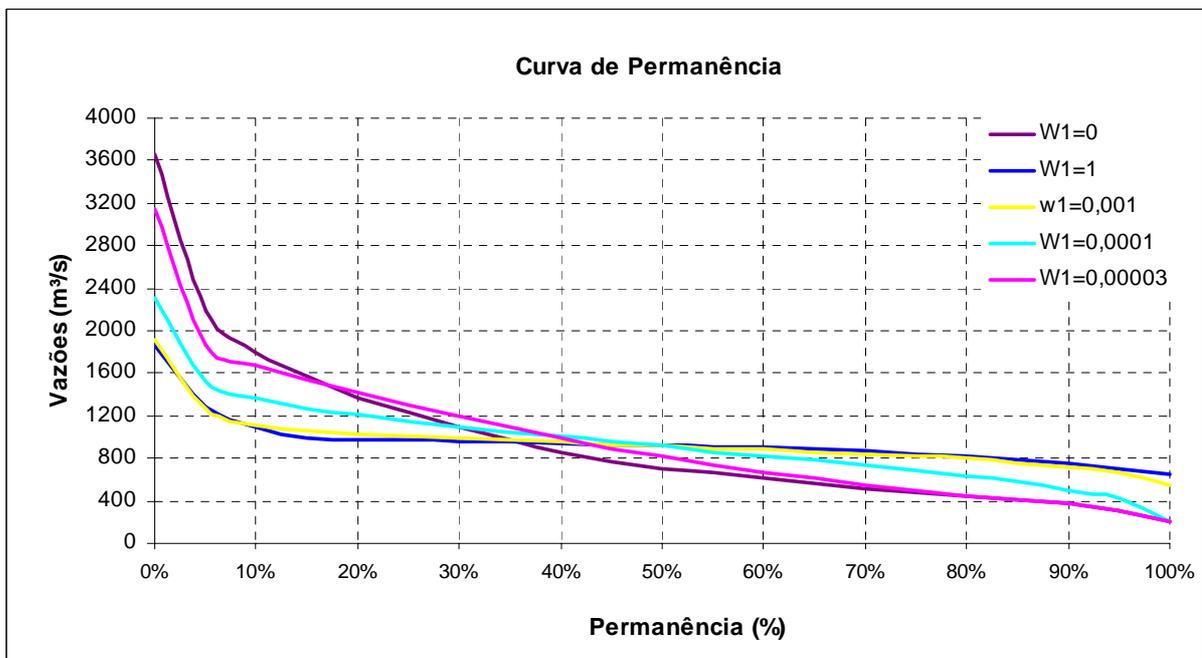


Figura 6.13 - Curva de duração de vazão para diferentes penalidades

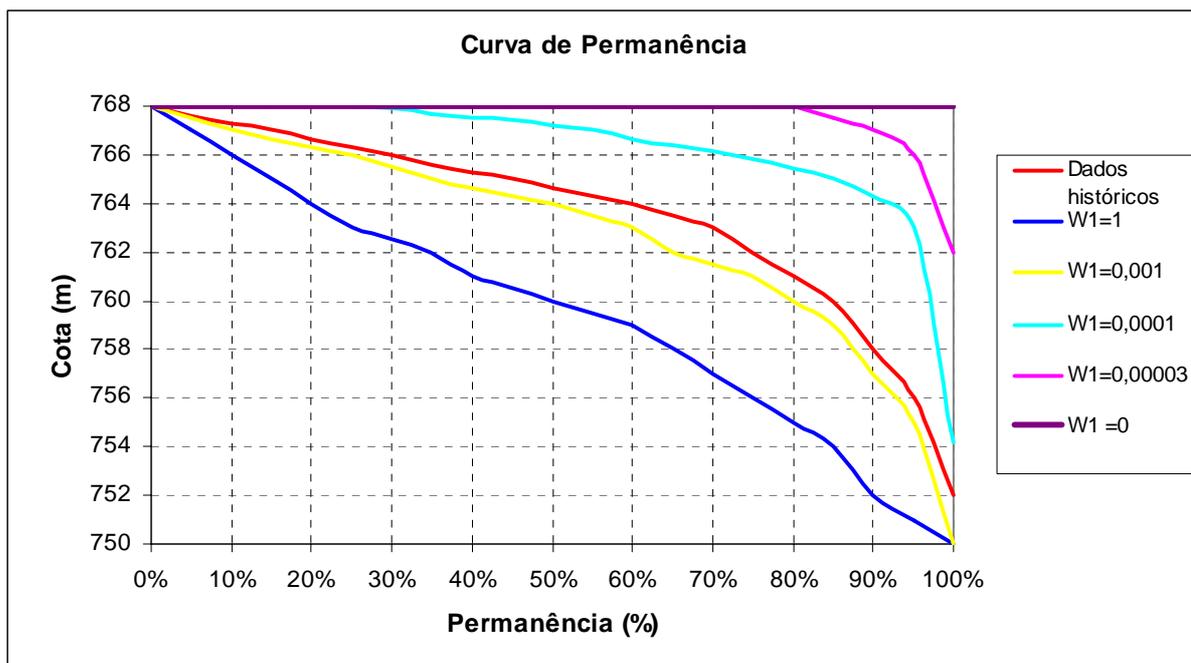


Figura 6.14 - Curva de duração de altura para diferentes penalidades

Deve ser observado que a amplitude na variação das várias simulações foi feita para vários valores entre $W_1 = 0$ e $W_1 = 1$, conforme mostra a tabela 6.1. No entanto com intuito de se obter um melhor efeito didático, foram apresentadas as variações apenas para os valores mais representativos.

Tabela 6.1 - Valores de W_1 e W_2

PESOS	
W1	W2
1	0
0.5	0.5
0.005	0.995
0.001	0.999
0.0005	0.9995
0.0001	0.9999
0.00005	0.99995
0.00003	0.99997
0.00001	0.99999
0.000005	0.999995
0.000001	0.999999
0.0000005	0.9999995
0.0000001	0.9999999
0.00000005	0.99999995
0	1

Uma visão mais aprofundada da realidade local, acusa que não só a intensidade do deplecionamento afeta os circunvizinhos do lago. O tempo em que o espelho d'água permanece baixo é, sem sombra de dúvidas, de enorme importância. O caso específico evidencia que a significativa duração de um deplecionamento intenso, chegando a atingir 22 meses consecutivos abaixo da cota 762, é que causou a falência generalizada das pousadas e

outras estruturas de turismo. Portanto, a fictícia negociação entre as populações de montante e de jusante da barragem deverá ponderar a regularização para jusante com a intensidade e duração do deplecionamento.

Assim, a proposta deste trabalho é no sentido de se estabelecer uma “janela móvel”, para se obter o nível ponderado nos últimos T_j meses. T_j pode ser, por exemplo, um semestre ou um ano. Neste caso, o principal foco será trabalhar com um espaço amostral mais reduzido, atenuando a amplitude dessas variações. Então, tem-se uma revisão na expressão (6.9), transformando-a em:

$$\min z = \sum_{i=1}^T (\bar{Q} - Q_{di})^2 + \sum_{j=i-T_j}^i kp_j \quad (6.10)$$

Mais uma vez serão utilizados fatores de ponderação, de modo que a expressão (6.7) será contemplada com os ponderadores W_1 e W_3 . As simulações a seguir visam estabelecer uma análise da influência de cada fator na regularização.

$$\min z = W_1 \cdot \sum_{i=1}^T (\bar{Q} - Q_{di})^2 + W_3 \cdot \sum_{j=i-T_j}^i kp_j \quad (6.11)$$

Sujeito a:
 $W_1 + W_3 = 1$

O efeito da regularização pode ser observado através das figuras 6.15 e 6.16, onde se adotou uma penalidade para a duração do deplecionamento cerca de 1000 vezes a parcela dos mínimos quadrados, utilizando-se uma janela móvel de seis meses. Desse modo, a figura 6.15 equivale à regularização, utilizando-se exclusivamente o método de Conti-Varlet, sem qualquer penalidade.

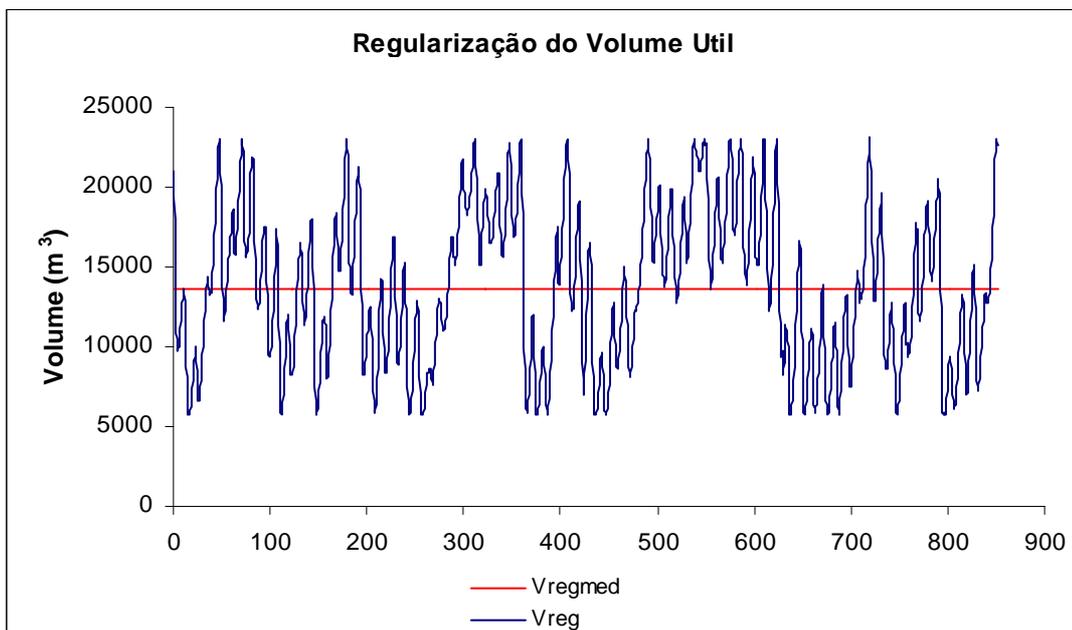


Figura 6.15 - Regularização sem efeito de penalidade ao deplecionamento

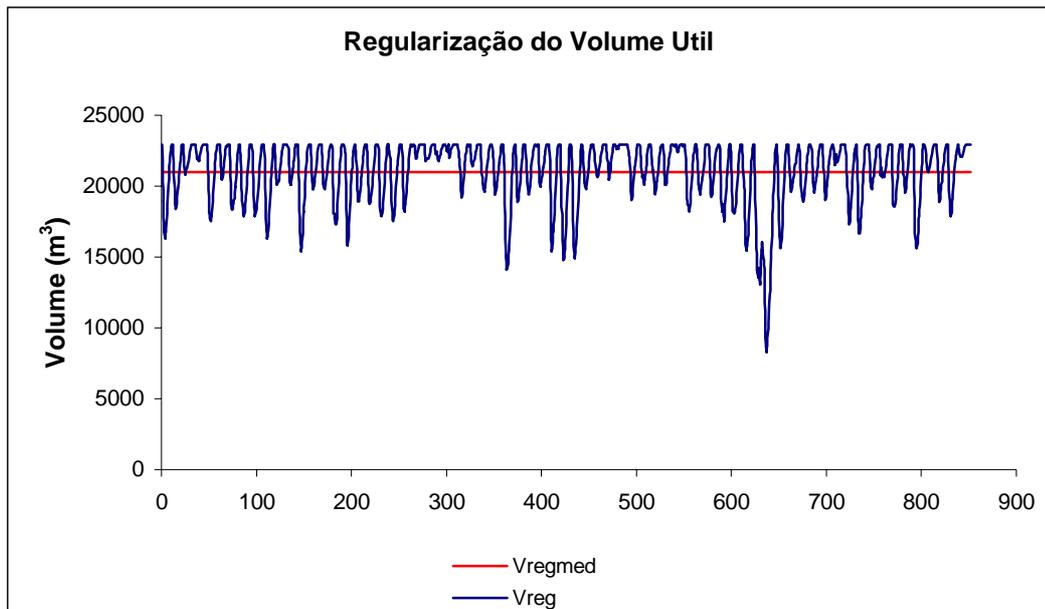


Figura 6.16 - Penalidade ao deplecionamento 1000 vezes maior que a da parcela do desvio quadrático

As figuras 6.17 e 6.18, apresentam o efeito de diferentes penalidades na curvas de duração de vazões e de cota, considerando uma janela móvel semestral, respectivamente, onde se observa que o reservatório permanece com maior regularização de vazões quanto maior for o valor de W_1 . Assim, para $W_1 = 0$ a vazão regularizada será a mesma da vazão natural. Quando se analisa o efeito sobre as cotas, ocorre justamente o oposto: para menores valores de W_1 , implicando maiores penalidades para W_3 . Observa-se que o deplecionamento ocorre de maneira pouco intensa, tendendo a regularizar o nível dos reservatórios. Da mesma maneira que ocorreu para o caso onde se considerou os coeficientes W_1 e W_2 , os valores simulados para W_1 e W_3 , foram os mesmos apresentados na tabela 6.1

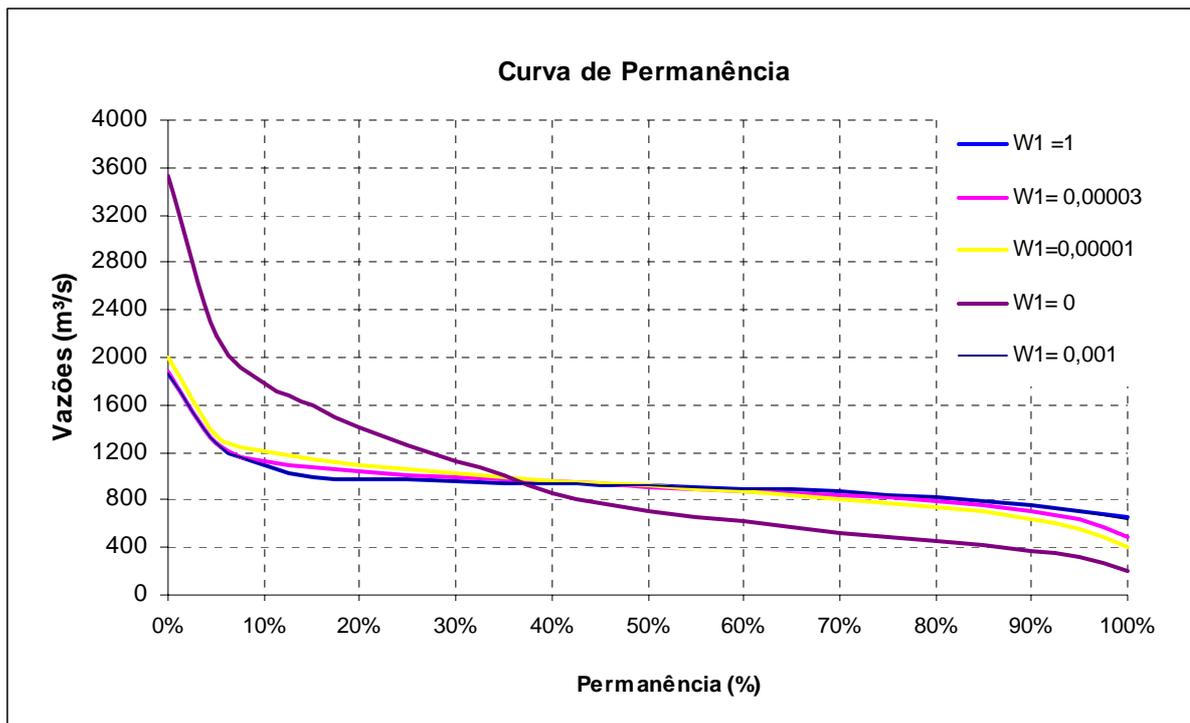


Figura 6.17 - Curva de duração de vazões para diferentes penalidades ao deplecionamento

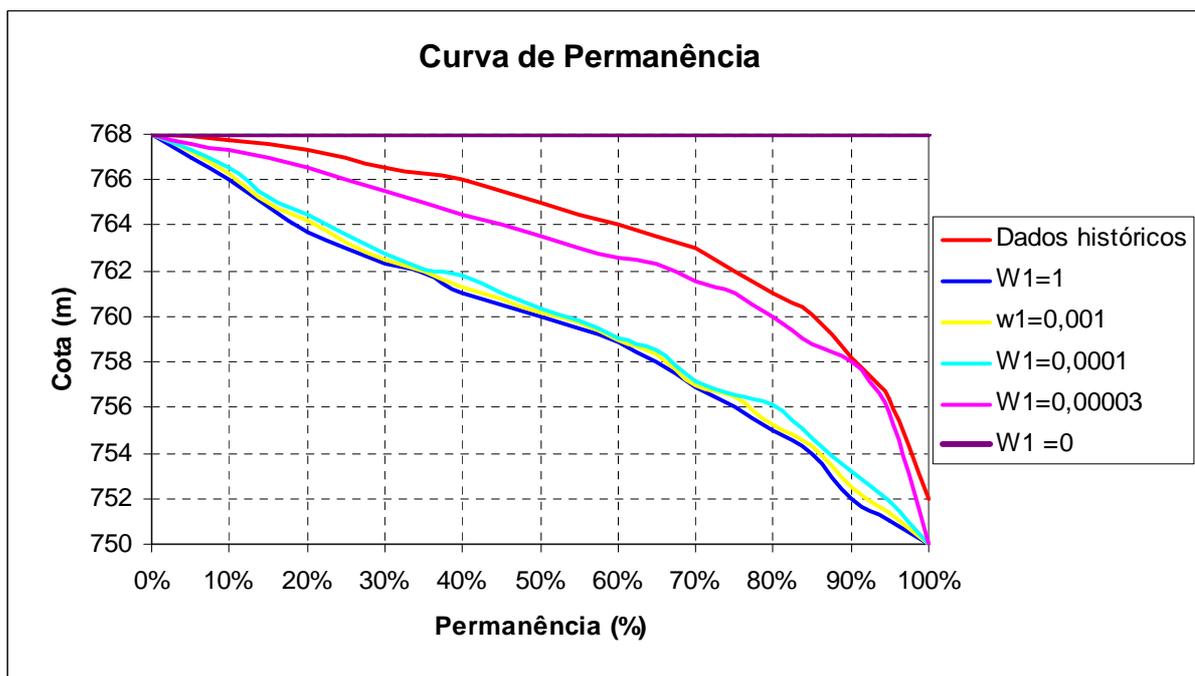


Figura 6.18 - Curva de duração de cotas para diferentes penalidades ao deplecionamento

Conforme podemos verificar, com a “restrição” de se trabalhar com uma janela móvel de seis meses, o reservatório tem o comportamento destoado, conforme mostraram os gráficos anteriores e os dados da tabela 6.2. Vale lembrar que os valores de W_3 e W_2 , possuem os mesmos valores numéricos, (W_3 e $W_2 = 1 - W_1$). Os dados referentes a “Furnas” representam os dados de níveis do reservatório, conforme a operação imposta pelo ONS.

Tabela 6.2 - Comparação da regularização de vazões utilizando diferenciados valores de W_2 e W_3

% de Tempo	W_2	W_3	W_2	W_3	W_2	W_3	W_2	W_3	W_2	W_3
	$W_1 = 1$		$W_1 = 0,001$		$W_1 = 0,0001$		$W_1 = 0,00003$		$W_1 = 0$	
0%	1862	1862	1909	1862	2307	1877	3137	1877	3650	3536
5%	1274	1274	1273	1274	1514	1274	1860	1282	2195	2190
10%	1099	1099	1115	1099	1372	1098	1670	1129	1797	1788
15%	996	996	1068	996	1272	1025	1534	1069	1570	1590
20%	981	981	1034	981	1211	1003	1412	1038	1360	1406
25%	970	970	1012	970	1148	986	1304	1013	1231	1257
30%	958	958	988	958	1100	972	1196	991	1099	1134
35%	949	949	972	949	1048	955	1101	973	972	1002
40%	940	940	953	939	1005	939	997	957	855	864
45%	929	929	932	929	965	923	887	934	776	781
50%	919	919	915	919	920	910	812	914	708	712
55%	911	911	897	911	863	895	732	896	661	662
60%	898	898	884	898	820	886	664	881	615	619
65%	888	888	862	888	780	872	610	859	566	566
70%	868	868	842	869	731	858	547	841	518	518
75%	844	844	819	844	677	841	494	819	483	483
80%	816	816	796	816	635	815	452	794	447	447
85%	789	789	755	789	586	783	413	756	413	413
90%	756	756	713	756	504	748	370	709	370	370
95%	705	705	666	704	422	704	315	643	315	315
100%	649	649	542	647	208	608	205	488	205	205

Conforme verificamos acima, a incorporação do coeficiente W_3 , exigiu do reservatório, uma maior regularização de vazões, beneficiando, em muito, a população de jusante. Por exemplo, com o valor de W_1 igual a 0,00003 e W_2, W_3 valendo 0,99997, a vazão a ser regularizada por W_2 teria uma variação de 2932 m³/s e por W_3 de 1389 m³/s.

No entanto, o efeito sobre a população de montante, foi o oposto, conforme mostrado nas figuras 6.17 e 6.18 e com os dados da tabela 6.3.

Tabela 6.3 - Comparação da variação de cotas utilizando diferenciados valores de W_2 e W_3

% de Tempo	W_2	W_3	W_2	W_3	W_2	W_3	W_2	W_3	W_2	W_3
	$W_1 = 1$		$W_1 = 0,001$		$W_1 = 0,0001$		$W_1 = 0,00003$		$W_1 = 0$	
0%	768	768	768	768	768	768	768	768	768	768
5%	767	767	768	767	768	767	768	768	768	768
10%	766	766	767	766	768	767	768	768	768	768
15%	765	765	767	765	768	765	768	767	768	768
20%	764	764	767	764	768	764	768	767	768	768
25%	763	763	766	763	768	764	768	766	768	768
30%	763	762	765	762	768	763	768	766	768	768
35%	762	762	765	762	768	762	768	765	768	768
40%	761	761	764	761	768	762	768	765	768	768
45%	761	760	764	760	767	761	768	764	768	768
50%	760	760	764	760	767	760	768	764	768	768
55%	760	760	763	760	767	760	768	763	768	768
60%	759	759	763	759	767	759	768	763	768	768
65%	758	758	762	758	766	759	768	763	768	768
70%	757	757	761	757	766	757	768	762	768	768
75%	756	756	761	756	766	757	768	761	768	768
80%	755	755	760	755	765	756	768	760	768	768
85%	754	754	759	754	765	755	767	759	768	768
90%	752	752	758	752	764	753	767	758	768	768
95%	751	751	755	751	763	752	766	756	768	768
100%	750	750	750	750	754	750	762	750	768	768

Utilizando os mesmos coeficientes utilizados anteriormente, podemos observar que o fato de se trabalhar com uma “janela semestral” permitiu ao reservatório, atingir as extremidades no que se refere às variações de cota. De certa maneira, isto já era esperado, pois quando se trabalha com poucos dados (vazão) é possível se projetar a vazão mais regular possível. Entretanto, para que isso ocorra, o volume do reservatório sofre grandes oscilações.

De uma maneira elementar, desprezando o efeito sistêmico, poder-se-ia incluir nos debates sobre os diversos interesses a geração de energia elétrica. Simplificadamente, se o objetivo fosse apenas maximizar a geração no próprio aproveitamento, a estratégia operativa se aproximaria da manutenção do nível em seu valor máximo, obtendo-se máxima potência. Eventualmente, poderia se ter pequenos rebaixamentos para permitir futuras acumulações de água que, caso, contrário, seria vertida, até que fosse ultrapassado a limitação das turbinas. Nota-se, assim que a estratégia de maximização da geração local é muito próxima dos interesses da população vizinha ao lago, não sendo, em princípio, necessário incorporar tal interesse na função objetiva. Basta ponderá-lo junto com a aversão ao deplecionamento.

Como ilustração, os dados da tabela 6.4 apresentam a geração média anual para cada caso aqui simulado. Deve ser ressaltado que conforme citado anteriormente, não será foco

desse trabalho a questão energética, como também seu efeito sobre o SIN. No entanto, pode ser observado que, em grande parte dos casos, houve um ganho considerável de energia.

Tabela 6.4 - Geração média de energia elétrica para diferentes condições operativas

PESOS		ENERGIA MÉDIA [MW]
W1	W3	
1	0	706.87
0.5	0.5	689.93
0.005	0.995	690.05
0.001	0.999	691,07
0.0005	0.9995	692.55
0.0001	0.9999	703.01
0.00005	0.99995	709.64
0.00003	0.99997	715.62
0.00001	0.99999	729.48
0.000005	0.999995	736.81
0.000001	0.999999	749.10
0.0000005	0.9999995	753.22
0.0000001	0.9999999	756.60
0.00000005	0.99999995	756.75
0	1	757,06

Historicamente, a geração hidrelétrica era responsável por quase a totalidade da produção elétrica, não havendo complementaridade térmica sensível por falta de capacidade instalada e pelos altos custos. Embora os programas de expansão da capacidade térmica, nos últimos anos, tenham sido um relativo fracasso, não se pode esquecer que hoje se tem uma significativa potência termelétrica. Nos sistemas onde a geração termelétrica é significativa, a hidrogeração funciona na base, não exigindo reservatórios de regularização para fins energéticos. Este parece ser o caminho para o nosso sistema. Dia a dia, a relativa capacidade de regularização diminui com a entrada de novas hidrelétricas associadas a pequenos reservatórios (tempos de estreitamentos relativamente pequenos). Logo, contar com a “automatização” dos reservatórios, para esse fim tem-se tornado de menor importância. Necessita-se, sim, de mudanças de critérios na operação eletro-energética, respeitando, de forma mais objetiva, os interesses locais, que serão certamente impostos por CBHs bem organizados.

Ainda, explorando-se a disputa “Regularização de Vazões x Nível”, pode-se, para diferentes pesos para cada interesse, utilizar-se da técnica de “trade-off”, para decisão multi-objetivo, que representa, na verdade, um instrumento de negociação. Essa técnica é muito utilizada, quando se dispõe de interesses bastante distintos, e se necessita de encontrar um ponto ideal para ser feita a operação. Neste caso, seriam os interesses de montante (cotas regularizadas) e os interesses de jusante (regularização de vazões). No eixo das abscissas se encontra o desvio padrão normalizado, que equivale a relação: “desvio médio quadrático para

média”, relativa à vazão defluente. No de ordenadas, situam-se as relações “desvio médio das alturas pelo nível de referência, obtendo assim, a figura 6.19, onde cada ponto corresponde a uma certa ponderação para os distintos objetivos. Destaca-se, aí, a área “do joelho da curva”, onde supõe-se estar os pontos mais robustos.

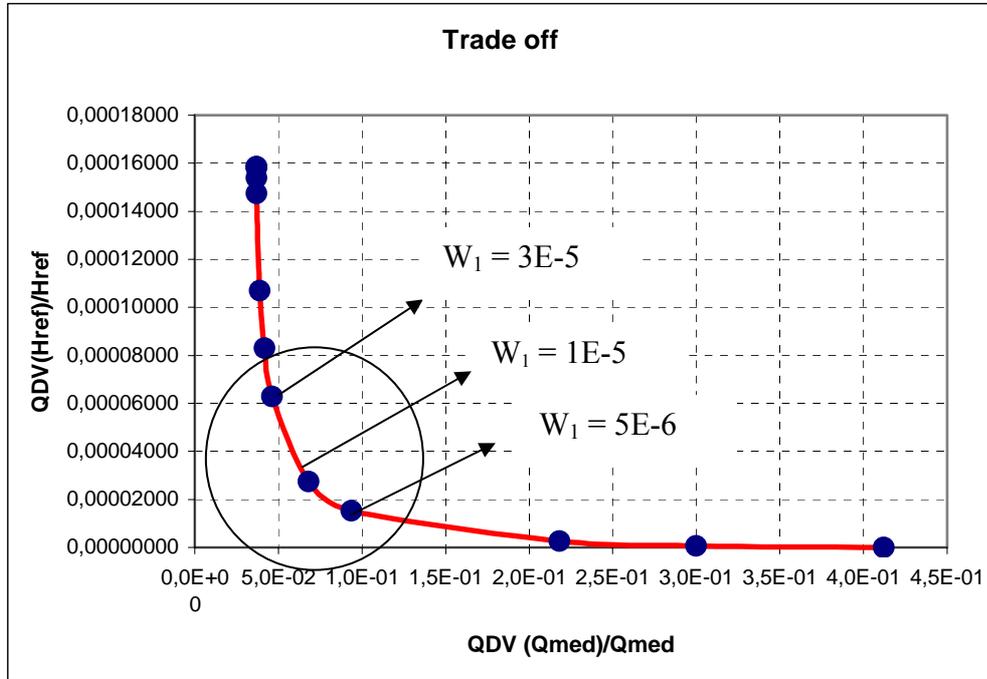


Figura 6.19 - Trade-off para decisão multi-objetivo

Os pontos localizados no “joelho da curva” de “Trade - off” são uma boa estimativa para que se adotem as penalizações $W_1 = 3E-5$, $W_1 = 1E-5$ e $W_1 = 5E-6$. As figuras 6.20 e 6.21, apresentam a curva de permanência de cotas e de vazões para os três pontos indicados pelo trade-off.

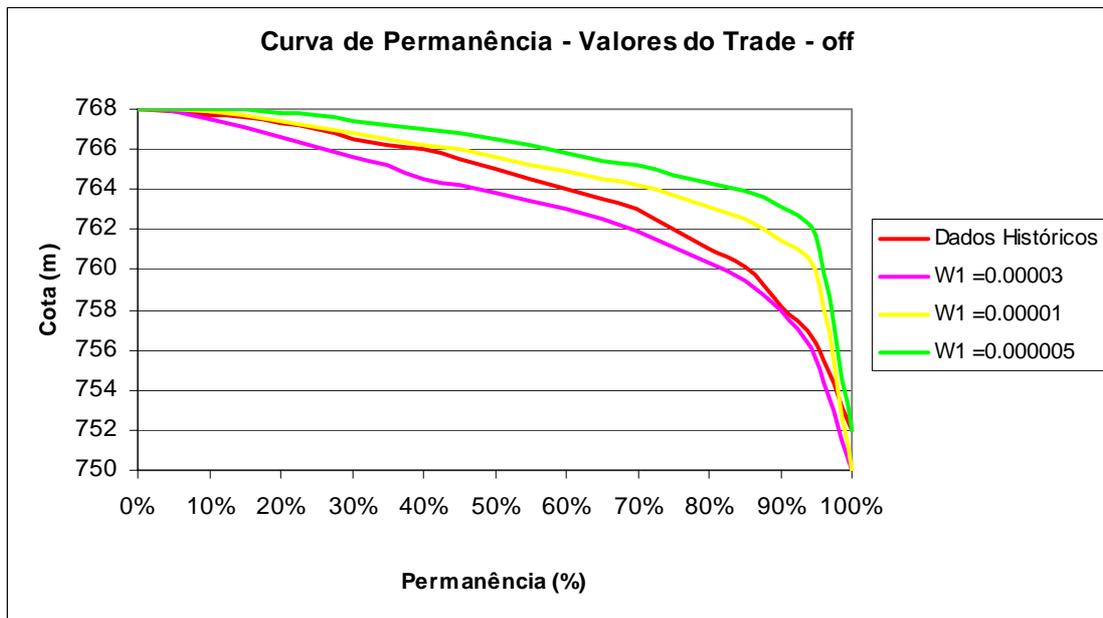


Figura 6.20 - Curva de permanência de cotas para os pontos indicados pelo Trade-off

Através do gráfico acima, pode ser verificado que, caso a operação sugerida fosse seguida, para as penalizações de $W_1 = 1E-5$ e $W_1 = 5E-6$, haveria uma melhora significativa no que diz respeito a regularização de nível do reservatório.

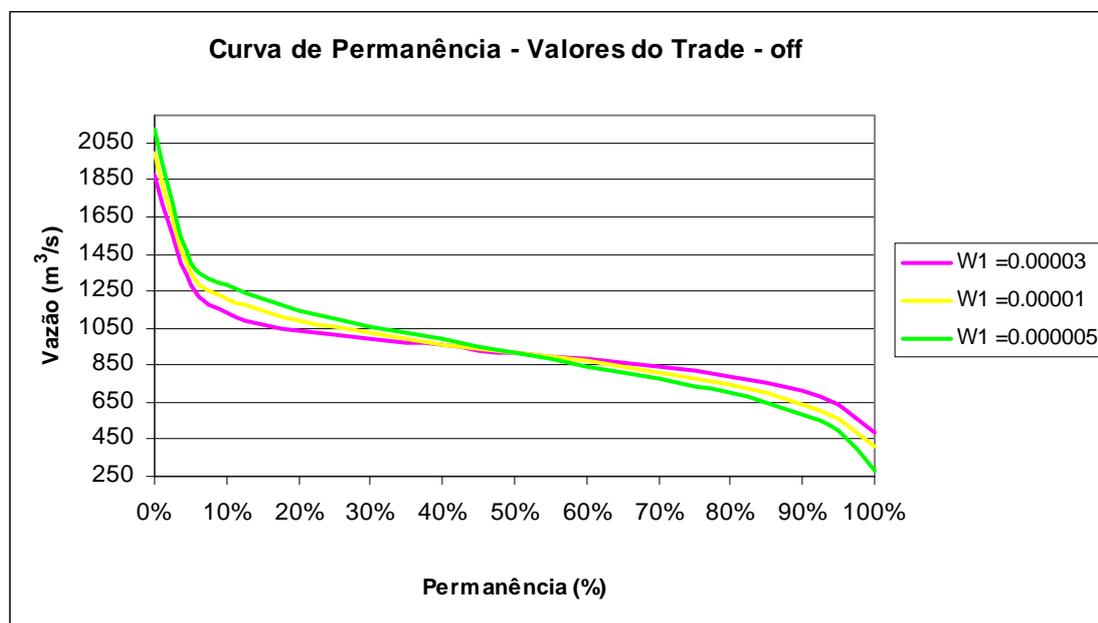


Figura 6.21 - Curva de permanência de vazões para os pontos indicados pelo Trade-off

Considerando os dados de vazão que foram regularizados, pode ser observado que não houve uma grande variação nos dados projetados. Isso deve ao fato de que os valores de W_1 serem muito próximos.

6.5 – OUTORGA PARA USINAS

As recentes experiências mostram que adoção de uma regra de operação, tendo como enfoque a permanência de uma determinada cota, para que se satisfaçam as necessidades da população do entorno, resolve parcialmente os problemas encontrados, pois a permanência de uma determinada cota, conforme apresentado na figura 6.21, não demonstra como essa se distribui, ou seja, saber a quantidade de vezes com que os valores se apresentam é tão importante quanto o número de meses que um determinado nível é transgredido.

O conceito acima descrito pode ser comprovado, com a experiência vivida pela população ribeirinha no período de 1999 e 2001, quando a cota requerida pela ASUL, esteve presente apenas 17% do tempo, valor bem distante dos 75% obtido quando se analisa o histórico completo de dados. No entanto, o fato de o reservatório ter ficado 20 meses consecutivos abaixo do nível “requerido” foi um dos fatores determinantes para que se levasse ao caos as atividades sócio - econômicas desenvolvidas. Esse efeito negativo poderia ser amenizado, caso, ao invés de ficar tantos meses ininterruptos com valores baixos, ficasse, por exemplo, com dois intervalos descontínuos de 10 meses com níveis indesejáveis.

Diante desse dilema, desenvolveu-se um estudo que viesse modular o comportamento do reservatório, não somente pela quantidade de meses que se deve satisfazer a uma determinada cota, mas também pela maneira como esses valores se apresentam. Contudo, para isso se faz necessária a definição de algumas variáveis:

Duração (d): Representa a quantidade de vezes que ocorrem valores inferiores ao valor referencial.

Frequência (f): Representa o número de ciclos (períodos) existentes que estejam abaixo de um determinado valor.

Duração de transgressão (dt): É a relação existente a Duração (d) e a Frequência (f). Assim:

$$dt = \frac{d}{f} \quad (6.12)$$

Frequência de transgressão média (\overline{ft}): Relação existente entre a Frequência (f) e o tamanho da amostra (n):

$$\overline{ft} = \frac{f}{n} \quad (6.13)$$

Duração máxima: Representa o maior período consecutivo de tempo em que o reservatório permanece com valores inferiores ao valor referencial.

Duração mínima: Representa o menor período consecutivo de tempo em que o reservatório permanece com valores inferiores ao valor referencial.

O produto da frequência de transgressão pela duração de transgressão representa o tempo (Te) com que ocorrem valores inferiores aos valores tidos como referência. Neste caso, esse valor nada mais representa que um complemento da curva de permanência (curva de duração) e pode ser obtido através da seguinte relação:

$$Te = dt \times \overline{ft} = \frac{d}{f} \times \frac{f}{n} = \frac{d}{n} \quad (6.14)$$

Para uma maior fixação dos conceitos acima demonstrados, a figura 6.22 exhibe os dados que representam a variação do nível de água no reservatório no período de 1998 e 2000.

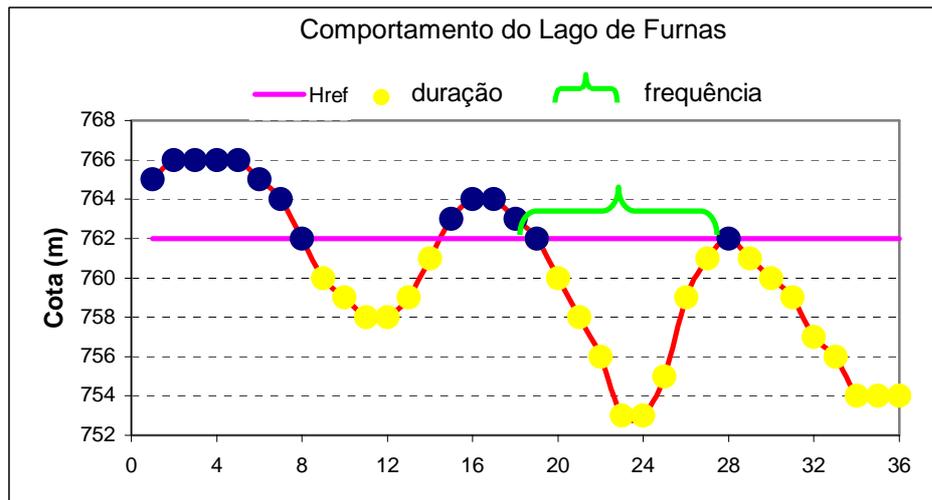


Figura 6.22 - Condução do reservatório no período entre 1998 e 2000

Assim, analisando os 36 meses em estudo e tendo como referência a cota 762 temos:

Duração (d): 22 meses abaixo da cota 762.

Frequência (f): 3 períodos.

Duração de transgressão (dt): $dt = \frac{d}{f} = \frac{22}{3} = 7,33$ meses por período.

Frequência de transgressão média (\overline{ft}): $\overline{ft} = \frac{f}{n} = \frac{3}{36} = 0,083$ períodos / meses

Duração máxima: 8 meses consecutivos.

Duração mínima: 6 meses consecutivos.

Temp (Te): $Te = dt \times \overline{ft} = \frac{d}{f} \times \frac{f}{n} = \frac{d}{n} = \frac{22}{36} = 61\%$

As aplicações dos conceitos acima desenvolvidos são de grande importância para que se possam atenuar os prejuízos das atividades econômicas da população ribeirinha. No entanto a maneira como os mesmos devem ser aplicados, será apresentada no desenrolar desse trabalho.

Assim, dando continuidade ao trabalho, os conceitos de duração e frequência de transgressão foram aplicados para cinco situações simuladas: Os três pontos indicados pelo “trade-off”, para o caso onde se deseja maior regularização de vazões ($W_1=1$ e $W_3=0$) e a para os dados históricos de cota do reservatório. Vale observar que a simulação feita, utilizando o método do Conti – Varlet ($W_1=1$), apresenta baixos valores para a frequência de transgressão de cotas mais elevadas. Isto ocorre principalmente porque o principal foco dessa operação é obter a vazão a mais constante possível.

Na tabela 6.5, é apresentado o resultado da aplicação metodológica, considerando uma variação com patamares de 1 metro, desde o nível mínimo até o máximo.

Tabela 6.5 – Determinação da duração e frequência de transgressão para os cinco casos estudados

Dados Históricos	menor que	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768
	duração	0	0	1	5	11	20	31	38	49	65	90	109	138	167	210	260	336	403
	duração máx.	0	0	1	3	3	7	16	17	17	19	20	22	32	33	55	58	111	206
	duração mín.	0	0	1	2	2	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	2
	frequência	0	0	1	2	4	6	5	7	9	12	10	14	16	21	24	28	20	14
	dt	0.00	0.00	0.00	2.50	2.75	3.33	6.20	5.43	5.44	5.42	9.00	7.79	8.63	7.95	8.75	9.29	16.80	28.79
	ft	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.04	0.03
dt.ft	0.00%	0.00%	0.00%	1.07%	2.35%	4.27%	6.62%	8.12%	10.47%	13.89%	19.23%	23.29%	29.49%	35.68%	44.87%	55.56%	71.79%	86.11%	

W ₁ = 1	menor que	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768
	duração	35	64	91	120	153	198	243	281	325	392	447	493	560	626	686	735	774	814
	duração máx.	3	5	6	7	10	16	19	21	22	31	45	65	66	100	102	104	128	130
	duração mín.	1	2	1	1	1	1	2	4	1	1	1	1	1	1	1	5	6	5
	frequência	18	19	22	25	31	33	32	32	33	32	31	31	38	36	32	27	21	16
	dt	1.94	3.37	4.14	4.80	4.94	6.00	7.59	8.78	9.85	12.25	14.42	15.90	14.74	17.39	21.44	27.22	36.86	50.88
	ft	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02
dt.ft	4.11%	7.51%	10.68%	14.08%	17.96%	23.24%	28.52%	32.98%	38.15%	46.01%	52.46%	57.86%	65.73%	73.47%	80.52%	86.27%	90.85%	95.54%	

W ₁ = 0.00003	menor que	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768
	duração	4	6	8	14	32	43	59	77	98	131	185	233	294	394	511	589	673	759
	duração máx.	2	3	4	6	6	7	7	9	18	19	20	31	31	33	44	46	68	94
	duração mín.	2	3	4	1	1	1	3	1	1	1	2	1	1	1	2	2	6	5
	frequência	2	2	2	5	10	12	12	14	15	22	26	32	37	47	53	50	43	37
	dt	2.00	3.00	4.00	2.80	3.20	3.58	4.92	5.50	6.53	5.95	7.12	7.28	7.95	8.38	9.64	11.78	15.65	20.51
	ft	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.06	0.06	0.06	0.05	0.04
dt.ft	0.47%	0.70%	0.94%	1.64%	3.76%	5.05%	6.92%	9.04%	11.50%	15.38%	21.71%	27.35%	34.51%	46.24%	59.98%	69.13%	78.99%	89.08%	

W ₁ = 0.00001	menor que	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768
	duração	1	2	4	4	5	7	10	13	24	37	53	86	127	197	301	423	546	694
	duração máx.	1	2	4	4	5	5	6	7	9	10	16	17	18	19	20	21	33	46
	duração mín.	1	2	4	4	5	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	3	3	3
	frequência	1	1	1	1	1	2	3	4	5	8	13	20	25	39	55	58	63	54
	dt	1.00	2.00	4.00	4.00	5.00	3.50	3.33	3.25	4.80	4.63	4.08	4.30	5.08	5.05	5.47	7.29	8.67	12.85
	ft	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.05	0.06	0.07	0.07	0.06
dt.ft	0.12%	0.23%	0.47%	0.47%	0.59%	0.82%	1.17%	1.53%	2.82%	4.34%	6.22%	10.09%	14.91%	23.12%	35.33%	49.65%	64.08%	81.46%	

W ₁ = 0.000005	menor que	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768
	duração	0	0	1	2	3	4	4	5	7	12	22	39	58	102	184	301	415	612
	duração máx.	0	0	1	2	3	4	4	5	6	7	10	16	17	18	19	21	21	22
	duração mín.	0	0	1	2	3	4	4	5	1	1	2	1	1	1	1	2	1	3
	frequência	0	0	1	1	1	1	1	1	2	4	5	10	15	25	41	57	63	69
	dt	0.00	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	4.00	5.00	3.50	3.00	4.40	3.90	3.87	4.08	4.49	5.28	6.59	8.87
	ft	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07	0.07	0.08
dt.ft	0.00%	0.00%	0.12%	0.23%	0.35%	0.47%	0.47%	0.59%	0.82%	1.41%	2.58%	4.58%	6.81%	11.97%	21.60%	35.33%	48.71%	71.83%	

Analisando as projeções sugeridas pelo “trade-off”, conforme as figuras 6.23 e 6.24, a curva que representa $W_1 = 0.00001$ apresenta-se como uma regra de operação menos restritiva do que as outras duas. A curva que representa $W_1 = 0.00003$ é mais taxativa para as cotas maiores, enquanto que para $W_1 = 0.00005$ é mais limitativo para níveis mais baixos.

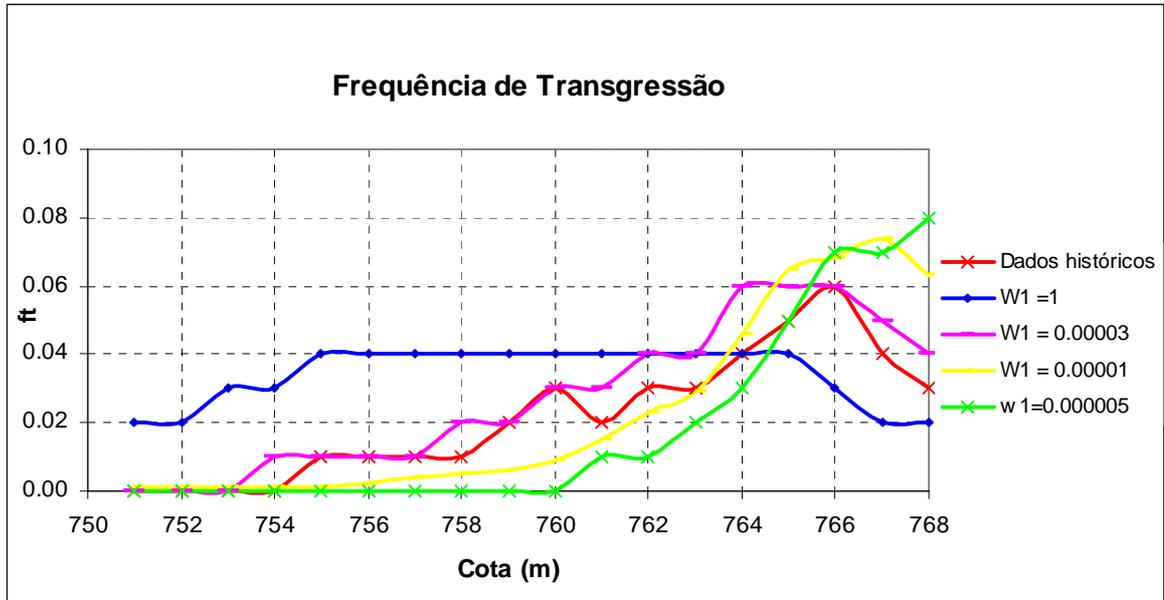


Figura 6.23. - Frequência de transgressão aplicado para reservatório de Furnas

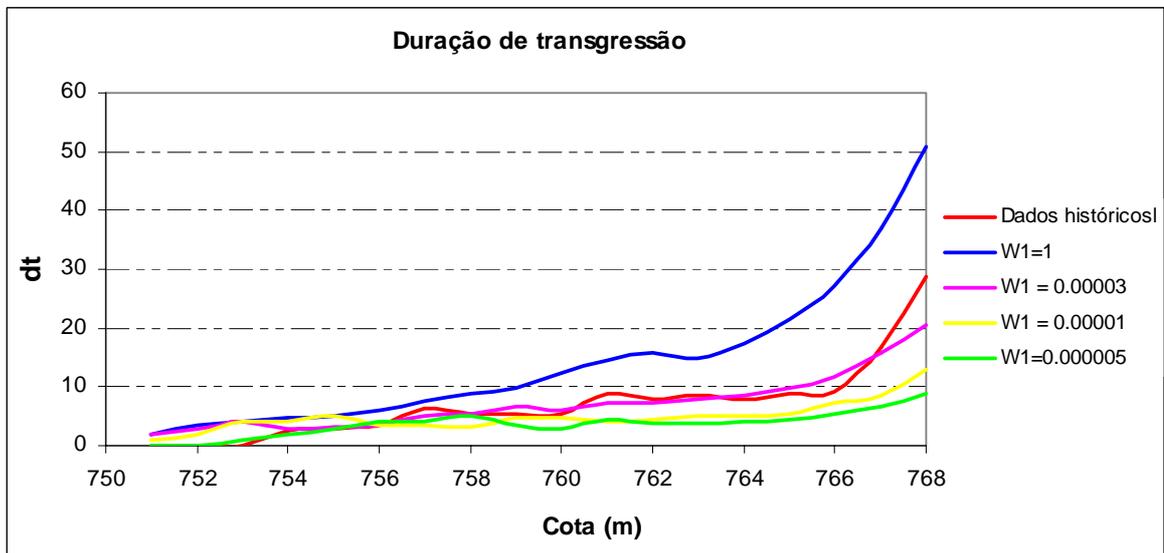


Figura 6.24 - Duração de transgressão aplicado para reservatório de Furnas

Segundo os dados acima, um dos principais entraves para sustentabilidade das atividades que se desenrolam no entorno do lago é a falta de garantia a que os usuários estão expostos, cujo impacto pode ser amenizado, caso o reservatório seja outorgado em função da duração e frequência de transgressão, considerando as projeções representadas pela adoção dos fatores $W_1 = 0.00001$ para o desvio médio quadrático das vazões e $W_3 =$

0.99999 para a altura. Assim para fins comparativos, partiu-se do pressuposto de que se Furnas tivesse trabalhado deste o início com as restrições impostas em função da cota 762 teríamos:

Frequência de transgressão média (\overline{ft}):

$$\overline{ft} = \frac{f}{n} \therefore 0,023 = \frac{f}{468} \therefore f = 11 \text{ Períodos possíveis para transgredir}$$

Duração de transgressão (dt):

$$dt = \frac{d}{f} \therefore 4,30 = \frac{d}{11} \therefore d = 47 \text{ meses}$$

Deve ser observado que caso fosse implementada essa metodologia, o lago teria um comportamento completamente diferente do que realmente aconteceu. Ao invés de ficar 109 meses abaixo da cota 762, ficaria apenas 47 meses, garantindo que em 90% do tempo haveria lâminas superiores ou iguais a essa. Além disso, o lago poderia transgredir esses 47 meses apenas 11 vezes, ao invés das 14 vezes em que isso aconteceu. Outro fato a ser considerado é que, quando se adota essa regra de manobra, as durações máximas são amortizadas.

7 – PROPOSTA PARA OPERAÇÃO

Neste capítulo, serão desenvolvidas metodologias, para operação dos reservatórios, para que as exigências previstas em outorgas que foram pré – estabelecidas em função dos valores de duração e frequência de transgressão, sejam atingidos.

7.1 – OPÇÃO 1

Por fim, esse trabalho visa sugerir, para reservatórios já implantados, aplicar uma nova maneira de operação, para que se atendam os conceitos desenvolvidos nos capítulos anteriores. No entanto, para que isso ocorra, sugere-se que se adote a seguinte rotina de cálculo:

1º) Com os dados históricos de vazão afluente, adotaram-se diferentes “penalidades” para as variações de vazões (W_1) e lâminas (W_3) e utilizando as técnicas de programação dinâmica, fez –se as projeções de cotas e de vazões, de acordo com as estruturas do empreendimento e hidrologia do local, conforme descrito ao longo desse trabalho.

2º) Com auxílio da técnica do “trade-off”, é escolhida a melhor situação que pondere os interesses de montante e de jusante, em função das diversas opções de operação de que se dispõe.

3º) Para os valores de W_1 e W_3 , estabelecidos no item anterior, calcula –se a duração e frequência de transgressão para a série histórica de cotas geradas.

4º) O próximo passo é escolher alguns níveis que são adotados como referenciais. Neste caso, convencionou-se adotar, como modelo, as alturas com permanência de 25% (767 m), 50% (766 m), 80% (763 m) e 90% (761 m).

5º) Para aplicação dessa técnica, é necessário que se considere um horizonte de planejamento, que nesse caso foi de dez anos. Dessa maneira, pode ser estimada a duração (d_d) e a frequência (f_d) desejada, com base nos valores \bar{ft} e dt estimados anteriormente, para os níveis adotados no passo 4. Deve se observar que esses são os valores que se deseja encontrar, para que haja melhor ponderação dos interesses de todos os usuários. Entretanto a adoção de determinados valores de permanência de cotas e do número de anos para o estudo pode variar conforme o objetivo a ser alcançado. No entanto as definições dessas diretrizes são fundamentais para que essa metodologia seja aplicada. Outro fato importante que deve ser ressaltado é que a projeção de cotas é sempre feita considerando um patamar mensal.

6º) Para os mesmos níveis, calcula-se para os últimos dez anos, a duração (d_c) e frequência (f_c).

7º) Se as durações calculadas (d_c) tiverem duração superior aos valores de duração desejadas (d_d) será adotada uma regra de operação para que o reservatório atinja níveis desejados. Desta maneira, um determinado percentual da vazão defluente projetada (projeção do Conti), deverá ser armazenado, de maneira que o reservatório não se esvazie de forma tão intensa.

8º) Após o armazenamento dessa quantidade de água, calcula-se a altura no próximo mês e então, considerando esse novo valor calcula-se novamente a duração para os últimos dez anos. Dessa maneira, continua-se a trabalhar com um horizonte de dez anos. Entretanto a base de dados será sempre diferente, pois a metodologia sugerida somente apresenta aplicabilidade, devido ao fato de se trabalhar com uma janela móvel de planejamento de uma década.

O acúmulo de água maior do que o planejado continuará, até que a duração calculada seja menor ou igual a desejada. Quando isso acontecer, ou seja a $d_c \leq d_d$ deve-se verificar se a frequência desejada para todos os níveis foi atendida. Em caso afirmativo, a partir do próximo mês, a vazão defluente deverá ser a própria vazão planejada. Mas em caso contrário, ou seja, se a condição imposta para a duração for atendida, mas não para a frequência, não se faz necessário continuar acumulando água em quantidade maior do que a planejada. Assim, a proposta é que seja mantido constante o nível do reservatório até que a frequência desejada seja alcançada. Isso será possível, fazendo com que a vazão que chega ao reservatório seja a mesma que sai. Vale ressaltar que essa regra somente possui validade, enquanto a condição para a duração estiver sendo atendida, mas a de frequência não. Deve-se observar, que se trabalha com uma janela móvel de dez anos, mas a projeção é feita mensalmente, sendo esse conceito, fundamental para a eficácia da metodologia que está sendo aplicada.

9º) Para a projeção das vazões defluentes, considerou-se a série sintética gerada pelo método do Conti - Varlet (ver tabela 10.4 do anexo 1). A escolha por essa série não se faz obrigatória. Assim sendo, outra série de dados poderia ter sido utilizada.

10º) Neste trabalho, estaremos lidando com um horizonte de planejamento de 30 anos. Assim, a projeção de cotas datará de janeiro de 2004 até dezembro de 2033. Se nesse período, os valores de duração e frequência desejados não forem alcançados, deve ser

aumentada a porcentagem de vazão defluente que deve ficar armazenada. Neste trabalho específico, inicialmente adotou-se 10%.

A seguir, estaremos aplicando a rotina de cálculo acima aplicado, para a usina de Furnas, nosso estudo de caso.

Aplicando-se os passos de 1 a 3, conforme desenvolvido durante esse capítulo, determinou-se que a adoção dos fatores $W_1 = 0.00001$ para o desvio médio quadrático das vazões e $W_3 = 0.99999$ para a altura parece atender de maneira mais satisfatória o interesse de todos os usuários.

O passo número 5 foi determinado com base nos dados apresentados na tabela 6.5. Vale lembrar que $n = 120$ meses pois trata-se de 10 anos em estudo, Assim tivemos:

Para a altura com permanência de 25% (767):

Frequência de transgressão média (\overline{ft}):

$$\overline{ft} = \frac{f}{n} \therefore 0,074 = \frac{f}{120} \therefore f_d = 9 \text{ Períodos possíveis para transgredir}$$

Duração de transgressão (dt):

$$dt = \frac{d}{f} \therefore 8,67 = \frac{d}{9} \therefore d_d = 78 \text{ meses abaixo do nível desejado}$$

Para a altura com permanência de 50% (766) teremos:

Frequência de transgressão média (\overline{ft}):

$$\overline{ft} = \frac{f}{n} \therefore 0,07 = \frac{f}{120} \therefore f_d = 8 \text{ Períodos possíveis para transgredir}$$

Duração de transgressão (dt):

$$dt = \frac{d}{f} \therefore 7,29 = \frac{d}{8} \therefore d_d = 58 \text{ meses abaixo do nível desejado}$$

Para a altura com permanência de 80% (763) teremos:

Frequência de transgressão média (\overline{ft}):

$$\overline{ft} = \frac{f}{n} \therefore 0,03 = \frac{f}{120} \therefore f_d = 4 \text{ Períodos possíveis para transgredir}$$

Duração de transgressão (dt):

$$dt = \frac{d}{f} \therefore 5,08 = \frac{d}{4} \therefore d_d = 20 \text{ meses abaixo do nível desejado}$$

Para a altura com permanência de 90% (761) teremos:

Frequência de transgressão média (\overline{ft}):

$$\overline{ft} = \frac{f}{n} \therefore 0,02 = \frac{f}{120} \therefore f_d = 2 \text{ Per\u00edodos poss\u00edveis para transgredir}$$

Dura\u00e7\u00e3o de transgress\u00e3o (dt):

$$dt = \frac{d}{f} \therefore 4,08 = \frac{d}{2} \therefore d_d = 8 \text{ meses abaixo do n\u00edvel desejado}$$

Para a execu\u00e7\u00e3o do 6\u00b0 passo, calculou-se a dura\u00e7\u00e3o e freq\u00fc\u00eancia de cotas no reservat\u00f3rio nos \u00faltimos 10 anos, conforme tabela 7.1. Vale ressaltar que os n\u00fameros em vermelho, s\u00e3o os valores abaixo da cota 763 m e, assim, foram indicados, apenas com intuito de haver uma melhor visualiza\u00e7\u00e3o da metodologia a ser aplicada.

Tabela 7.1 - Dados hist\u00f3ricos para os \u00faltimos 10 anos do reservat\u00f3rio

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1994	765	766	767	767	767	767	766	765	763	762	761	761
1995	761	764	767	767	767	767	766	765	764	763	762	761
1996	763	765	766	766	766	766	765	764	763	762	762	764
1997	766	768	768	768	768	768	767	767	766	765	764	764
1998	765	766	766	766	766	765	764	762	760	759	758	758
1999	759	761	763	764	764	763	762	760	758	756	753	753
2000	755	759	761	762	761	760	759	757	756	754	754	754
2001	756	756	756	756	755	755	755	754	754	754	755	756
2002	759	762	765	767	766	766	766	765	764	764	763	763
2003	765	767	768	768	768	767	767	766	765	764	763	762

Assim, para a cota 763 m tivemos:

Freq\u00fc\u00eancia (f_c) = 6 per\u00edodos de transgress\u00e3o

Dura\u00e7\u00e3o (d_c): 48 meses abaixo da cota 763

Deve ser observado que o per\u00edodo de 48 meses, em que o reservat\u00f3rio ficou abaixo, foi muito superior aos 20 meses que se deseja.

Para as outras tr\u00eas cotas de refer\u00eancia, e com os dados da tabela anterior tivemos:

Cota 761, com perman\u00eancia de 90%:

Freq\u00fc\u00eancia (f_c) = 4 per\u00edodos de transgress\u00e3o;

Dura\u00e7\u00e3o (d_c): 32 meses abaixo da cota 761;

Cota 766, com perman\u00eancia de 50%:

Freq\u00fc\u00eancia (f_c) = 8 per\u00edodos de transgress\u00e3o;

Dura\u00e7\u00e3o (d_c): 81 meses abaixo da cota 766;

Cota 767, com perman\u00eancia de 25%:

Freq\u00fc\u00eancia (f_c) = 6 per\u00edodos de transgress\u00e3o;

Dura\u00e7\u00e3o (d_c): 98 meses abaixo da cota 767;

A tabela 7.2 apresenta uma comparação entre os valores de frequência e duração calculados e os desejados para os últimos 10 anos.

Tabela 7.2 - Comparação entre os valores de duração e frequência

Cota	d_c	d_d	f_c	f_d
	32	8	4	2
763	48	20	6	4
766	81	58	8	8
767	98	78	6	9

Desta maneira, pode ser visto que os valores de duração e frequência calculados para os últimos dez anos, foram muito distante dos valores desejados. Deste modo, conforme apresentado no passo número 7, é recomendado que um determinado percentual da vazão defluente destinada para a geração de energia, deve ficar armazenada para que se atinjam os valores de duração e frequência de transgressão planejados.

Conforme apresentado no passo número 9, supõe-se que as vazões defluentes, planejadas a partir do ano de 2004, irão seguir a projeção feita pelo método do Conti – Varlet. Assim, para o planejamento das lâminas, deve ser seguida a seguinte rotina de cálculo:

$$V_i = (Q_{ai} - Q_{di}) \times \Delta t + V_{i-1}$$

Onde:

V_i – Volume no reservatório no instante i (m^3)

Q_{ai} – Vazão afluente no instante i (m^3/s)

Q_{di} – Vazão defluente no instante i (m^3/s)

Δt – número de segundos no mês

V_{i-1} – Volume no reservatório no instante $i-1$, (volume no instante anterior).

Com o volume calculado, estima-se a cota no reservatório, através da curva cota-volume do mesmo. Portanto, para o mês de janeiro de 2004 teremos:

Volume no reservatório em dezembro de 2003 = $15362,68 \times 10^6 m^3$

Vazão afluente planejada para janeiro de 2004 = $1470 m^3/s$

Vazão defluente planejada para janeiro de 2004 = $855 m^3/s$

Volume no reservatório para janeiro de 2004 = $16956,76 \times 10^6 m^3$

Através da curva cota - volume do reservatório, pode ser estimada a cota planejada para janeiro de 2004 que, neste caso, é de 763,41 m. Mas devido ao fato de que $d_d < d_c$ foi adotada a condicionante de se armazenar 10% da vazão afluente planejada.

Assim, para a vazão defluente replanejada teremos:

Vazão defluente replanejada para janeiro de 2004 = $855 m^3/s \times 0,9 = 769,5 m^3/s$

Volume replanejado no reservatório para janeiro de 2004 = $17177,14 \times 10^6 \text{ m}^3$

Deste modo, a cota replanejada para janeiro de 2004 será a 763,60 m. Desta maneira, o reservatório terá 20 cm a mais de água do que planejado anteriormente.

Para se fazer a projeção da cota do próximo mês (fevereiro de 2004) é necessário que se calcule a duração e frequência, sempre considerando uma janela móvel de dez anos. Assim, conforme apresentado na tabela 7.3, os dados base datam de fevereiro de 1994 até janeiro de 2004.

Tabela 7.3 - Projeção do nível do reservatório para fevereiro de 2004

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1994		766	767	767	767	767	766	765	763	762	761	761
1995	761	764	767	767	767	767	766	765	764	763	762	761
1996	763	765	766	766	766	766	765	764	763	762	762	764
1997	766	768	768	768	768	768	767	767	766	765	764	764
1998	765	766	766	766	766	765	764	762	760	759	758	758
1999	759	761	763	764	764	763	762	760	758	756	753	753
2000	755	759	761	762	761	760	759	757	756	754	754	754
2001	756	756	756	756	755	755	755	754	754	754	755	756
2002	759	762	765	767	766	766	766	765	764	764	763	763
2003	765	767	768	768	768	767	767	766	765	764	763	762
2004	764											

Assim, para a cota 761, tem-se uma duração de 32 meses e uma frequência de 3 vezes, o que não satisfaz as condições pré-estabelecidas. Portanto, conforme metodologia proposta, para a projeção da cota para o mês de fevereiro de 2004 foi verificado que ainda era necessário continuar sendo armazenando 10% da vazão defluente.

Conforme a metodologia proposta, esse procedimento deve ser repetido varias vezes, até que as condições de $d_d \geq d_c$ para todos os níveis sejam alcançadas. Deste modo, apenas quando feita a projeção de cota para setembro de 2011, conforme tabela 7.4, a condição acima foi verificada.

Tabela 7.4 - Projeção de níveis do reservatório

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2001										754	755	756
2002	759	762	765	767	766	766	766	765	764	764	763	763
2003	765	767	768	768	768	767	767	766	765	764	763	762
2004	764	768	768	768	768	768	768	767	767	766	766	767
2005	768	768	768	768	768	768	768	767	767	766	766	767
2006	768	768	768	768	768	767	766	766	765	764	763	764
2007	765	765	765	764	764	763	762	761	760	758	757	758
2008	761	765	767	768	768	768	767	767	766	766	765	765
2009	765	764	767	767	767	766	765	765	764	763	762	763
2010	767	768	768	768	768	768	767	766	765	765	765	768
2011	768	768	768	768	768	768	767	766	766			

Para a cota 761 tivemos:

d_c : 8 meses; f_c : 2 vezes.

Para a cota 763 teremos:

d_c : 14 meses; f_c : 4 vezes.

Para a cota 766 teremos:

d_c : 48 meses; f_c : 7 vezes

Para a cota 767 teremos:

Duração: 64 meses

Frequência: 10 vezes

Contudo, para essa cota, a frequência calculada foi maior que a desejada. Dessa maneira, ao invés de continuar acumulando água, é mais interessante que seja mantido o nível constante, até que a condição de: $f_d \geq f_c$ seja alcançada. Assim, a cota no reservatório se manteve constante na altura 766, até que as condicionantes para duração e frequência para todos os níveis foram atingidas. Ao ser projetada a cota para o mês de março de 2012, não foi necessário acumular mais água, nem manter o nível constante de tal modo que o reservatório voltou a trabalhar conforme previsto nos estudos preliminares. Isto se repetiu até o mês de setembro de 2014. Ao ser projetada a vazão para o mês de outubro de 2014, verificou-se que entre os meses de outubro de 2004 e setembro de 2014, não foram verificadas as condicionantes desejadas para as frequências. Com isto, neste mês, foi mantido o mesmo nível do mês anterior, que estava na cota 760. Entretanto, as condições requeridas para duração e frequência não foram atendidas quando se fez a projeção do mês de novembro em consequência o reservatório voltou a acumular 10% da vazão defluente planejada.

O planejamento foi realizado até dezembro de 2033, conforme mostra a tabela 10.5 do anexo 1. Durante esses 30 anos, mas sempre considerando uma janela móvel de dez anos, pode ser verificar que os valores de duração e frequência foram alcançados 50 vezes.

Para fins didáticos, essa metodologia foi repetida. Só que, ao invés de ser armazenada 10% da vazão defluente planejada, passaram a ser retidos 15% da quantidade de água planejada, quando as condições de duração e frequência não foram respeitadas. Conforme esperado, devido ao maior acúmulo de água, as condicionantes de duração e frequência foram atendidas mais rapidamente do que no caso anterior, de tal maneira que em julho do mês de 2011, as condicionantes foram atendidas. A tabela 7.5 apresenta os resultados das projeções feitas para os 30 anos em estudo.

Tabela 7.5 - Projeção de níveis do reservatório acumulando 15% da vazão defluente

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2004	764	768	768	768	768	768	768	767	767	767	767	767
2005	768	768	768	768	768	768	768	767	767	767	766	768
2006	768	768	768	768	768	767	767	766	765	765	764	764
2007	765	766	766	766	765	764	763	762	761	760	759	761
2008	763	767	768	768	768	768	768	767	767	766	766	766
2009	766	765	767	768	768	767	767	766	765	764	764	765
2010	768	768	768	768	768	768	767	766	765	765	766	768
2011	768	768	768	768	768	768	767	766	765	765	765	765
2012	765	765	765	765	765	764	763	762	760	759	758	759
2013	762	766	768	768	768	767	766	765	764	763	763	765
2014	766	766	766	766	765	764	763	761	760	760	760	762
2015	763	764	766	766	766	766	766	765	764	763	763	764
2016	768	768	768	768	768	768	767	767	766	766	765	766
2017	766	768	768	768	768	767	766	765	764	763	763	763
2018	763	763	763	763	763	763	762	761	760	759	758	760
2019	766	766	768	768	768	768	767	766	765	765	764	764
2020	766	768	768	768	768	768	768	767	767	767	767	767
2021	768	768	768	768	768	768	767	766	765	764	764	764
2022	766	768	768	768	768	768	767	766	765	764	764	764
2023	764	767	768	768	768	767	767	765	765	765	765	765
2024	767	768	768	768	768	768	767	766	765	765	765	765
2025	765	765	768	768	768	768	768	767	767	766	766	766
2026	766	766	766	767	766	766	765	764	763	763	762	763
2027	763	764	764	764	764	763	763	762	760	759	759	759
2028	760	760	761	761	761	760	759	758	757	756	756	758
2029	759	759	761	761	761	761	760	760	759	759	758	759
2030	761	763	765	766	767	766	766	765	765	764	764	765
2031	766	767	768	768	768	768	768	767	767	767	767	767
2032	768	768	768	768	768	768	767	766	766	765	765	765
2033	766	768	768	768	768	768	768	767	766	766	765	766

Neste caso, as condicionantes de duração e frequência foram verificadas em 23% do tempo. Para fins comparativos, esse procedimento foi repetido, considerando um armazenamento de 20% da vazão defluente planejada. Assim, as condicionantes desejadas foram encontradas a partir de junho de 2011 e, a partir desse momento, o reservatório continuou sem acumular água em excesso até o mês de dezembro de 2015. Neste caso, as condicionantes de duração e frequência foram verificadas 125 vezes.

Um fato curioso da metodologia proposta é que a mesma demonstra que sua eficácia é bastante dependente da hidrologia da região em estudo. Isto pode ser comprovado quando o armazenamento passou a ser de 30%, pois ao contrário do que se esperava, a primeira vez que as condições de duração e frequência foram verificadas, deu-se no mesmo mês do caso anterior (20%), de modo que o fato de se ter acumulado uma quantidade maior de água não foi o suficiente para que todas as condições requeridas fossem atendidas. Entretanto, o fato de ter sido acumulado esse percentual de água, fez o reservatório permanecer completamente cheio até que as condições de frequência e

duração fossem atendidas. O fato de ter permanecido muito tempo tão elevado possibilitou uma maior flexibilidade no futuro, fato esse que levou o reservatório a ter um deplecionamento intenso novamente.

O momento que diferenciou as duas operações (20% e 30%) foi o instante de se fazer a projeção para mês de outubro de 2025. Na operação onde se esperava acumular 20% da água, a frequência para a cota 767 foi rompida, fazendo o reservatório manter o nível constante, enquanto que para a operação com armazenamento de 30%, o reservatório operou sem nenhuma restrição até o mês de maio do ano de 2028, conforme tabela 7.6.

Tabela 7.6 - Projeção de níveis do reservatório acumulando 30 % da vazão defluente

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2018						768	767	767	766	766	766	767
2019	768	768	768	768	768	768	768	767	767	766	766	766
2020	768	768	768	768	768	768	768	768	768	768	768	768
2021	768	768	768	768	768	768	768	767	767	766	766	766
2022	768	768	768	768	768	768	768	767	767	766	766	766
2023	768	768	768	768	768	768	768	767	767	766	767	768
2024	768	768	768	768	768	768	768	768	767	766	765	765
2025	765	767	768	768	768	768	768	767	767	766	766	766
2026	766	766	766	767	766	766	765	764	763	763	762	763
2027	763	764	764	764	764	763	763	762	760	759	759	759
2028	760	760	760	760	760							

Conforme os dados acima, pode ser verificado que devido ao fato de se acumular muita água no início do processo e se trabalhar com uma janela móvel, o reservatório voltou a trabalhar com a vazão planejada do conti entre os meses de outubro de 2024 e o quinto mês do ano 2028. Entretanto ao se fazer a projeção para o próximo mês (junho), verificou-se que a duração para a cota 761 foi rompida nove vezes (cotas indicadas em vermelho), sendo que a partir desse ponto o lago deveria voltar a acumular 30% da vazão defluente planejada. Todavia na região onde o empreendimento foi instalado, o mês de junho está no período de estiagem de tal modo que, mesmo não permitindo uma saída tão intensa de água, não foi suficiente evitar que o lago deplecionasse mais um pouco de tal maneira que entre os meses de setembro e novembro o lago ficou na cota 757.

A tabela 10.6 do anexo 1 apresenta as projeções feitas para esse estudo de caso. Deve -se observar, que esse período em que o reservatório ficou abaixo, foi determinante para que as condicionantes de duração e frequência não se repetissem mais. Assim, para os 30 anos de planejamento, elas foram encontradas 99 vezes, o que demonstra que para essa metodologia proposta, o fato de se acumular mais água do que o necessário muitas vezes pode não representar a solução mais adequada. A figura 7.1 apresenta a curva de permanência de cotas para essa opção de operação.

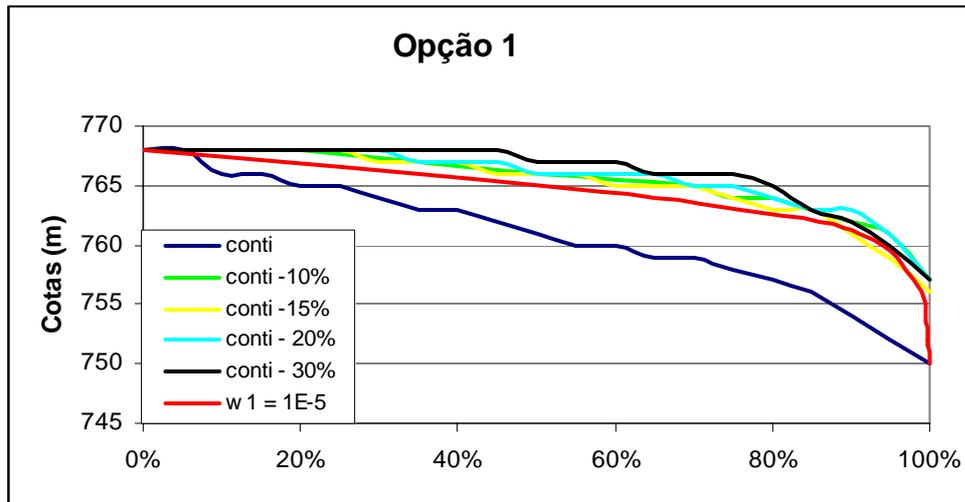


Figura 7.1 - Curva de duração de alturas para a 1ª opção considerando 30 anos de planejamento

Conforme o gráfico acima, pode ser verificado que, para o armazenamento de 15%, parte do tempo, alguns níveis permanecem abaixo dos patamares desejados, tendo –se como referência a projeção prevista para as penalizações de $W1 = 1E-5$. A mesma análise prosseguiu para a frequência, conforme figura 7.2.

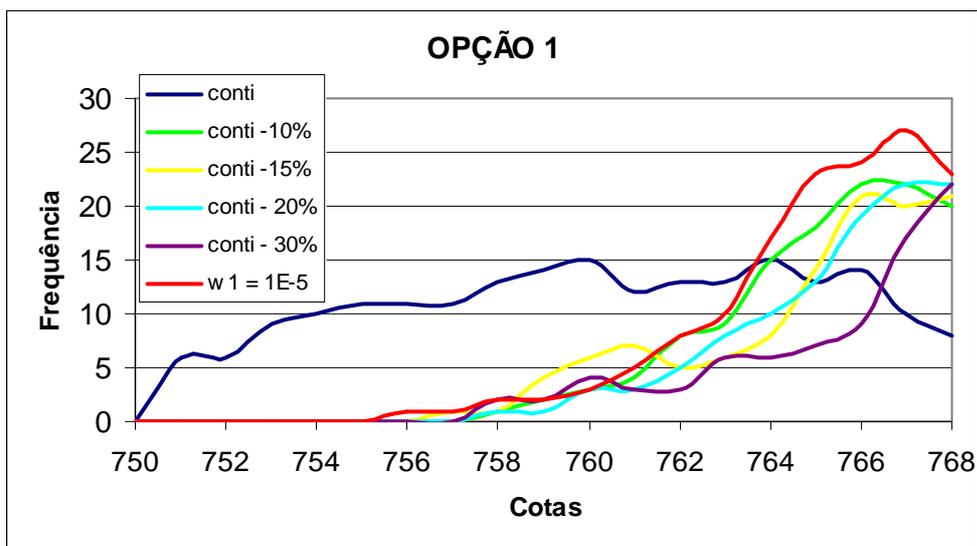


Figura 7.2 - Frequência para a 1ª opção, considerando 30 anos de planejamento

Da mesma maneira que ocorreu para duração, o acúmulo de 15% de água, não atingiu os índices de frequência desejados para todas as alturas. O mesmo pode ser verificado para o acúmulo de 30%, em relação as vazões defluentes: para os acúmulos maiores de água, as vazões defluentes apresentaram vazões defluentes menores, conforme figura abaixo.

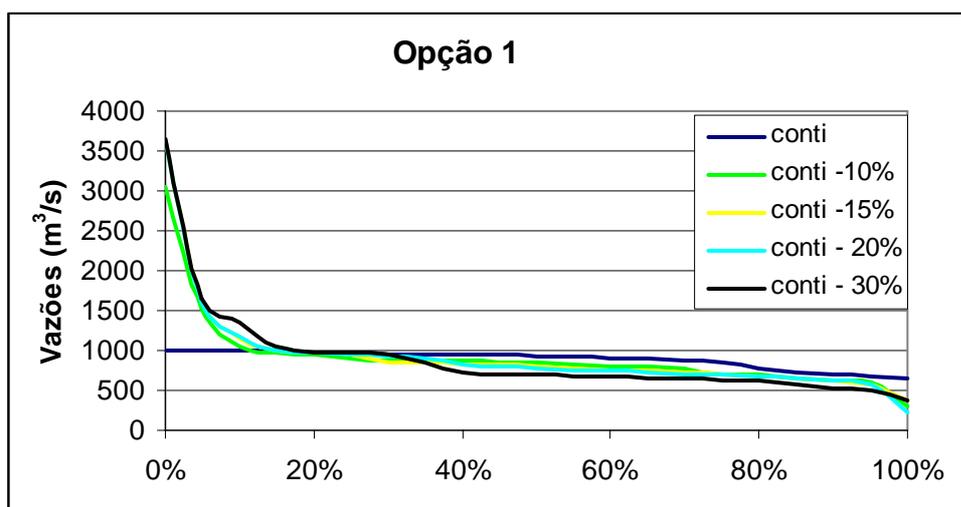


Figura 7.3 - Curva de duração de vazões para a 1ª opção considerando 30 anos de planejamento

7.2 – OPÇÃO 2

A segunda opção foi desenvolvida em função da operação acima (opção 1) de tal modo que, nessa nova proposta, o reservatório não viesse a esvaziar quando as condições de duração e frequência não fossem atendidas. Assim teríamos a seguinte manobra de intervenção:

1º: Caso atendidas as condições de duração e frequência requeridas a vazão defluente planejada deverá ser a projetada pelo método do Conti-Varlet.

2º Se as condições para a duração forem atendidas e frequência não, deve ser mantido o nível de água no reservatório, ou seja, a vazão defluente deve igual a afluente.

3º Se as condições de duração e frequência não forem atendidas, teremos duas possibilidades:

1 – Se a vazão afluente for maior que a defluente planejada, deve ser armazenado um percentual desse valor previsto, de tal modo que o lago irá encher mais do que o planejado.

2 – No caso de a vazão afluente ser menor do que a defluente planejada não será permitido o esvaziamento do reservatório. Assim, será mantido o nível de água no lago, fazendo com que a vazão que entra seja igual a que sai. Essa restrição, não estava adaptada ao caso anterior.

Da mesma maneira que no exemplo anterior, foi realizada a projeção até o ano de 2033, para os mesmos percentuais de vazões acumulados, sempre considerando uma janela móvel de dez anos. Essa nova maneira de se obter os valores de frequência e duração desejados foi denominado opção 2.

Para o armazenamento de 10% da vazão defluente planejada, obtiveram –se 99 vezes as condições de duração e frequência atingidas, praticamente o dobro da

metodologia anterior. A tabela 7.7, apresenta os resultados para os demais percentuais de vazões acumulados.

Tabela 7.7 - Número de vezes que as condições de duração e frequência foram atingidas

Percentual	Opção 1	Opção 2
10%	50	99
15%	83	99
20%	125	125
30%	99	99

Quando retidos 15% da vazão defluente planejada, tivemos que a opção 2 apresentou as condições desejadas 16 vezes a mais que na opção 1; no entanto quando o armazenamento passou a ser de 20%, tivemos o mesmo número de vezes que as condições da opção 1 (125). Quando comparado com o caso anterior, no entanto, a permanência de vazões e cotas foi diferente para cada caso estudado, como apresentaremos a seguir, do mesmo modo que ocorreu quando se acumulou 30% da vazão planejada.

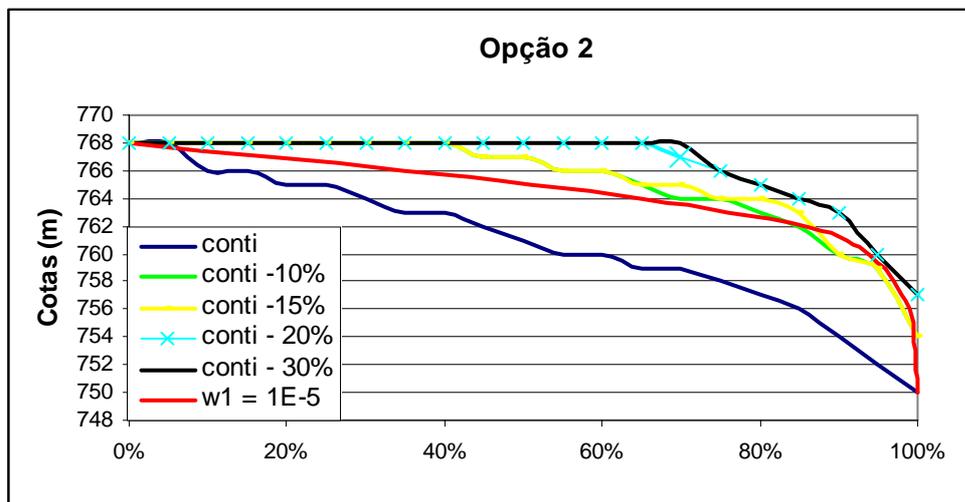


Figura 7.4 - Curva de duração de alturas para a 2ª opção considerando 30 anos de planejamento

Diferentemente do caso anterior, para esta opção para o acúmulo de 10% e 15%, permaneceram parte do tempo abaixo do que era esperado, em relação à frequência, conforme pode ser visto na figura 7.5. Apenas para o armazenamento de 30%, foram mantidas as exigências de frequência para todas as cotas.

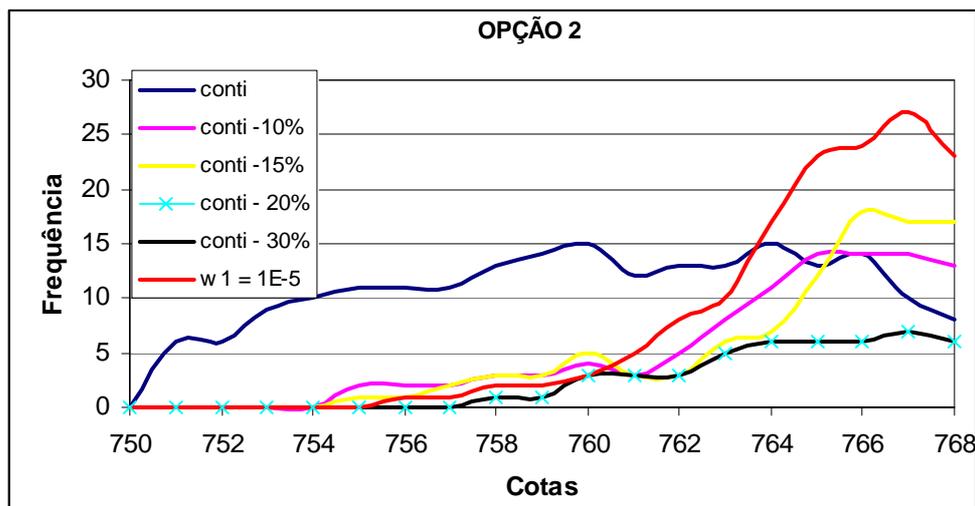


Figura 7.5 - Frequência para a 2ª opção considerando 30 anos de planejamento
 Para as vazões, pode ser verificado, que não houve uma grande alteração na permanência das mesmas, se comparado com o caso anterior.

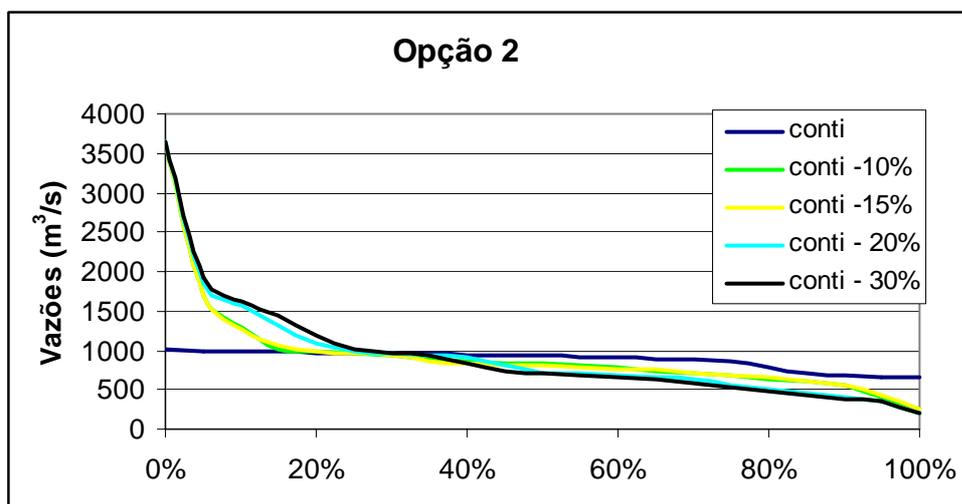


Figura 7.6 - Curva de duração de vazões para a 2ª opção considerando 30 anos de planejamento

7.3 – OPÇÃO 3

A última metodologia utilizada, opção 3, adotou por princípio de que para se atingirem as durações e frequências requeridas, deve se trabalhar em função da vazão afluente ao invés de se trabalhar com a defluente, seguindo a seguinte rotina de cálculo, conforme figura 7.7.

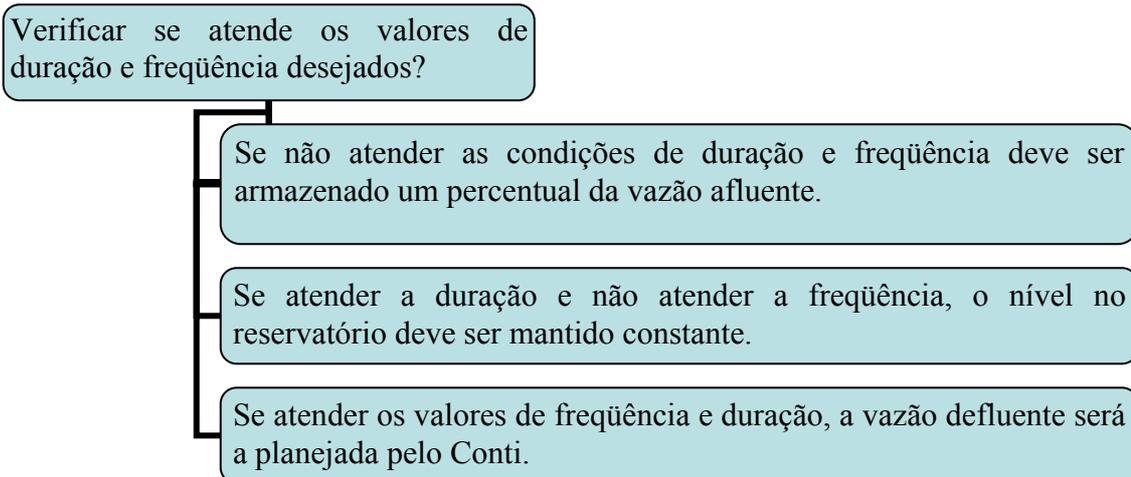


Figura 7.7 - Organograma da terceira opção

Deve ser observado que, para esse caso, também se trabalhará com um horizonte de planejamento de 30 anos, levando em consideração uma janela móvel de dez anos e os mesmos percentuais de vazão acumulados, ou seja, 10%, 15%, 20% e 30%. Assim para a estimativa da cota no reservatório no mês de janeiro de 2004, verificou-se que as condições de duração e freqüência desejadas não foram atingidas. Assim teremos:

Volume no reservatório em dezembro de 2003 = $15362,68 \times 10^6 \text{ m}^3$

Vazão afluente planejada para janeiro de 2004 = $1470 \text{ m}^3/\text{s}$

Vazão defluente planejada para janeiro de 2004 = $1470 \times 0,9 = 1323 \text{ m}^3/\text{s}$

Volume no reservatório para janeiro de 2004 = $15742,96 \times 10^6 \text{ m}^3$

Deste modo, a cota replanejada para janeiro de 2004 será a 762,34 m. O reservatório, que em dezembro de 2003 estava na cota 762 terá uma elevação de apenas 30 cm.

Diferentemente dos outros dois casos, essa alternativa de operação trabalha em função da vazão afluente, ao invés da planejada pelo Conti – Varlet. Se comparado com as outras duas opções nos períodos de estiagem o reservatório continuará enchendo, ao contrario das outras duas condições que nesta situação mantinha o nível do reservatório. Assim, ao se aplicarem os conceitos desenvolvidos, considerando os mesmos percentuais acumulados que anteriormente, tivemos os seguintes resultados, conforme mostra a tabela 7.8.

Tabela 7.8 - Número de vezes que as durações e freqüências foram atingidas para as três opções

Percentual	Opção 1	Opção 2	Opção 3
10%	50	99	97
15%	83	99	97
20%	125	125	98
30%	99	99	98

Ao serem analisados os dados da tabela acima, pode -se verificar que não houve grande variação no que diz respeito ao número de vezes que a duração e frequência desejadas foram atingidas. O diferencial, está no comportamento da vazão defluente e na permanência de cotas. Assim, se a busca pela melhor solução fosse baseada nos dados da tabela acima, poder-se ia concluir que o acúmulo excessivo de água não representaria grandes ganhos do ponto de vista dos usuários do lago, entretanto pode representar grande perda no que diz respeito a geração de energia. A figura 7.8 apresenta a curva de permanência de altura para essa opção.

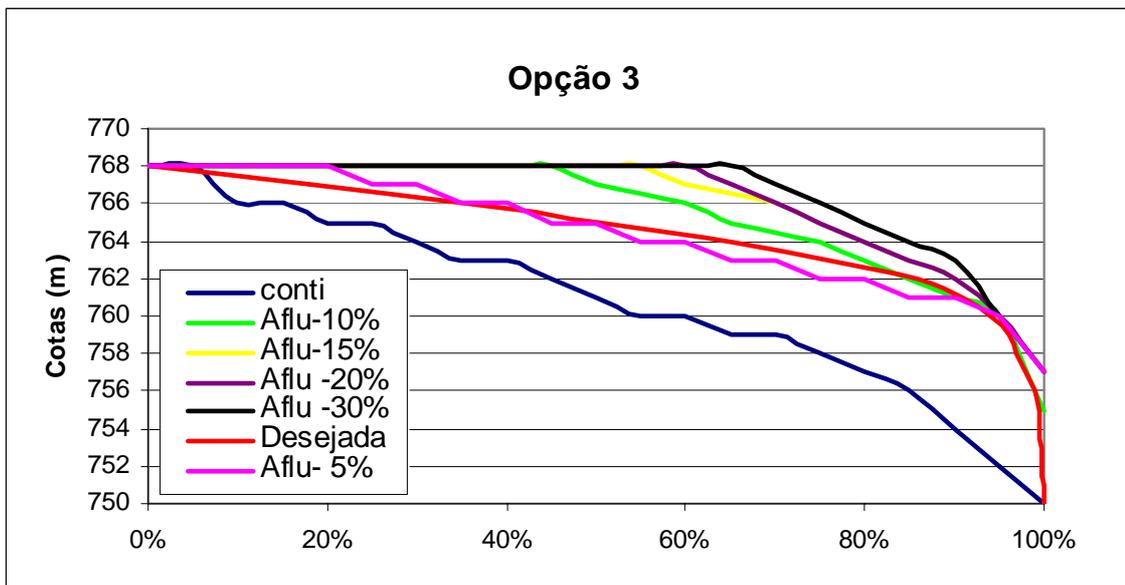


Figura 7.8 - Curva de duração de alturas para a 3ª opção

Quando se analisa o comportamento do nível do reservatório, pode ser verificado que a opção 3, atendeu todas as exigências necessárias. Conclui-se, houve uma evolução, no sentido de saber se o acúmulo de percentuais maiores que 10% não representavam alternativas muito restritivas. No entanto, conforme apresentado na figura acima, apurou-se que o acúmulo de 5 % da vazão afluente fez com que as alturas no lago permanecessem abaixo do desejado, praticamente o tempo todo.

Ao ser analisada a frequência, ou seja, o número de vezes que o lago permaneceu abaixo, verificou -se que para o caso das opções 1 e 2, as restrições desejadas não atingiram os valores esperados para as cotas mais baixas. Isso ocorreu principalmente porque não houve restrição para esses níveis. No entanto para as cotas mais altas, as frequências calculadas são bem próximas das desejadas porque as vazões planejadas pelo conti, são bem próximas da escolhida pelo “trade – off”. Conforme esperado, do ponto de vista da frequência, a opção 3 se mostrou melhor que as outras duas, isso se deve ao fato de

se trabalhar em função da vazão afluente e não permitir um esvaziamento tão intenso do lago, figura 7.9.

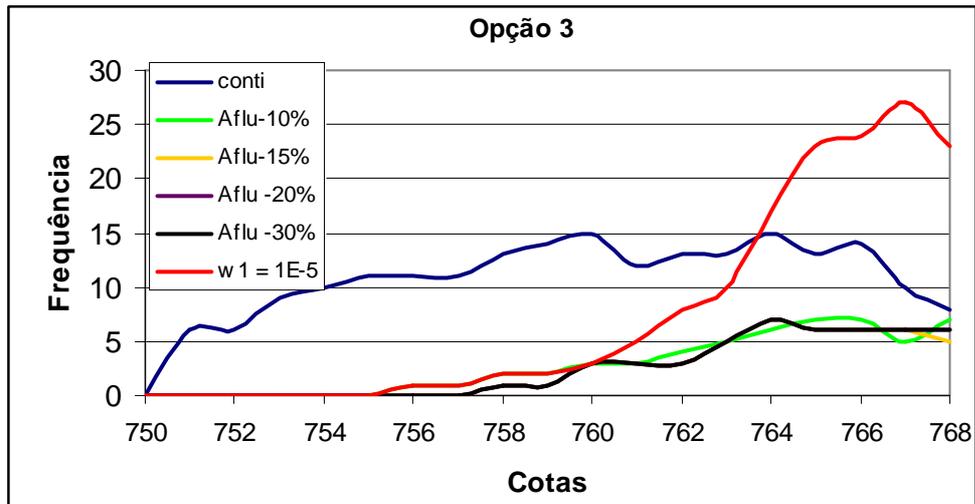


Figura 7.9 - Frequência para a 3ª opção considerando 30 anos de planejamento

Do ponto de vista da vazão, conforme pode ser verificado na figura 7.10, a alternativa de se acumular 30 % da vazão afluente apresentou características bem distintas das demais, proporcionando uma vazão defluente mais restritiva do que as demais.

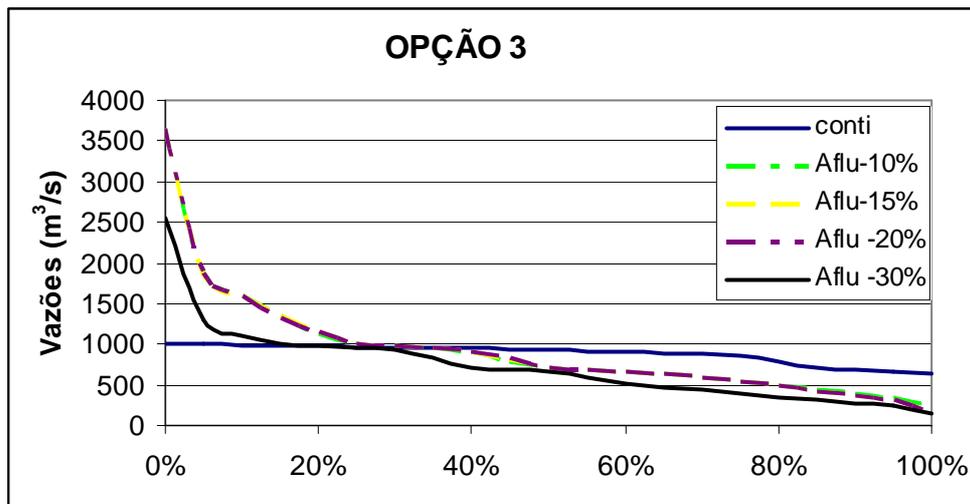


Figura 7.10 - Curva de duração de vazões para a 3ª opção considerando 30 anos de planejamento

8 – OUTORGA PARA OS CASOS ESTUDADOS

8.1 – O CASO DAS PCHs

Nesta parte do texto, será discutido o critério de emissão de outorga para as PCH's que se caracterizam por terem em seu arranjo, um trecho curto - circuitado entre a barragem e o canal de fuga, bem como será feita uma proposição de outorga para a PCH Paraitinga. Atualmente, a declaração de reserva de disponibilidade hídrica e de outorga de direito de uso de recursos hídricos, para uso de potencial de energia hidráulica superior a 1 MW em corpo de água de domínio da União, deve se obedecer ao previsto na resolução nº 131, de 11 de março de 2003, presente no apêndice 1.

O Artigo 5º dessa resolução declara que a reserva de disponibilidade hídrica não confere direito de uso de recursos hídricos e se destina, unicamente, a reservar a quantidade de água necessária à viabilidade do empreendimento hidrelétrico. No mesmo artigo, afirma-se que a declaração de reserva de disponibilidade hídrica será concedida pelo prazo de até três anos, podendo ser renovada por igual período, a critério da ANA, mediante solicitação da ANEEL.

Já o 6º artigo define que a ANA transformará automaticamente a declaração de reserva de disponibilidade hídrica em outorga de direito de uso de recurso hídrico, tão logo receba da ANEEL a cópia do contrato de concessão ou do ato administrativo de autorização para exploração de potencial de energia hidráulica localizado em rios de domínio da União.

No entanto, desde a publicação dessa resolução, apenas três outorgas foram expedidas pela ANA, no que se refere à disponibilidade hídrica, visando a geração de energia, são elas:

- Resolução N° 421, de 2 de dezembro de 2003.
- Resolução N° 422, de 2 de dezembro de 2003.
- Resolução N° 460, de 18 de dezembro de 2003.

A única resolução, que trata da vazão remanescente no trecho entre a barragem e o canal de fuga, é a resolução número 422 de 2 dezembro de 2003. Nesta resolução (apêndice 2), pode - se verificar que, além das características gerais do empreendimento, ela determina a vazão remanescente no TVR, como sendo 8% da vazão turbinada, para o aproveitamento denominado de Pequena Central Hidrelétrica Santa Gabriela, localizada entre os municípios de Itiquira, no Estado de Mato Grosso, e Sonora, no Estado do Mato Grosso do Sul.

Todavia, quando se analisa a emissão de outorga que era feita no passado, verifica-se que houve uma grande evolução neste processo. Na década de 80, o DNAEE, que era o órgão responsável pelas emissões de outorga, ao fazer as emissões, não fazia nenhum detalhamento sobre a potência instalada e, muito menos trazia alguma informação sobre o tipo de arranjo e as vazões de projeto, conforme se pode ver na portaria nº 63, de 8 de maio de 1987 e na portaria nº 79, de maio de 1987, que se encontram nos apêndices 3 e 4. No entanto obrigava as concessionárias a satisfazerem as exigências dos usos múltiplos e o que estivesse disposto no código das águas.

Na década seguinte, como se pode ver visto nas portarias, 565 de 25 de Agosto de 1994 e na portaria nº 236, de 15 de Abril de 1993, nos apêndices 5 e 6, aparecem algumas informações como potência instalada e localização geográfica do local. Contudo informações mais detalhadas, como características do arranjo e as vazões de projeto, que são fundamentais, continuam ausentes. Recentemente, a secretaria do Estado de São Paulo, lançou uma proposta de resolução que dispõe sobre os critérios ambientais de operação das pequenas centrais hidrelétricas – PCHs, que se encontra no apêndice 7.

Neste parecer, fica definido que no licenciamento de novos empreendimentos (PCHs) ou nos estudos envolvendo repotenciação, deve ser garantido no trecho curto circuitado, uma vazão sempre superior a 80% do $Q_{7,10}$, à qual deverá ser adicionada as demais demandas de água verificadas e previstas para o trecho. Deve –se observar, conforme apresentado no desenrolar desse trabalho, a manutenção desse percentual, em muitos casos, não minimiza os impactos ambientais existentes, outrora e pode representar uma perda significativa na produção de energia, acarretando a inviabilidade econômica do empreendimento. Na mesma resolução, no artigo 3º prevê-se que será permitida a manutenção de uma vazão residual entre 50% e 80% do $Q_{7,10}$, quando ocorrerem três condições:

- a) PCH com barramento posicionado à montante de um obstáculo natural à migração de peixes.
- b) Trecho curto circuitado, com extensão inferior a 250 m;
- c) Quando for demonstrado, por meio de simulações usando dados históricos de vazões diárias para 3 anos secos, que o período de estiagem imposto no trecho circuitado pela vazão crítica pleiteada não será superior em 30 dias àquele estimado quando operando com a vazão crítica de 80% do $Q_{7,10}$.

Com relação aos itens acima, o que mais chama atenção é o que propõe a redução na vazão residual, caso o trecho seja menor do 250 m. Deve-se observar, que esta

condicionante dificilmente se apresenta neste tipo de arranjo. Essa proposta de resolução, que é restritiva, por exigir a manutenção de, no mínimo, 80 % da vazão de referência, pode se tornar um fator impeditivo para implantação de novos empreendimentos, conforme apresentam os demais artigos dessa resolução. A seguir, será dada a outorga para a PCH Paraitinga, nosso estudo de caso, vale ressaltar que a estimativa da vazão residual foi determinada em função da aplicação dos métodos multicriteriais estudados.

Outorga a Paraitinga - Centrais Elétricas S.A. concessão para um conjunto de aproveitamento da energia hidráulica do trecho do curso principal do Rio Paraitinga entre os municípios de Cunha e Lorena no estado de São Paulo

O DIRETOR-PRESIDENTE DA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA, no uso da atribuição que lhe confere, conforme solicitação da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, resolveu:

Art. 1º É outorgada à Paraitinga - Centrais Elétricas S.A. concessão para exploração do aproveitamento de energia hidráulica na seção do Rio Paraitinga pela Pequena Central Hidrelétrica Paraitinga, localizada entre os municípios de Cunha e Lorena, no Estado de São Paulo, tendo as seguintes características:

I - coordenadas geográficas do eixo do barramento: 22° 56' de Latitude Sul e 44° 59' de Longitude Oeste;

II - nível d'água máximo operativo montante: 907,00m;

III - nível d'água máximo maximorum a montante: 909,0m;

IV - área inundada do reservatório no nível d'água máximo normal: 0,22 km²;

V - altura máxima da barragem: 10,00m;

VI - potência instalada: 7 MW;

VII - vazão máxima das turbinas: 10,12 m³/s;

VIII - vazão mínima remanescente no trecho entre a barragem e a casa de força: 0,82 m³/s;

Art. 2º As características de que trata o art.1º, poderão ser alteradas mediante solicitação da ANEEL acompanhada do estudo técnico específico.

Parágrafo único. A vazão mínima a que se refere o inciso VIII do art.1º somente poderá ser alterada mediante solicitação da ANEEL acompanhada de estudo técnico específico aprovado pelo órgão ambiental competente.

Art. 5º Esta declaração de reserva de disponibilidade hídrica tem prazo de validade de trinta e cinco, contado a partir da data de publicação desta Resolução, podendo ser renovada, mediante solicitação da ANEEL.

Art. 6º As condições de operação do reservatório do aproveitamento hidrelétrico serão definidas e fiscalizadas pela ANA, em articulação com o Operador Nacional do Sistema – ONS, conforme disposto no inciso XII e §3o do art. 4º da Lei no 9.984, de 2000.

Art. 7º Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

8.2 – O CASO DAS UHE

Para o caso das grandes centrais hidrelétricas, a proposta é que para que as emissões de outorga sejam feitas considerações sobre as características do arranjo, as vazões necessárias, além de considerações sobre o comportamento do reservatório, conforme os conceitos de duração e frequência de transgressão apresentados no desenrolar desse trabalho. Esse instrumento pode ser um grande ferramental para que o comitê de bacia, que é um órgão articulador, chegue a um consenso para garantir a exploração em conjunto dos usos múltiplos da água, como: diluição, navegação, turismo, energia elétrica, dentre outros. Deve ser observado que essa sugestão não trata de algumas questões como comercialização da energia, sistema de distribuição, bens e instalações, por não ser esse o objetivo desse estudo.

Assim, para o caso da Usina de Furnas, a proposição é que a outorga deva ser dada da seguinte maneira:

Outorga a FURNAS - Centrais Elétricas S.A.
concessão para um conjunto de
aproveitamento da energia hidráulica
do trecho do curso principal do
Rio Grande entre os municípios de
São José da Barra e São João Batista do Glória,
no estado de Minas Gerais

O DIRETOR-PRESIDENTE DA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA, no
uso da atribuição que lhe confere, conforme solicitação da Agência Nacional de Energia
Elétrica – ANEEL,

DECRETA:

Art 1º - É outorgada a FURNAS - Centrais Elétricas S.A., concessão para um
aproveitamento da energia hidráulica no trecho do curso principal do Rio Grande e seus
afluentes das margens direita e esquerda, denominado corredeiras de Furnas, com 1216
MW de potência instalada e respectivas instalações associadas.

Art.2º - O aproveitamento terá um reservatório de regularização, com volume total
 $22950 \times 10^6 \text{ m}^3$, área inundada de 1440 km^2 e volume útil de $17,217 \times 10^6 \text{ m}^3$, cujos níveis
operativos ficarão assim definidos:

- Nível mínimo operativo correspondente à cota 750 m;
- Nível máximo operativo correspondente à cota 768 m;
- Nível máximo emergencial (Maximo - maximorum) correspondente à cota 769,30
m.

Art.3º - A operação deste reservatório será restrita pelas seguintes durações e
freqüências de transgressão, segundo o estabelecido pela Resolução ANA n 00/00.

Parágrafo primeiro – É admitido, em caráter excepcional, um desvio superior de
20% para as freqüências e durações de transgressão definidas no caput.

Parágrafo segundo – O período de calculo das freqüência e duração de transgressão
serão calculadas para os últimos dez anos associadas a cotas definidas, como segue:

- Cota 761 - duração máxima de transgressão de 8 meses, e freqüência máxima de
transgressão de 2 vezes.
- Cota 763 - duração máxima de transgressão de 20 meses, e freqüência máxima de
transgressão de 4 vezes.

- Cota 766 - duração máxima de transgressão de 58 meses, e frequência máxima de transgressão de 8 vezes.
- Cota 767 - duração máxima de transgressão de 78 meses, e frequência máxima de transgressão de 9 vezes..

Parágrafo terceiro - Para o período inicial de operação (inferior a dez anos), a frequência e duração de transgressão serão calculados com base no histórico desde o instante da operação comercial, admitindo-se neste transitório um desvio superior de 40%.

Art. 4º - A vazão a jusante da casa de força deve ser no mínimo 30% da vazão afluente, restringindo-se a um valor mínimo de 80% de $Q_{7,10}$, não podendo variar mais que 50% ao longo de 24 horas, tendo com base o valor superior.

Art.5º - A Concessionária fica obrigada a satisfazer as exigências de proteção ao meio ambiente, de controle de cheias, gestão do reservatório e respectivas áreas de proteção, e demais prescrições acauteladoras do uso da água, previstas no art. 143 do Código de Águas e na legislação subsequente.

Art.6º - A transgressão aos limites aqui estabelecidos implicará em multa de até um por cento do valor anual da energia gerada por este aproveitamento, conforme calculado pela ANEEL, para a compensação financeira do uso de recursos hídricos para geração de energia elétrica.

Art. 7º - A concessão de que trata esta Resolução vigorará pelo prazo de trinta e cinco anos, contado da data de assinatura do respectivo Contrato de Concessão de Uso de Bem Público.

Art. 8º Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

9 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O crescimento da população brasileira promoveu um aumento considerável nas demandas hídricas que, associado à expansão desordenada, modificou o ciclo hidrológico, gerando enchentes urbanas freqüentes e degradou tanto as águas superficiais como as subterrâneas. A busca por um desenvolvimento organizado fez com que as legislações e restrições ambientais tivessem um grande impulso nas últimas décadas. No entanto sua incipiente aplicação vem apresentando conceitos equivocados, principalmente aqueles que se referem ao setor hidroelétrico, que por um lado não minimizam impactos, mas retardam o desenvolvimento, possibilitando a ocorrência de danos irreparáveis à atual e futuras gerações.

Desse modo, em busca de um melhor desenvolvimento dos instrumentos de gerenciamento de recursos hídricos, encontrou-se na outorga de direito de uso uma das principais ferramentas para que haja o planejamento e a gestão das águas e que vem se destacando nos últimos anos, ganhando forte amparo legal com a lei nº 9433. Desta maneira, este trabalho, se desenrolou motivado pela hipótese de se desenvolver critérios que pudessem dar aos órgãos gestores alternativas no que se refere à tomada de decisões, referente a questão água e energia.

Na primeira parte do trabalho, o objeto de estudo foi a análise da vazão mínima a ser mantida no curso d'água, que se localiza entre a barragem e a casa de máquinas, denominado Trecho de Vazão Reduzida. Neste caso, pode-se dizer que a implantação de PCHs é bastante emblemática, dentro da questão da expansão das fontes alternativas no país, sendo a combinação de fatores ecológicos, técnicos e econômicos essenciais para se encontrar um ponto de equilíbrio que viabilize essas opções de geração, posto que seus impactos ambientais são significativamente menores que os grandes e médios empreendimentos, que se contrapõem como opção na expansão do setor eletro-energético. Soma-se a isso, o fato de serem poucos os estudos pertinentes a essa matéria, de tal modo que ainda se encontram incipiente os aspectos legais que abordam o assunto. Desse modo, com intuito de se encontrar uma solução ao entrave existente, baseado em critérios técnicos e científicos, buscou-se, na aplicação da metodologia multicriterial, um referencial.

Devido à particularidade de cada empreendimento e região de implantação, a aplicação de multicritérios se apresentou um instrumento passível de utilização, principalmente por serem abrangentes os aspectos envolvidos. Nesta dissertação, foram aplicados os métodos do CP e CGT, sob à análise de 8 critérios e 11 alternativas diagnosticados por especialistas da área de recursos hídricos e meio ambiente.

Os resultados encontrados para cada método se mostraram bastante satisfatórios e atenderam os interesses de empreendedores e órgãos gestores. Entretanto é recomendável que esses estudos se evoluam para aplicação de outros métodos como Electre e Promethee e abordem também aspectos qualitativos.

Entretanto do ponto de vista prático vê-se que, até o momento, não se encontram referências claras quanto à vazão outorgada para a produção energética. Historicamente, as outorgas referem-se à potência somente. Atualmente, a Agência Nacional de Águas vem trabalhando na resolução que definirá a disponibilidade hídrica para fins de hidrogeração. Especialmente para PCHs, permanece a necessidade de critérios específicos que levem em consideração o porte do aproveitamento e as condições de contorno que o envolvem, como uso da água no trecho curto-circuitado e qualidade da água efluente, avaliando-se as particularidades de cada caso.

Dentro deste tema, muito se tem que avançar, pois não basta a garantia da vazão a ser turbinada, mas outros pontos têm que ser destacados, como forma de se dar estabilidade à sociedade e ao próprio investidor. Assim, a outorga para geração hidrelétrica deve ser vista como um conjunto de várias outorgas, sendo exemplo os níveis limites de operação dos reservatórios associados e a variabilidade de vazão aceitável à jusante da casa de força.

Ainda mais, para aquelas centrais onde o uso da água é claramente insignificante e a qualidade da água afluenta é boa, tal valor pode ser ainda mais reduzido, preservando-se, no entanto, um valor mínimo ecológico, que será resultante de intervenções, como escada de peixes ou pequenos barramentos intermediários. Ou seja, os impactos das PCHs são, na sua maioria, perfeitamente mitigáveis ou compensáveis, e seus benefícios extrapolam, em muito, seu porte ou sua microrregião.

Hoje, as profissões ligadas às barragens e à hidráulica não só compreendem técnicos, como são um corpo multidisciplinar de especialistas, que inclui ecologistas, biólogos, sociólogos e economistas. Todos juntos, representam uma complementaridade de saber que deve assegurar que projetos futuros, sejam planejados, construídos e explorados com total respeito pela sociedade e pelo ambiente, podendo incluir também algumas exigências quanto a medidas mitigatórias de impactos ambientais, como a instalações de grades para impedir a entrada de peixes pela tomada d'água, o estabelecimento de normas para a definição de uma vazão remanescente no leito da corredeira e a fixação de parâmetros de duração de transgressão e frequência de transgressão para alguns níveis.

Como o enfoque desse trabalho foram os critérios de outorga para os empreendimentos hidrelétricos, o outro aspecto abordado foi a questão da exploração do uso múltiplo das águas nos lagos artificiais dos grandes aproveitamentos, proporcionando, em alguns casos conflitos pela utilização dos recursos, conforme apresentado para o caso da Usina de Furnas.

Neste estudo, buscou-se a criação de uma metodologia para que o reservatório opere, atendendo as necessidades de todos setores usuários, no entanto a questão energética e o efeito sobre a cascata não foram analisados nesse trabalho, sendo recomendado que se prossiga para o desenvolvimento desses estudos.

A metodologia desenvolvida teve por princípio a escolha de uma regra operativa, que melhor pondere os interesses de jusante e montante em função de penalizações para variações significativas de cota e vazão, prosseguindo, para fixação de duração e frequência de transgressão para alguns níveis, fixando assim alguns parâmetros que possam ser exigidos através de uma outorga. O passo seguinte foi a proposição da maneira como os reservatórios devem trabalhar, de forma atingir os interesses propostos. Assim, foi sugerido o armazenamento de percentuais de vazões afluentes e defluentes, considerando um horizonte de planejamento de dez anos, sendo recomendável também que outros estudos se desenvolvam, considerando horizontes de planejamento menores, com objetivo de dar continuidade aos patamares desejados, assim que os mesmos sejam encontrados pela primeira vez.

Conforme apresentado, pode-se concluir que é de suma importância o fortalecimento e a capacitação técnica dos comitês de bacias hidrográficas, que são agentes adequados para o auxílio das discussões de questões como aqui apresentadas. O comitê de bacia, por meio de sua agência técnica, poderá monitorar o cumprimento daquelas condicionantes apresentadas nas Portarias, Decretos, e Resoluções de Outorga, no que se refere à manutenção das vazões residuais, altura de referência, qualidade da água nos mananciais e até mesmo orientar no que se diz respeito a uso múltiplo da água dos reservatórios. Poderá também propor aos órgãos gestores, quando necessário, a alteração de vazões residuais ou até mesmo a altura de referência, sendo um alavancador para que se encontre o desenvolvimento sustentável.

10 – ANEXO

Tabela 10.1 – Vazões Média Mensais – Estação Estrada do Cunha - 58030000

ANO/MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
1935	5.80	16.86	10.42	6.97	5.38	4.77	4.44	3.98	5.18	6.84	4.33	4.78	6.65
1936	4.28	6.58	21.09	12.30	6.97	5.70	4.88	5.72	5.11	4.93	5.49	7.88	7.58
1937	10.48	10.74	7.75	8.14	7.42	5.89	4.73	4.11	3.63	5.30	6.03	11.26	7.12
1938	10.42	13.54	11.20	9.44	7.23	6.24	5.79	5.87	6.51	7.68	7.10	7.68	8.22
1939	11.52	11.85	10.81	10.22	6.84	5.77	5.18	4.53	4.26	4.36	4.85	6.90	7.26
1940	7.03	13.67	8.79	6.35	5.16	4.45	3.85	3.53	3.54	3.69	4.34	5.95	5.86
1941	7.94	6.26	6.90	5.77	3.90	3.57	3.48	2.86	6.58	5.77	5.88	6.58	5.46
1942	8.59	8.79	9.70	6.58	5.64	5.19	4.84	3.90	3.74	5.03	6.02	10.29	6.53
1943	11.20	11.33	13.35	9.31	6.22	5.72	4.71	4.65	4.60	5.40	5.46	9.18	7.59
1944	9.70	17.25	19.86	9.70	7.23	6.13	5.48	4.63	4.28	4.43	4.69	6.44	8.32
1945	9.11	14.39	8.66	7.16	5.53	6.05	5.10	4.11	4.06	3.81	4.65	7.23	6.65
1946	15.56	9.57	10.48	7.62	5.71	5.12	4.67	3.92	3.56	6.02	7.16	7.36	7.23
1947	13.28	17.25	17.64	11.20	8.07	7.03	6.58	5.90	5.76	6.31	6.97	10.16	9.68
1948	10.29	13.22	14.32	8.53	7.23	6.02	5.40	5.14	4.43	4.09	5.57	6.13	7.53
1949	16.01	10.87	10.48	7.03	5.64	5.59	4.65	4.04	3.61	4.32	5.50	6.84	7.05
1950	13.54	21.48	14.58	11.91	9.90	7.49	6.34	5.27	4.64	5.21	6.46	10.29	9.76
1951	11.72	12.95	15.62	12.69	8.27	6.97	6.58	6.11	5.14	5.55	5.14	5.54	8.52
1952	11.59	13.54	12.82	7.88	6.11	6.64	5.22	4.74	5.22	4.58	5.64	6.14	7.51
1953	4.51	8.14	6.71	6.90	5.20	4.37	4.11	3.78	3.87	4.64	6.11	6.64	5.41
1954	6.64	6.58	7.75	5.72	7.03	5.20	4.21	3.63	3.47	3.93	3.67	4.60	5.20
1955	8.66	4.58	4.91	4.35	3.88	3.44	2.97	2.86	2.55	2.68	3.36	6.43	4.22
1956	4.86	7.16	9.24	5.68	5.61	5.04	4.21	5.82	4.22	4.78	4.90	7.36	5.74
1957	12.17	9.83	12.76	11.33	7.36	6.08	5.32	4.49	5.85	4.67	6.09	5.74	7.64
1958	7.55	7.75	13.41	8.27	7.55	7.62	5.77	4.92	5.81	8.01	8.92	11.52	8.09
1959	12.17	11.00	10.94	11.85	7.10	5.87	5.18	5.38	4.47	4.44	6.48	6.18	7.59
1960	8.72	17.45	14.71	7.94	6.90	5.84	5.30	4.84	4.28	4.62	6.64	11.52	8.23
1961	16.01	18.88	17.64	11.59	9.44	7.55	6.39	5.66	4.77	4.86	6.24	9.90	9.91
1962	15.10	18.03	12.17	8.59	7.29	6.33	5.69	5.59	6.09	7.62	7.88	10.29	9.22
1963	8.79	16.80	13.41	8.85	6.77	6.07	5.47	4.90	4.19	5.33	7.68	7.16	7.95
1964	7.68	12.63	8.92	7.23	6.44	5.32	5.55	4.56	4.19	5.79	4.57	8.01	6.74
1965	14.84	13.28	12.95	8.27	7.75	6.90	5.81	4.80	4.33	6.49	10.09	10.94	8.87
1966	18.75	12.37	18.10	11.72	9.50	7.62	6.48	6.90	6.00	8.14	17.19	14.97	11.48
1967	29.36	36.46	29.03	18.23	13.35	11.78	9.77	8.07	7.75	9.57	9.37	10.03	16.06
1968	11.46	8.72	11.65	8.53	6.84	6.07	5.73	5.83	5.51	4.98	4.45	7.36	7.26
1969	7.75	8.46	8.01	6.84	5.21	4.75	4.04	4.13	3.42	4.30	5.90	6.90	5.81
1970	8.85	12.76	8.98	6.58	5.19	4.75	4.67	5.14	6.47	5.71	5.81	8.59	6.96
1971	7.03	7.36	9.24	7.49	5.61	6.15	4.77	4.43	4.54	7.23	6.64	13.09	6.96
1972	8.66	13.35	11.13	7.10	5.68	4.76	4.78	4.65	4.37	5.88	8.59	6.36	7.11
1973	12.95	14.39	8.98	8.85	8.07	6.00	5.90	5.08	5.07	5.20	6.26	10.48	8.10
1974	14.52	10.81	13.22	9.83	7.10	7.88	5.85	4.95	4.45	4.86	4.56	9.37	8.12
1975	14.19	10.87	12.17	8.66	7.16	5.83	5.55	4.65	4.20	5.23	7.62	11.59	8.14
1976	11.13	14.91	11.46	11.20	10.22	8.46	10.48	8.27	9.96	7.81	10.29	12.76	10.58
1977	19.99	15.69	12.04	11.33	8.27	7.23	6.11	5.34	5.96	5.19	7.10	11.91	9.68
1978	11.91	8.72	9.57	6.71	6.28	6.58	5.62	4.49	4.04	3.95	6.46	8.53	6.90
1979	9.77	8.98	10.55	6.84	6.13	5.18	5.07	5.66	6.58	6.58	9.24	12.04	7.72
1980	9.83	9.50	12.82	11.52	7.55	6.58	5.44	5.18	4.88	4.84	5.78	7.75	7.64
1981	10.61	8.85	9.70	7.16	5.59	5.48	4.73	4.21	3.63	4.80	6.71	13.28	7.06
1982	13.61	9.57	12.50	10.94	7.49	7.49	6.30	6.77	5.09	5.79	6.73	18.29	9.21
1983	19.53	16.47	14.13	14.91	11.46	18.10	10.94	8.79	16.41	13.87	16.93	17.12	14.89

ANO/MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
1984	14.97	10.35	9.31	9.96	10.29	7.68	8.72	6.84	5.83	5.77	5.50	6.09	8.44
1985	11.98	21.09	19.92	12.69	9.63	7.81	6.64	5.96	6.64	5.92	6.26	8.33	10.24
1986	12.63	14.71	14.00	8.46	7.49	6.09	6.02	5.27	4.53	4.15	6.41	19.73	9.12
1987	17.45	13.08	12.04	14.32	13.02	11.65	8.66	7.36	7.62	7.23	6.26	7.68	10.53
1988	10.29	17.12	13.54	11.13	10.94	9.24	7.36	6.31	5.75	6.71	6.64	8.98	9.50
1989	14.91	15.88	16.34	11.78	8.85	7.68	7.23	6.77	6.58	5.46	5.38	7.16	9.50
1990	6.34	6.58	9.31	6.58	5.34	4.41	4.33	4.47	4.77	5.47	5.62	4.49	5.64
1991	10.42	12.50	13.09	11.91	7.29	6.03	5.81	4.17	4.07	6.84	5.23	6.24	7.80
1992	10.42	7.75	7.49	5.79	7.29	4.38	4.68	3.81	4.29	4.82	8.14	9.05	6.49
1993	10.94	16.41	17.32	11.46	8.33	7.75	6.30	5.44	6.90	8.14	5.49	7.29	9.31
1994	8.33	9.63	14.19	9.96	8.33	6.35	5.93	5.09	4.49	4.80	5.63	8.27	7.58
1995	9.18	23.11	12.17	8.53	7.16	6.13	6.00	4.81	4.95	9.70	9.44	10.55	9.31
1996	14.65	22.65	24.28	15.17	11.20	9.05	8.14	7.29	8.14	6.84	10.42	10.94	12.40
1997	14.84	13.54	12.11	8.79	7.42	6.64	5.79	5.60	5.79	6.26	8.98	8.66	8.70
1998	13.93	15.10	10.81	8.20	7.55	6.35	5.82	5.20	5.72	8.46	7.03	8.59	8.56
1999	18.49	20.25	13.09	10.09	7.94	7.68	7.16	6.04	5.41	4.99	5.27	7.10	9.46
Media	11.62	13.08	12.50	9.30	7.41	6.55	5.76	5.19	5.26	5.79	6.73	8.96	8.18
Mínima	4.28	4.58	4.91	4.35	3.88	3.44	2.97	2.86	2.55	2.68	3.36	4.49	4.22

Tabela 10.2– Histórico de cotas do reservatório

Ano	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1964	756	759	760	760	760	760	760	759	758	757	757	758
1965	761	762	766	766	766	766	766	766	765	765	765	765
1966	765	765	765	766	766	766	766	766	765	764	763	761
1967	763	764	764	766	766	765	765	764	762	761	760	759
1968	760	761	762	762	761	761	760	760	759	758	757	758
1969	759	760	760	760	759	758	757	755	753	752	753	755
1970	758	760	762	764	764	764	763	763	762	762	762	762
1971	762	761	761	760	760	759	759	758	757	756	755	757
1972	760	763	765	766	766	766	765	765	764	764	765	766
1973	766	766	766	767	766	766	765	764	763	762	762	762
1974	765	766	767	767	767	767	767	766	764	763	762	762
1975	763	765	766	766	766	765	764	762	760	759	758	760
1976	761	761	763	764	765	765	765	765	766	767	767	767
1977	767	767	767	767	767	766	766	765	764	763	762	763
1978	765	766	767	767	766	766	765	763	762	760	759	760
1979	761	764	767	767	767	767	766	766	765	764	764	765
1980	767	767	767	767	767	767	767	766	765	766	764	766
1981	767	767	768	768	768	768	768	768	766	765	766	767
1982	767	768	768	768	768	768	768	768	767	766	766	767
1983	768	768	768	768	768	768	768	768	768	767	767	767
1984	767	767	768	768	768	767	766	765	764	764	763	764
1985	766	767	768	768	768	768	767	766	764	763	762	761
1986	762	763	764	764	763	763	762	760	759	756	755	756
1987	760	763	765	766	766	766	766	766	765	765	764	764
1988	766	767	768	768	768	768	768	767	766	765	764	763
1989	765	767	768	768	768	768	767	766	765	764	763	764
1990	766	767	767	768	768	768	767	767	766	766	765	765
1991	766	767	768	768	768	768	768	767	766	765	764	764
1992	766	768	768	768	768	768	768	768	767	767	768	767
1993	767	768	768	768	768	768	768	767	766	765	764	763
1994	765	766	767	767	767	767	766	765	763	762	761	761
1995	761	764	767	767	767	767	766	765	764	763	762	761
1996	763	765	766	766	766	766	765	764	763	762	762	764
1997	766	768	768	768	768	768	767	767	766	765	764	764
1998	765	766	766	766	766	765	764	762	760	759	758	758
1999	759	761	763	764	764	763	762	760	758	756	753	753
2000	755	759	761	762	761	760	759	757	756	754	754	754
2001	756	756	756	756	755	755	755	754	754	754	755	756
2002	759	762	765	767	766	766	766	765	764	764	763	763
2003	765	767	768	768	768	767	767	766	765	764	763	762

Tabela 10.3 - Dados de vazões afluentes – Furnas (m³/s)

ANO/MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1931	1470	3080	2160	1580	1020	806	629	493	563	654	690	1140
1932	1930	1920	1530	884	696	655	497	399	414	546	597	1490
1933	1350	747	717	632	467	384	359	356	326	437	324	713
1934	1220	720	773	505	363	310	275	242	277	305	331	1300
1935	1850	2690	1570	1360	930	698	576	493	462	628	550	680
1936	614	602	1850	959	648	461	392	380	469	376	625	1340
1937	2630	1610	1130	851	853	645	480	392	339	842	1020	2370
1938	1950	1650	1470	955	869	661	531	505	507	812	944	1690
1939	2160	2040	1080	973	752	581	507	424	378	426	638	1400
1940	2070	2550	2150	1160	843	661	536	434	409	488	1050	1610
1941	1730	1000	972	794	514	465	464	342	610	669	704	1310
1942	1310	1250	1900	1130	767	639	551	426	398	545	855	1230
1943	2900	2260	2120	1130	798	683	560	502	449	651	659	1090
1944	1000	1530	1650	912	622	502	430	354	300	328	513	671
1945	864	2030	1200	991	635	558	505	357	321	356	724	1590
1946	3160	1290	1470	1150	755	630	553	438	339	492	692	750
1947	1760	1770	3650	1690	1030	803	700	553	765	630	708	1220
1948	1520	1750	1840	1080	768	612	520	449	377	393	530	1050
1949	1570	2260	1330	947	745	632	490	388	347	418	564	849
1950	1590	2634	1590	1180	857	685	530	423	367	495	1020	1670
1951	1590	2180	1840	1280	828	683	571	490	398	423	408	724
1952	1180	1730	2340	1200	708	693	531	414	377	387	668	745
1953	571	653	806	979	510	403	337	292	314	336	518	812
1954	745	1260	668	643	634	458	335	279	225	306	426	596
1955	1130	694	867	665	422	383	285	235	206	276	422	1160
1956	1050	704	1170	599	566	534	405	437	357	315	423	1180
1957	1620	1480	1670	1560	945	680	588	470	621	446	782	1190
1958	960	1550	1240	891	889	754	639	483	589	660	711	848
1959	1860	1410	1240	1090	692	584	504	471	408	432	668	778
1960	1450	1512	1977	971	839	639	624	513	354	421	587	1447
1961	2750	2875	2780	1463	1257	882	708	602	539	455	652	789
1962	1312	2403	1660	993	832	725	564	507	519	760	997	1675
1963	1311	1411	885	468	488	379	386	310	273	363	452	260
1964	1025	1989	992	583	582	412	391	263	228	514	613	1263
1965	2454	3120	2397	1201	1244	943	826	682	581	937	1100	1696
1966	3220	2092	2680	1401	1014	719	574	476	473	753	1436	1707
1967	2909	2590	1907	1155	868	730	645	523	474	522	1089	1211
1968	1645	994	951	606	466	405	353	359	363	452	383	1345
1969	1155	1135	952	631	423	432	332	307	205	490	1233	1137
1970	1419	1276	1316	756	529	443	426	341	608	531	831	539
1971	611	361	473	394	306	363	304	212	230	471	548	1535
1972	1313	1782	1612	884	590	464	615	433	377	695	1148	1290
1973	1572	1427	916	1131	651	504	426	370	332	493	731	1404
1974	1838	1055	1550	1101	663	660	505	399	308	416	385	1101
1975	1448	1562	863	690	497	376	409	252	238	445	1024	1161
1976	949	1158	1257	947	772	747	781	738	1067	916	1372	1928
1977	1985	1591	1194	1180	671	589	463	355	582	417	838	1432
1978	1920	1275	1216	754	700	695	492	361	348	494	863	1091
1979	1401	2407	1412	956	798	636	573	548	733	521	948	1663
1980	2681	1926	1116	1703	905	787	662	480	484	456	828	1763
1981	2775	1335	1266	1085	776	700	499	459	350	818	1336	2348

ANO/MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1982	2452	1930	2914	1803	1271	1096	808	618	481	783	783	2128
1983	3536	3272	3099	2388	1706	2421	1392	1101	2009	1946	2024	3128
1984	2189	1309	985	908	855	571	462	478	545	421	634	1327
1985	2602	2202	2430	1329	870	677	563	467	503	467	763	1048
1986	1695	1544	1360	794	829	552	563	581	364	286	348	1738
1987	1912	1727	1178	1227	832	699	541	427	569	455	591	1343
1988	1295	1798	1417	831	707	641	428	374	315	566	653	808
1989	1789	1593	1604	885	588	551	483	469	488	443	664	1243
1990	1350	651	1064	716	622	420	426	397	454	444	384	585
1991	1944	1969	1773	1902	1019	673	570	419	384	659	458	817
1992	3045	2370	1396	1046	996	605	592	439	688	791	1291	1183
1993	1304	1972	1515	1102	728	745	514	440	469	572	443	705
1994	1936	849	1233	776	886	577	469	354	278	319	459	1072
1995	922	2783	1187	988	731	524	465	299	271	634	615	994
1996	1914	1242	1423	818	624	477	444	381	677	518	1447	1740
1997	3627	1821	1478	1062	755	858	574	425	398	499	733	1168
1998	1191	1261	953	666	569	501	353	350	259	502	529	988
1999	1682	1414	1539	744	523	494	391	268	285	208	332	797
2000	2255	1809	1368	802	533	485	416	371	548	299	701	1011
2001	890	715	621	484	370	286	242	208	266	397	561	1027

Tabela 10.4 – Vazões defluentes planejadas através do método do Conti - Varlet

ANO/MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2004	855	898	849	887	872	895	892	895	853	889	874	867
2005	890	866	884	762	788	763	764	746	812	796	759	785
2006	747	783	765	766	783	758	755	791	769	789	779	755
2007	786	773	771	762	775	806	773	808	803	796	901	887
2008	897	906	895	864	897	908	892	861	894	882	879	880
2009	868	854	893	847	860	857	845	901	907	891	941	1000
2010	946	997	984	986	977	945	990	970	975	954	942	954
2011	986	939	955	1000	993	996	970	972	945	944	959	964
2012	977	947	973	951	980	972	955	976	957	970	1000	941
2013	956	988	961	976	993	968	965	940	953	984	946	999
2014	1000	972	993	979	996	995	940	942	935	970	978	978
2015	984	970	997	966	971	950	957	996	944	988	964	974
2016	998	958	997	931	949	959	934	980	983	925	957	934
2017	932	953	978	921	967	961	952	964	926	978	937	930
2018	967	934	925	967	957	970	955	919	921	923	992	1000
2019	958	1010	951	954	962	952	969	1000	957	991	949	996
2020	973	993	959	964	1000	966	952	964	962	974	954	989
2021	953	1010	947	967	977	985	980	975	991	995	984	972
2022	998	998	947	944	964	955	986	945	949	963	982	992
2023	973	992	981	990	951	995	954	965	960	954	1010	992
2024	984	1010	948	894	882	903	922	929	888	939	923	914
2025	933	912	934	708	693	664	680	709	686	668	712	671
2026	653	706	713	709	702	669	691	713	668	651	679	679
2027	662	668	709	700	657	667	678	690	705	692	662	665
2028	694	668	665	688	649	684	700	671	708	688	662	651
2029	704	705	665	699	667	671	703	656	714	689	914	923
2030	882	939	896	879	879	920	935	887	911	915	924	894
2031	886	908	891	889	887	905	882	921	926	943	914	897
2032	879	908	891	891	916	903	936	906	897	934	911	919
2033	881	914	905	905	905	890	912	919	886	919	982	990

Tabela 10.5 Projeção de cotas armazenando 10% da vazão defluente planejada – Opção 1

ANO/MES	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2004	764	768	768	768	768	768	768	767	767	766	766	767
2005	768	768	768	768	768	768	768	767	767	766	766	767
2006	768	768	768	768	767	767	766	766	765	764	763	764
2007	765	765	765	764	764	763	762	761	760	758	757	758
2008	761	765	767	768	768	768	767	767	766	766	765	765
2009	765	764	767	767	767	766	765	764	764	763	762	763
2010	767	768	768	768	768	768	767	766	765	765	765	768
2011	768	768	768	768	768	768	767	766	766	766	766	766
2012	766	766	766	766	765	764	763	762	761	759	758	759
2013	762	766	768	768	768	767	766	765	764	763	763	765
2014	766	766	766	766	765	764	763	761	760	760	760	761
2015	762	763	765	766	765	765	764	763	762	761	761	762
2016	767	768	768	768	768	768	767	766	766	765	765	765
2017	766	767	768	768	768	767	766	765	764	763	762	762
2018	761	764	765	765	765	764	763	762	761	760	759	761
2019	766	767	768	768	768	767	767	766	765	764	764	763
2020	765	767	768	768	768	768	768	767	767	766	766	767
2021	768	768	768	768	768	767	767	766	765	764	763	763
2022	765	767	768	768	768	767	767	766	765	764	763	763
2023	764	768	768	768	768	768	767	766	765	765	765	765
2024	766	768	768	768	768	768	767	766	765	765	765	765
2025	765	765	765	766	766	766	766	765	765	765	765	765
2026	765	765	765	766	765	765	765	765	765	765	765	765
2027	765	767	767	767	767	767	766	765	764	764	763	763
2028	764	765	765	765	765	764	764	763	762	761	761	762
2029	763	763	764	764	764	764	764	763	763	762	761	762
2030	764	765	767	768	768	768	767	767	766	766	765	766
2031	767	768	768	768	768	768	768	767	767	766	766	766
2032	768	768	768	768	768	767	767	766	765	764	764	764
2033	765	767	768	768	768	768	767	767	766	765	764	766

Tabela 10.6- Projeção de cotas armazenando 30% da vazão defluente planejada – Opção 1

ANO/MES	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2004	764	768	768	768	768	768	768	768	768	768	768	768
2005	768	768	768	768	768	768	768	768	767	767	768	768
2006	768	768	768	768	768	768	767	767	767	766	766	766
2007	768	768	768	768	768	767	767	766	765	765	764	766
2008	768	768	768	768	768	768	768	768	767	767	767	767
2009	767	767	768	768	768	768	767	767	767	766	766	767
2010	768	768	768	768	768	768	768	767	766	767	767	768
2011	768	768	768	768	768	767	767	766	765	765	764	766
2012	768	768	768	768	768	767	766	765	764	762	762	763
2013	765	768	768	768	768	767	766	765	764	763	763	765
2014	766	766	766	766	765	764	763	761	760	760	759	760
2015	761	761	763	764	763	763	762	760	759	758	757	758
2016	763	767	768	768	768	768	768	768	767	767	767	768
2017	768	768	768	768	768	768	767	767	766	765	765	765
2018	765	768	768	768	768	768	767	767	766	766	766	767
2019	768	768	768	768	768	768	768	767	767	766	766	766
2020	768	768	768	768	768	768	768	768	768	768	768	768
2021	768	768	768	768	768	768	768	767	767	766	766	766
2022	768	768	768	768	768	768	768	767	767	766	766	766
2023	768	768	768	768	768	768	768	767	767	766	767	768
2024	768	768	768	768	768	768	768	768	767	766	765	765
2025	765	767	768	768	768	768	768	767	767	766	766	766
2026	766	766	766	767	766	766	765	764	763	763	762	763
2027	763	764	764	764	764	763	763	762	760	759	759	759
2028	760	760	760	760	760	759	759	758	757	757	757	759
2029	760	761	762	763	763	763	763	763	762	762	762	763
2030	765	767	768	768	768	768	768	768	768	767	767	768
2031	768	768	768	768	768	768	768	768	768	768	768	768
2032	768	768	768	768	768	768	768	767	767	767	767	767
2033	768	768	768	768	768	768	768	768	767	767	767	768

11– BIBLIOGRAFIA

- Alves, M. H., (1998). O caudal ecológico como medida de minimização dos impactos nos ecossistemas dulciaquícolas. Revista do Ambiente 8, Portugal.
- Bartholow, J.M. (1989). Stream temperature investigations: field and analytic methods. Instream Flow Information Paper No. 13. U.S. Fish Wildl. Serv. Biol. Rep. 89 (17). 139 pp.
- Bovee, K.D., Lamb, B.L., Bartholow, J.M., Stalnaker, C.B., Taylor, J. e Henriksen J. (1998). Stream Habitat Analysis Using the Instream Flow Incremental Methodology. U.S.Geological Survey , Biological Resources Division Information and Technology Report,USGS/BRD, viii, 131p.
- Benetti, A. D.; Lanna, A. E.; Cobalchini, M. S. (2002). Metodologias para Determinação de Vazões Ecológicas em Rios. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Volume 8, n2, p.149-160.
- Bezerra, N.R.(2001) Metodologias para definição de Vazões Mínimas Garantidas em Cursos D' água. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, DF, 132p.
- Engel, E.,(2002) Conflitos De Uso Das Águas De Furnas, O Estado das Águas no Brasil, pág.107 a 109.
- Cassie, D. e El-Jabi, N. (1995). “Comparison and regionalization of hydrologically based instream flow techniques in Atlantic Canada”. Canadian Journal of Civil Engineering.
- Coimbra, R.J.S.; Figueiredo, R.M. (2003). Impacto ambiental das Hidroelétricas. Trabalho apresentado a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, no âmbito da cadeira de Produção e Planejamento de Energia Elétrica.
- ELETROBRÁS.- Centrais Elétricas Brasileiras S. A.. Diretrizes para estudos e projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas. Disponível em:
<http://www.eletrobras.gov.br/atuacao/recursos/diretrizes.asp>> Acesso em: 3de março de 2004.
- FURNAS.- Furnas Centrais Elétricas S. A. Acessado em:
<http://www.furnas.com.br> Acesso em: 1 de março de 2004.
- Gonçalves; M.V.C.; Koide,S. e Cordeiro Netto, O. C.(2003).Revisão e aplicação de alguns métodos para determinação de vazão mínima garantida em cursos d'água . Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos,. PR
- Hora, A F.; Hora, M.A G.M.; Silva, R.C.V. (2003). Compatibilização do uso da água e da geração hidráulica de energia.Estudo de caso: UHE manso. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos,. PR.

- Jardim, S.B.; Lanna, A.E.L (2003).Aplicação de algumas técnicas de Análise Multiobjetivo ao processo Decisório no Âmbito dos Comitês de Gerenciamento de Bacia Hidrográfica.Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH, Volume 8 n.4 Out/Dez 2003, 169-191.
- Karim, K.; Gubbls, M.E. e Goutler, I.C. (1996). “Review of determination of instream flow requirements with special application to Austrália. “Watter Resources Bulletin, 31(6), 1063-1077.
- Lucena, L. F.L. (2003). A Análise Multicriterial na Avaliação de Impactos Ambientais. Anais do V Encontro de Economia Ecológica, Campinas, SP.
- Luz, L.D. (1995).O estabelecimento de cenários no planejamento dos usos dos recursos hídricos. Anais do XI Simpósio da Associação Brasileira dos Recursos Hídricos, Recife – PE. V 3.
- Martins, S. L. e Tamada, K (2000).Sistemas Para a Transposição de Peixes . Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, BT/PHD/72, 30p.
- Morhardt, J. E. Instream flow Methodologies. EA Engineering, Science, and Technology, Inc. Califórnia, 1986.
- Mortari, D.(1997).Uma abordagem geral sobre a vazão remanescente, em trechos curto-circuitado, de Usinas Hidrelétricas. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Vitória, ES., p. 583-589.
- Neves, M.M.; Porto, M. (2003). O emprego do TMDL como mecanismo de enquadramento de corpos d’água. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos,. PR
- ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico - Sistema Interligado Nacional
<<http://www.ons.org.br/ons/sin/index.html> Acessado em 28.02.2004
- Ribeiro Junior, L.U., Santos, A.H.M, Bortoni, E.C. (2004). – Determinação da Vazão Remanescente no Curso D’ Água Utilizando Métodos Multicriteriais como Auxílio Á Tomada De Decisão. Anais do XXI Congresso Latinoamericano de Hidráulica São Pedro, Estado De São Paulo, Brasil.
- Pelissari, V. B.(1999). Determinação da Vazão Residual dos Rios: Estudo de Caso – Rio Timbuí, Santa Teresa, Espírito Santo. Dissertação de Mestrado Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, UFES, 1999.

- Pacca, S.A., Fabrizzy, M.P. (1996). O Licenciamento ambiental das Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH; uma comparação entre o Brasil e Europa. VII Congresso Brasileiro de Energia – CBE, pg 684-693. RJ.
- Praia de Minas : <http://www.praiasdeminas.com.br> Acessado em 15.10.2003
- Santos, A. H. M, Almeida, R. A., Cabral, R. S., Lima, A. M. (2001), Compensação financeira pela utilização de recursos hídricos, Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Porto Alegre, Associação Brasileira de Recursos Hídricos.
- Santos, A. A. M.,(2002) Administrando Conflitos – O caso do lago de Furnas, O Estado das Águas no Brasil, pág.411 a 417.
- Santos¹, A. H. M; Ribeiro Junior, L.U.; Garcia, M.A.R.A; Severi, M.A. (2003) “Vazão remanescente no trecho de vazão reduzida de pequenas centrais hidrelétricas”. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba, PR.
- Santos², A. H. M.; Bortoni, E. C.; Ribeiro Junior, L.U.; Garcia, M.A.R.A;(2003)“A exploração de reservatórios e os comitês de bacia: uma análise prospectiva para o caso da UHE de Furnas.” Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba, PR.
- Sarmiento, R., Pelissari, V.B. (1999) Determinação da vazão residual dos rios: estado da arte. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 13, Belo Horizonte, MG. Anais. Belo Horizonte: ABRH. 1999.
- Schwartzman, A.S.; Nascimento, N.O.; Sperling, M.V. (2002). Outorga e Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos: Aplicação à Bacia do Rio Paraopeba, MG. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Volume 7 n.1.
- Souza,Z.; Santos, A.H.M.; Bortoni, E.C.(1999). Centrais Hidrelétricas: Estudos para Implantação. Centrais Elétricas Brasileiras S. A. - ELETROBRÁS
- Tennant, D. L. (1976). “Instream Flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources”. Fisheries, (1) 4, 6-10.
- Tharme, R. (1996). Review of International Methodologies for the Quantification of the Instream Flow Requirements of Rivers. Department of Water Affairs and Forestry, Cape Town, África do Sul.
- Tucci, C.E.M. (2001). Hidrologia: ciência e aplicação. 2ª edição, Editora da UFRGS, ABRH, 943 p.
- Tundisi, J.G. (2003). Água no século XXI: Enfrentando a Escassez. São Carlos, Editora RIMA, 248p.

- ZUFFO, A. C.; REIS, L. F.R.; SANTOS, R.F.; CLAUDHRY, F.H. (2002). Aplicação de Métodos Multicriteriais ao Planejamento de Recursos Hídricos. Revista Brasileira de Recursos Hídricos – Volume 7 n.1 Jan/Mar 2002, 81-102.
- ZUFFO, A.C. (1998). Seleção e aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento ambiental de recursos hídricos. Tese de doutorado, apresentado a Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 1998.

APENDICE 1



RESOLUÇÃO Nº 131, DE 11 DE MARÇO DE 2003

Dispõe sobre procedimentos referentes à emissão de declaração de reserva de disponibilidade hídrica e de outorga de direito de uso de recursos hídricos, para uso de potencial de energia hidráulica superior a 1 MW em corpo de água de domínio da União e dá outras providências.

O DIRETOR-PRESIDENTE DA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA, no uso da atribuição que lhe conferem os incisos III e XVII do art. 16 do Regimento Interno aprovado pela Resolução nº 9, de 17 de abril de 2001, torna público que a **DIRETORIA COLEGIADA**, em sua 84ª Reunião Ordinária, realizada em 10 de março de 2003, considerando o disposto no art. 7º da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, resolveu:

Art. 1º Para licitar a concessão ou autorizar o uso do potencial de energia hidráulica em corpo de água de domínio da União, a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL deverá promover, junto à ANA, a prévia obtenção de declaração de reserva de disponibilidade hídrica.

§1º A declaração de reserva de disponibilidade hídrica e a outorga de direito de uso de potencial de energia hidráulica em corpo hídrico de domínio dos estados e do Distrito Federal serão objeto de regulamentação específica.

§2º Ao solicitar a declaração de reserva de disponibilidade hídrica de que trata o *caput* deste artigo a ANEEL deverá encaminhar cópia dos seguintes documentos:

I – ficha técnica do empreendimento, conforme modelo anexo a esta Resolução;

II – estudos hidrológicos referentes à determinação:

- a) da série de vazões utilizadas no dimensionamento energético de cada um dos cenários de usos múltiplos dos recursos hídricos, inclusive para o transporte aquaviário;
- b) das vazões máximas consideradas no dimensionamento dos órgãos extravasores;
- c) das vazões mínimas; e
- d) do transporte de sedimentos;

III – estudos referentes ao reservatório quanto à definição:

- a) das condições de enchimento;
- b) do tempo de residência da água;
- c) das condições de assoreamento;
- d) do remanso; e

e) das curvas “cota x área x volume”;

IV – mapa de localização e de arranjo do empreendimento, georreferenciado e em escala adequada;

V – descrição das características do empreendimento, no que se refere:

- a) à capacidade dos órgãos extravasores;
- b) à vazão remanescente, quando couber;
- c) às restrições à montante e à jusante; e
- d) ao cronograma de implantação;

VI – estudos energéticos utilizados no dimensionamento do aproveitamento hidrelétrico, inclusive quanto a evolução da energia assegurada ao longo do período da concessão ou da autorização; e

VII – Anotação de Responsabilidade Técnica – ART dos técnicos responsáveis pelos estudos.

§3º A ANA poderá solicitar à ANEEL dados complementares para análise do pedido.

Art. 2º A ANA dará publicidade aos pedidos de declaração de reserva de disponibilidade hídrica bem como aos atos administrativos que deles resultarem.

Art. 3º Na análise do pedido de declaração de reserva de disponibilidade hídrica de que trata o artigo 1º, a ANA se articulará com os respectivos órgãos ou entidades gestores de recursos hídricos dos Estados e do Distrito Federal, visando a garantia dos usos múltiplos na bacia hidrográfica.

Parágrafo único. A articulação compreenderá consulta aos órgãos ou às entidades gestoras, sobre os usos de recursos hídricos nos rios de domínio estadual ou do Distrito Federal que poderão afetar o empreendimento ou por este serem afetados.

Art. 4º A ANA considerará em sua avaliação:

I - os usos atual e planejado dos recursos hídricos na bacia hidrográfica, cujo impacto se dá predominantemente na escala da bacia; e

II - o potencial benefício do empreendimento hidrelétrico, cujo impacto se dá preponderantemente na escala nacional.

Art. 5º A declaração de reserva de disponibilidade hídrica não confere direito de uso de recursos hídricos e se destina, unicamente, a reservar a quantidade de água necessária à viabilidade do empreendimento hidrelétrico.

Parágrafo único. A declaração de reserva de disponibilidade hídrica será concedida pelo prazo de até três anos, podendo ser renovada por igual período, a critério da ANA, mediante solicitação da ANEEL.

Art. 6º A ANA transformará automaticamente a declaração de reserva de disponibilidade hídrica em outorga de direito de uso de recurso hídrico tão logo receba da ANEEL a cópia do contrato de concessão ou do ato administrativo de autorização para exploração de potencial de energia hidráulica localizado em rios de domínio da União.

Art. 7º Os detentores de concessão e de autorização de uso de potencial de energia hidráulica, expedidas até a data desta Resolução, ficam dispensados da solicitação de outorga de direito de uso dos recursos hídricos.

Art. 8º Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

JERSON KELMAN

**ANEXO
FICHA TÉCNICA**

USINA HIDRELETRICA:												
EMPRESA:												
ETAPA:												
CONTATO:										DATA:		
										TEL.:		
1. LOCALIZAÇÃO												
RIO:				SUB-BACIA:				BACIA:				
LAT.:		DIST. DA FOZ:		MUNICÍPIO M. DIR.:				UF.:				
LONG.:		km		MUNICÍPIO M. ESQ.:				UF.:				
2. DADOS HIDROMETEOROLÓGICOS												
<u>POSTOS FLUVIOMÉTRICOS DE REFERÊNCIA</u>												
CÓD.:		NOME:		RIO:				AD:		km ²		
ÁREA DE DRENAGEM DO BARRAM.:		km ²		VAZÃO FIRME: (95%)				m ³ /s				
PREC. MÉDIA ANUAL:		mm		VAZÃO MÁX. REGISTRADA: ()				m ³ /s				
EVAP. MÉDIA ANUAL:		mm		VAZÃO MÍN. REGISTRADA: ()				m ³ /s				
EVAP. MÉDIA MENSAL: mm		mm		VAZÃO MÍN. MÉDIA MENSAL:				m ³ /s				
VAZÃO MLT (PER.:):		m ³ /s		VAZÃO DE PROJETO (TR: ANOS)				m ³ /s				
				VAZÃO OBRAS DESVIO (TR: ANOS)				m ³ /s				
<u>VAZÕES MÉDIAS MENSAIS (m³/s) – PERÍODO:</u>												
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
<u>EVAPORAÇÃO MÉDIA MENSAL (mm) – PERÍODO:</u>												
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
3. RESERVATÓRIO:												
<u>N.A. DE MONTANTE</u>						<u>VOLUMES</u>						
MÍN. NORMAL:		m		NO N.A. MÁXIMO NORMAL:				x10 ⁶ m ³				
MÁX. NORMAL:		m		ÚTIL:				x10 ⁶ m ³				
MÁX. MAXIMORUM:		m		ABAIXO DA SOL. VERTEDOIRO:				x10 ⁶ m ³				
<u>N.A. DE JUSANTE:</u>						<u>OUTRAS INFORMAÇÕES</u>						
NORMAL:				VIDA ÚTIL DO RESERVATÓRIO				anos				
MÍNIMO:		m		VAZÃO REGULARIZ. (PER. CRÍT. /)				m ³ /s				
MÁX. NORMAL:		m		PERÍMETRO DO RESERVATÓRIO:				km				
<u>ÁREAS INUNDADAS</u>						PROFUNDIDADE MÉDIA:						
NO N.A. MÁX. MAXIMORUM:		km ²		PROFUNDIDADE MÁXIMA:				m				
NO N.A. MÁX. NORMAL:		km ²		TEMPO DE FORMAÇÃO DO RESERV.:				dias				
NO N.A. MÍN. NORMAL:		km ²		TEMPO DE RESIDÊNCIA:				dias				
<u>ÁREAS INUNDADAS POR MUNICÍPIO (ha)</u>												
MUNICÍPIO		ESTADO		ÁREAS (ha)								
				SEM A CALHA DO RIO			LEITO DO RIO			TOTAL		
4. TURBINAS												
TIPO:				VAZÃO UNITÁRIA NOMINAL:				m ³ /s				
POTÊNCIA UNITÁRIA NOMINAL:		MW		RENDIMENTO OP. MÁXIMO:				%				
NÚMERO DE UNIDADES:				RENDIMENTO OP. MÍNIMO:				%				
QUEDA DE PROJETO (BRUTA MÁX.):		m										

5. CRONOGRAMA – PRINCIPAIS FASES			
INÍCIO DAS OBRAS ATÉ O DESVIO:	meses	TOTAL:	meses
DESVIO ATÉ O FECHAMENTO:	meses	MONT. ELETROMECAÂNICA (1ª UNID.):	meses
FECHAM. ATÉ GERAÇÃO (1ª UNID.):	meses	OPERAÇÃO (cada unidade):	meses
6. ESTUDOS ENERGÉTICOS			
QUEDA BRUTA MÁXIMA:	m	ENERGIA FIRME:	MW médios
QUEDA DE REFERÊNCIA:	m	ENERGIA ASSEGURADA:	MW médios
POTÊNCIA DA USINA:	mW	POTÊNCIA MÉDIA:	MW médios
7. IMPACTOS SÓCIO-AMBIENTAIS			
<u>POPULAÇÃO ATINGIDA (Nº DE HABITANTES)</u>		<u>FAMÍLIAS ATINGIDAS</u>	
URBANA:		URBANA:	
RURAL:		RURAL:	
TOTAL:		TOTAL:	
QUANTIDADE DE NÚCLEOS URBANOS ATINGIDOS:			
INTERFERÊNCIAS COM ÁREAS LEGALMENTE PROTEGIDAS:		SIM	NÃO
INTERFERÊNCIAS COM ÁREAS INDÍGENAS:		SIM	NÃO
RELOCAÇÃO DE ESTRADAS:			EXTENSÃO: km
RELOCAÇÃO DE PONTES:			EXTENSÃO:
EMPREGOS GERADOS DURANTE A CONSTRUÇÃO:			DIRETOS:
			INDIRETOS:
8. ASPECTOS AMBIENTAIS CRÍTICOS:-			
(POR EXEMPLO: RESERVAS INDÍGENAS, CAVERNAS NO LOCAL DO RESERVATÓRIO, ETC)			
9. DESCRIÇÃO SOBRE A EXISTÊNCIA DE OUTROS USOS DOS RECURSOS HÍDRICOS:-			
(POR EXEMPLO, NAVEGAÇÃO, ABASTECIMENTO PÚBLICO, TURISMO, LAZER, ETC)			
10. OBSERVAÇÕES: -			

APENDICE 2

RESOLUÇÃO Nº 422, DE 2 DE DEZEMBRO DE 2003.

O DIRETOR-PRESIDENTE DA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA, no uso da atribuição que lhe confere o art. 16, inciso XVII, do Regimento Interno aprovado pela Resolução nº 9, de 17 de abril de 2001, torna público que a DIRETORIA COLEGIADA, em sua 115ª Reunião Ordinária, realizada em 2 de dezembro de 2003, considerando o disposto no art. 7º da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, o disposto na Resolução nº 131, de 11 de março de 2003, conforme solicitação da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, processo nº 02501.001915/2003-78, resolveu:

Art. 1º Declarar a reserva de disponibilidade hídrica constituída pelas vazões naturais subtraídas das vazões médias mensais destinadas ao atendimento de outros usos constantes do Anexo I, para possibilitar o aproveitamento de energia hidráulica na seção do Rio Correntes pela Pequena Central Hidrelétrica Santa Gabriela, localizada entre os municípios de Itiquira, no Estado de Mato Grosso, e Sonora, no Estado do Mato Grosso do Sul, tendo as seguintes características:

I - coordenadas geográficas do eixo do barramento: 17º 32' 15'' de Latitude Sul e 54º 26' 00'' de Longitude Oeste;

II - nível d'água máximo normal a montante: 459,00m;

III - nível d'água máximo maximorum a montante: 462,0m;

IV - nível d'água mínimo normal a montante: 459,00m;

V - área inundada do reservatório no nível d'água máximo normal: 0,71 km²;

VI - área inundada do reservatório no nível d'água máximo maximorum: 6,39 km²;

VII - volume do reservatório no nível d'água máximo normal: 0,39 hm³;

VIII - altura máxima da barragem: 11,00m;

IX - potência instalada: 24 MW;

X - vazão máxima das turbinas: 67,10m³/s;

XI - vazão mínima remanescente no trecho entre a barragem e a casa de força: 5,42 m³/s; e

XII - vazão mínima remanescente na fase de enchimento: 24,70 m³/s.

Art. 2º As características de que trata o art.1º, exceção daquela prevista no inciso XI, poderão ser alteradas mediante solicitação da ANEEL acompanhada do estudo técnico específico.

Parágrafo único. A vazão mínima a que se refere o inciso XI do art.1º somente poderá ser alterada mediante solicitação da ANEEL acompanhada de estudo técnico específico aprovado pelo órgão ambiental competente.

Art. 3º Esta declaração não confere direito de uso dos recursos hídricos e se destina a reservar a vazão a ser outorgada, possibilitando ao investidor o planejamento de seu empreendimento.

Art. 4º Esta declaração de reserva de disponibilidade hídrica será automaticamente transformada, pela ANA, em outorga de direito de uso de recursos hídricos ao titular que receber da ANEEL a concessão ou a autorização para uso do potencial de energia hidráulica.

Parágrafo único. Na ausência de solicitação da ANEEL na forma do parágrafo único do art. 2º, a transformação automática desta declaração em outorga de direito de uso de recursos hídricos estará condicionada à manutenção da vazão mínima a que se refere o inciso XI do art.1º.

Art. 5º Esta declaração de reserva de disponibilidade hídrica tem prazo de validade de três anos, contado a partir da data de publicação desta Resolução, podendo ser renovada, por igual período, mediante solicitação da ANEEL.

Art. 6º As condições de operação do reservatório do aproveitamento hidrelétrico serão definidas e fiscalizadas pela ANA, em articulação com o Operador Nacional do Sistema – ONS, conforme disposto no inciso XII e §3º do art. 4º da Lei nº 9.984, de 2000.

Art. 7º A presente declaração de reserva de disponibilidade hídrica se caracteriza como outorga preventiva e poderá ser suspensa, parcial ou totalmente, em definitivo ou por tempo determinado, no caso de incidência nos arts. 15, 49 e 50 da Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, e em caso de indeferimento ou cassação da Licença Ambiental pelo órgão competente.

Art. 8º A declaração de reserva de disponibilidade hídrica, objeto desta Resolução, poderá ser revista:

I - quando os estudos de planejamento regional de utilização dos recursos hídricos indicarem a necessidade de revisão das outorgas emitidas; e

II - quando for necessária a adequação aos planos de recursos hídricos e a execução de ações para garantir a prioridade de uso dos recursos hídricos prevista no art. 13 da Lei nº 9.433, de 1997.

Art. 9º Esta declaração de reserva de disponibilidade hídrica não dispensa, nem substitui a obtenção, pelo outorgado, de certidões, alvarás ou licenças de qualquer natureza, exigidos pela legislação federal, estadual ou municipal.

Art. 10. O direito de uso de recursos hídricos oriundo desta declaração de reserva de disponibilidade hídrica estará sujeito à cobrança, nos termos da legislação pertinente.

Art. 11. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

JERSON KELMAN

ANEXO I

VAZÕES MÉDIAS MENSAIS A SEREM SUBTRAÍDAS DAS VAZÕES NATURAIS AFLUENTES AO APROVEITAMENTO HÍDRELÉTRICO – PCH SANTA GABRIEL

Mês	2003	2013	2023	2033
Janeiro	0,051	0,052	0,052	0,052
Fevereiro	0,051	0,052	0,052	0,052
Março	0,051	0,052	0,052	0,052
Abril	0,051	0,052	0,052	0,052
Mai	0,185	0,225	0,266	0,307
Junho	0,469	0,596	0,722	0,848
Julho	0,588	0,750	0,912	1,074
Agosto	0,575	0,733	0,890	1,048
Setembro	0,509	0,647	0,785	0,923
Outubro	0,269	0,334	0,400	0,466
Novembro	0,051	0,052	0,052	0,052
Dezembro	0,051	0,052	0,052	0,052

APENDICE 3

PORTARIANº 63, DE 08 DE MAIO DE 1987

○ DIRETOR-GERAL DO DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA, usando da atribuição que lhe confere o artigo 2º do Decreto nº 93.987, de 30 de janeiro de 1987, nos termos do artigo 140, letra "a", do Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934, e tendo em vista o que consta do Processo nº 27104.000315/86-34, resolve:

I - Outorgar à Fábricas Unidas de Tecidos, Rendas e Bordados S.A. concessão para o aproveitamento da energia hidráulica de um trecho do rio Chiqueiro, no Município de Magé, Estado do Rio de Janeiro, não conferindo, o presente título, delegação de Poder Público à concessionária;

II - O aproveitamento se destina à produção de energia elétrica para uso exclusivo da concessionária, que não poderá fazer cessão a terceiros, mesmo a título gratuito;

III - Não se compreende na proibição do item II o fornecimento de energia elétrica aos associados da concessionária e vilas operárias de seus empregados, quando construídas em terrenos de sua propriedade;

IV - A concessionária fica obrigada a satisfazer as exigências acauteladoras dos usos múltiplos da água;

V - A concessionária concluirá as obras no prazo fixado na Portaria de aprovação do projeto, executando-as de acordo com o mesmo, com as modificações que forem autorizadas, se necessárias;

VI - O prazo referido no item V poderá ser prorrogado mediante ato do Diretor da Divisão de Concessão de Águas e Eletricidade, deste Departamento;

VII - A concessão de que trata esta Portaria vigorará pelo prazo de 30 (trinta) anos, a contar da data de sua publicação;

VIII - Findo o prazo da concessão, os bens e instalações que, no momento, existirem, em função dos serviços concedidos, reverterão à União;

IX - Fica a concessionária obrigada a requerer ao Governo Federal, nos 6 (seis) últimos meses que antecederem o término do prazo de vigência da concessão, sua renovação, mediante as condições que vierem a ser estabelecidas, ou a comunicar, no mesmo prazo, sua desistência;

X - No caso de desistência, fica a critério do Poder Concedente exigir que a concessionária reponha, por sua conta, o curso d'água em seu primitivo estado;

XI - A concessionária fica obrigada a cumprir o disposto no Código de Águas, leis subseqüentes e seus regulamentos;

XII - Esta Portaria entra em vigor na data de sua publicação.

GETULIO LAMARTINE DE PAULA FONSECA

APENDICE 4

PORTARIA Nº 79, DE 22 DE MAIO DE 1987

○ DIRETOR-GERAL DO DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA, usando da atribuição que lhe confere o artigo 2º do Decreto nº 93.987, de 30 de janeiro de 1987, nos termos do artigo 140, letra "a", do Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934, e tendo em vista o que consta do Processo nº 703.057/83-7, resolve:

I - Outorgar à Companhia Industrial de Estamparia concessão para os aproveitamentos da energia hidráulica dos trechos dos rios Biribiri e São Roberto, respectivamente nos Municípios de Diamantina e Gouvêa, Estado de Minas Gerais, não conferindo, o presente título, delegação de Poder Público à concessionária;

II - O aproveitamento se destina à produção de energia elétrica para uso exclusivo da concessionária, que não poderá fazer cessão a terceiros, mesmo a título gratuito;

III - Não se compreende na proibição do item II o fornecimento de energia aos associados da concessionária e vilas operárias de seus empregados, quando construídas em terrenos de sua propriedade;

IV - A concessionária fica obrigada a satisfazer as exigências acauteladoras dos usos múltiplos da água;

V - A concessão de que trata esta Portaria vigorará pelo prazo de 30 (trinta) anos, a contar da data de sua publicação;

VI - Findo o prazo da concessão, os bens e instalações que, no momento, existirem, em função dos serviços concedidos, reverterão à União;

VII - Fica a concessionária obrigada a requerer ao Governo Federal, nos 6 (seis) últimos meses que antecederem o término do prazo de vigência da concessão, sua renovação, mediante as condições que vierem a ser estabelecidas, ou a comunicar, no mesmo prazo, sua desistência;

VIII - No caso de desistência, fica a critério do Poder Concedente exigir que a concessionária reponha, por sua conta, o curso d'água em seu primitivo estado;

IX - A concessionária fica obrigada a cumprir o disposto no Código de Águas, leis subsequentes e seus regulamentos;

X - Esta Portaria entra em vigor na data de sua publicação.

GETULIO LAMARTINE DE PAULA FONSECA

APENDICE 5



05060467



LEGISLAÇÃO

TIPO ATO	INSTITUIÇÃO	N.º DO ATO	DATA DO ATO	DATA D.O.	PÁG. D.O.
Portaria	DNAEE	565	25/08/1994		15777

SECRETARIA DE ENERGIA

Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica

• PORTARIA Nº 565, DE 25 DE AGOSTO DE 1994

EP: O DIRETOR DO DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DNAEE, da Secretaria de Energia, do Ministério de Minas e Energia, usando da atribuição que lhe confere o art. 2º, inciso I da Portaria MME nº 22, de 25 de janeiro de 1993, nos termos da alínea "a" do art. 140, do Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934, e considerando o que consta do Processo nº 27100.001111/90-73, resolve:

Art. 1º Outorgar à Cooperativa Agrária Mistá Entre Rios Ltda. concessão para o aproveitamento da energia hidráulica de um trecho do rio São Jerônimo, para construção de uma pequena central hidrelétrica denominada PCH Agrária, com potência instalada de 10.000 kW, localizada no Município de Guarapuava, Estado do Paraná, nas coordenadas geográficas 51º25'S de latitude e 51º30'W de longitude.

Parágrafo único. A concessão de que trata esta Portaria não confere delegação de Poder Público à Cooperativa Agrária Mistá Entre Rios.

Art. 2º A energia elétrica produzida destinar-se-á ao uso exclusivo da titular da concessão que não poderá fazer cessão a terceiros mesmo a título gratuito.

Parágrafo único. Não se compreende na proibição deste artigo o fornecimento de energia elétrica à vilas operárias de seus empregados quando construídas em terrenos de sua propriedade.

Art. 3º A concessão de que trata esta Portaria vigorará pelo prazo de trinta anos, a contar da data de sua publicação.

Art. 4º A Cooperativa Agrária Mistá Entre Rios Ltda. deverá:

I - satisfazer as exigências acautelatórias dos usos múltiplos das águas, especialmente o controle das cheias;

II - cumprir o disposto no Código de Águas, leis subseqüentes e seus regulamentos;

III - requerer ao Governo Federal a renovação da concessão até seis meses antes do término do prazo fixado no artigo 3º, mediante as condições que vierem a ser estabelecidas, entendendo-se, se não o fizer, que não pretende a renovação.

Art. 5º Não havendo renovação da concessão, ficará a critério do Poder Concedente, exigir que a Cooperativa Agrária Mistá Entre Rios Ltda., reponha por sua conta, o curso d'água em seu primitivo estado, ou reverter os bens em seu favor.

Art. 6º Esta Portaria entra em vigor na data de sua publicação.

JOSÉ SAID DE BRITO

APENDICE 6

O DIRETOR DO DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA, da Secretaria de Energia, do Ministério de Minas e Energia, usando da atribuição que lhe confere o art. 2º, inciso I, da Portaria Ministerial nº 022, de 25 de janeiro de 1993, nos termos do disposto na alínea "a", do art. 140 e na alínea "a", do art. 164, do Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934, e considerando o que consta do Processo nº 29000.005414/91-08, resolve:

Art. 1º Outorgar à Cassol Indústria e Comércio de Madeiras Ltda. concessão para o aproveitamento da energia hidráulica de um trecho do rio Colorado, para construção de uma Pequena Central Hidrelétrica, com uma unidade geradora de 3.000 kW, denominada "Santa Luzia D'Oeste, localizada no Município de Alta Floresta D'Oeste, Estado de Rondônia, nas coordenadas geográficas 12º21'06" S de latitude e 61º45'30" W de longitude.

Parágrafo único. A Concessão de que trata esta Portaria não confere delegação de Poder Público à Cassol Indústria e Comércio de Madeiras Ltda.

Art. 2º A energia elétrica produzida destinar-se-á ao uso exclusivo da titular da concessão que não poderá fazer cessão a terceiros, mesmo a título gratuito. *Gastão L*

(Fls. 2 da Portaria nº 236 , de 15 de ABRIL de 1993, que outorga à Cassol Indústria e Comércio de Madeiras Ltda., concessão para o aproveitamento da energia hidráulica no rio Colorado, Município de Alta Floresta D'Oeste, Estado de Rondônia).

Parágrafo único. Não se compreende na proibição deste artigo o fornecimento de energia elétrica à vilas operárias de seus empregados, quando construídas em terrenos de sua propriedade e o realizado nos termos do Decreto-lei nº 1.872, de 21 de maio de 1981.

Art. 3º A concessão de que trata esta Portaria vigorará pelo prazo de trinta anos, a contar da data de sua publicação.

Art. 4º A Cassol Indústria e Comércio de Madeiras Ltda. deverá:

I - satisfazer as exigências acautelatórias dos usos múltiplos das águas, especialmente o controle das cheias;

II - cumprir o disposto no Código de Águas, leis subseqüentes e seus regulamentos;

III - requerer ao Governo Federal a renovação da concessão nos seis últimos meses que antecederem ao término do prazo fixado no art. 3º, mediante as condições que vierem a ser estabelecidas, ou comunicar, no mesmo prazo, sua desistência.

Art. 5º Não havendo renovação da concessão, ficará a critério do Poder Concedente, exigir que a Cassol Indústria e Comércio de Madeiras Ltda, reponha, por sua conta, o curso d'água em seu primitivo estado, ou reverter os bens em seu favor.

Art. 6º Esta Portaria entra em vigor na data de sua publicação

Gastão L de Almeida
GASTÃO LUIZ DE ANDRADE LIMA

PUBLIQUE-SE

APENDICE 7

PROPOSTA DE RESOLUÇÃO DO DAIA

Dispõe sobre critérios ambientais para a operação de Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCHs.

O Secretário do Meio Ambiente, no cumprimento de suas atribuições legais, Considerando:

- a promulgação do Decreto n.º 4.561, de 23/12/2002, no qual foi instituído o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA, cujo objetivo é o aumento da participação da energia elétrica produzida com base em fontes eólicas, Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e biomassa, no Sistema Interligado Nacional.
- que a operação das PCHs, em geral, implica em redução drástica de vazões no trecho curto-circuitado ou em variação abrupta de vazões no caso de geração de ponta;
- que essas variações de vazão provocam impactos significativos na abundância e diversidade da biota aquática e ecossistemas associados no trecho de jusante do barramento, e podem comprometer os processos ecológicos que ocorrem ao longo dos rios;
- que perante as fontes convencionais de geração de energia elétrica as PCHs provocam impactos ambientais relativamente menores, pois não necessitam da formação de grandes reservatórios, não são consideradas fontes emissoras de poluentes e também não necessitam da implantação de grandes extensões de linhas de transmissão;
- a necessidade da definição de parâmetros básicos para a operação sustentável de PCHs, de forma a não comprometer o meio ambiente e os usos múltiplos dos recursos hídricos;

Resolve:

Artigo 1º - Ficam estabelecidos os critérios operacionais para o licenciamento ambiental de Pequenas Centrais Hidroelétricas – PCHs - com trecho curto-circuitado.

Artigo 2º - Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

I – *Pequena Central Hidrelétrica - PCH*: centrais geradoras de energia elétrica conforme os critérios estabelecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL,

II - *Trecho curto-circuitado*: comprimento da linha central do rio compreendido entre o pé de jusante da barragem e a confluência do canal de fuga da usina.

III – $Q_{7,10}$ – a vazão mínima média de 7 dias consecutivos e 10 anos de período de retorno.

Artigo 3º - No licenciamento de novos projetos de PCH ou na repotenciação de empreendimentos existentes deverá ser garantida, no trecho curto circuitado, uma vazão mínima de 20% da vazão afluyente nunca inferior ao $0,8 Q_{7,10}$. (oitenta por cento da $Q_{7,10}$) a qual deverá ser adicionada as demais demandas de água verificadas e previstas para o trecho.

§ 1º - Vazões críticas situadas na faixa entre 0,5 e 0,8 $Q_{7,10}$ poderão ser permitidas, a critério da Secretaria do Meio Ambiente, nos seguintes casos:

- a) PCH com barramento posicionado a montante de um obstáculo natural à migração de peixes.
- b) Trecho curto circuitado, com extensão inferior a 250 m;
- c) Quando for demonstrado, por meio de simulações usando dados históricos de vazões diárias para 3 anos secos, que o período de estiagem imposto no trecho circuitado pela vazão crítica pleiteada não será superior em 30 dias àquele estimado quando operando com a vazão crítica de 0,8 $Q_{7,10}$.

§ 2º - Em bacias com biota aquática endêmica, o órgão licenciador poderá ser mais restritivo com relação às vazões mínimas no trecho curto circuitado.

Artigo 4º - Os projetos de PCH deverão minimizar as variações abruptas de vazões no trecho do rio a jusante da casa de força, devendo ser garantido que as variações de vazões horárias não sejam superiores a 25% da vazão média afluente à PCH das 3 horas anteriores.

§ 1º - As PCHs com barramentos apenas regularizadores de nível, deverão manter, permanentemente, descargas pelo vertedor de superfície alimentando o TCC. Estruturas de descarga de fundo só poderão ser operadas em situações extraordinárias.

§ 2º - As PCHs com reservatórios de regularização de vazões, para atender à vazão mínima no TCC, deverão observar o seguinte:

I – Poderão utilizar como valor de vazão afluente a média observada e registrada em um período próximo anterior, definido pelo empreendedor em conformidade com as características do projeto, com o regime do curso d'água e as dimensões da bacia hidrográfica;

II – Nos eventos de cheias, deverão ser escoados para jusante do barramento, pelo TCC, 20% dos volumes afluentes ao reservatório da PCH, pelo menos;

§ 3º - O empreendedor deverá apresentar, para o licenciamento, as regras operacionais e os sistemas de registro e controle, para que o TCC receba as vazões mínimas exigidas, conforme especificado no caput e nos § 1º e 2º deste artigo.

Artigo 5º - Os seguintes fatores eximem o operador do cumprimento das regras aqui estabelecidas:

- a) Operações necessárias para controle de cheias na bacia;
- b) Risco às populações de montante e/ou jusante;
- c) Risco às estruturas hidráulicas da cascata;

d) Abastecimento público de água.

§ único - A retomada da operação normal, após a interrupção do(s) fator(es) citados deverá ser feita tão logo as condições técnicas o permitam.

Artigo 6º - Para a verificação das normas aqui estabelecidas deverão ser instalados instrumentos para controle e aferição das vazões.

Artigo 7º - Ficará ao encargo do empreendedor o monitoramento ambiental, de acordo com as normas aqui estabelecidas, na área de impacto do empreendimento.

§ 1º - O plano de monitoramento deverá ser aprovado pelo órgão ambiental, podendo contemplar indicadores físicos, químicos e biológicos.

§ 2º - As análises laboratoriais do monitoramento deverão ser conduzidas em instituições que possuam credenciamento pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMETRO) ou processos de controle de qualidade analítico aceitos pelo órgão ambiental licenciador para as análises em questão.

Artigo 8º - Esta resolução deverá ser revista no prazo máximo de 18 meses a contar da data de sua publicação.