

MODELO DE AVALIAÇÃO DA ECONOMIA HÍDRICA DE RESERVATÓRIOS HIDRELÉTRICOS EM OPERAÇÃO

*Afonso Henriques Moreira Santos¹; Arthur Benedicto Ottoni²; Fernando das Graças Braga da
Silva³; Aloisio Caetano Ferreira⁴; Cláudio Nogueira Neto⁵ & Denis de Souza Silva⁶*

RESUMO --- A ocupação antrópica da bacia hidrográfica visando o desenvolvimento econômico gerou alterações de suas características físicas e hidrológicas, apresentando como consequência direta alterações quantitativas e de distribuição espaço-temporal de suas disponibilidades hídricas, influenciando atualmente a operação dos Aproveitamentos Hidrelétricos, que passaram a operar em condições hidrológicas diferentes das previstas em projeto. Estes problemas de operação resultam numa perda considerável de energia elétrica gerada no sistema. Sob tais premissas, a presente pesquisa analisa as influências energéticas e econômicas da deterioração do regime hídrico das bacias hidráulicas definidas pelos Aproveitamentos Hidrelétricos em operação estudados. Analisando o balanço hidro-energético dos reservatórios das usinas hidrelétricas em operação, localizados nas regiões Sul, Sudeste, e Nordeste, verifica-se a importância dos estudos de economia hídrica de bacias degradadas, como subsídio da tomada de decisão para recuperação energética e financeira de seus reservatórios.

ABSTRACT ---The human occupation of the watershed aiming the economic development generated alterations of its physical and hydrologic characteristics with pass the years, presenting as direct consequence quantitative alterations and spatiotemporal distribution alterations of its watery availabilities, influencing actually in the operation of the Hydroelectric Exploitations, that had started to operate in different hydrologic conditions of predicted in the project. These problems of operation results in a considerable waste of generated electric energy in the system. Under such premises the present research analyzes the energy and economic influences of deterioration of the hydric regimen of the hydraulic basins defined by the Hydroelectric Exploitations in the operation studied. Analyzing the hydro-energy rocking of the reservoirs of the hydroelectric plants in operation, located in regions South, Southeast, and Northeast, the importance of the studies of hydric economy of degraded basins is verified, as subsidy of the taking of decision for energy and financial recovery of its reservoirs.

Palavras-chave: geração hidrelétrica, comprometimento do volume útil de reservatórios, perdas energético-financeiras de reservatórios hidrelétricos em operação.

1) Professor da Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, e-mail: afonso@unifei.edu.br

2) Professor da Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Coordenador do Grupo de Gestão e Pesquisa em Recursos Hídricos – GPRH, e-mail: arthurotoni@unifei.edu.br, tel: (35) 3629 – 1483.

3) Professor da Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Coordenador do Núcleo Modelag. Meio Ambiente e Recursos e Sistemas Hídricos – NUMMARH, e-mail: fernandobraga@unifei.edu.br e chefe do laboratório de hídrica computacional da UNIFEI . tel: (35) 3629- 1485.

4) Pesquisador GPRH, mestrando em Engenharia da Energia pela Universidade Federal de Itajubá, e-mail: aloisio80@gmail.com

5) Pesquisador GPRH, mestrando em Engenharia da Energia pela Universidade Federal de Itajubá, e-mail: claudionogue@yahoo.com.br

6) Pesquisador GPRH, mestrando em Engenharia da Energia pela Universidade Federal de Itajubá, e-mail: denisdesouza@gmail.com

1 - INTRODUÇÃO

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

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

Neste cenário hidrológico e sedimentológico das bacias, o regime hídrico dos cursos d'água que drenam as bacias era estável, as perdas de água mínima, e o rendimento em água maximizado. Para os projetos hidráulicos dos reservatórios e barramentos daquele período (principalmente 1960 a 1990), selecionavam-se os períodos de anos secos (TAS) da série hidrológica disponível das bacias com essas condições hidrológicas. Os barramentos e reservatórios das usinas hidrelétricas de regularização das centrais hidrelétricas foram implantados segundo essas condições de disponibilidades hídricas das bacias.

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

Acrescido a este fator (antropismo nas bacias), as mudanças climáticas mundiais também se intensificaram, principalmente a partir da metade do século passado com o advento da Revolução Industrial, que catalisou os processos de lançamento de derivados do carbono a partir dos combustíveis fósseis (CO_2 , CO , etc.), como consequência dos aumentos das emissões atmosféricas

oriundas dos processos antrópicos globais (indústrias, queimadas, veículos automotores). Estas emissões ficavam confinadas às altitudes da Troposfera, o que facilitava o maior aquecimento do ar atmosférico neste nível. Este fenômeno, do “Efeito Estufa” ou “Aquecimento Global”, trás como conseqüências imediatas o aumento da temperatura média da atmosfera, o derretimento de geleiras, o aumento do nível dos oceanos, o aumento das ocorrências dos efeitos climáticos extremos (cheias e estiagens), as mudanças dos regimes pluviométricos, e o aumento da ocorrência dos ciclones. Todas essas alterações estão relacionadas aos recursos hídricos, conforme amplamente divulgado na mídia.

Muitas hipóteses têm sido levantadas sobre ciclos mais extensos que configurariam a tendência sistemática de recorrência de grandes enchentes ou estiagens, isto é, de anos ou trens de anos excepcionalmente úmidos ou secos. A verificação dessas hipóteses é difícil e, apesar das inúmeras pesquisas que têm sido feitas, não há um consenso sobre sua veracidade.

Na verdade, o que a Hidrologia à época (década de 70) considerava, estava relacionado ao fenômeno do El Nino e La Nina, que já vinha ocorrendo há bastante tempo. Em finais nos anos 80 é que as pesquisas identificaram o fenômeno e hoje já se tem uma estatística de ocorrência para o El Nino e La Nina, que, quando se manifestam, apresentam ciclos médios de 2 a 7 anos, que corresponde aos períodos de anos secos e úmidos adotados nos estudos hidrológicos. Pesquisas atuais apontam que o aquecimento global (Efeito Estufa) tende a intensificar, em freqüência e intensidade, o fenômeno. E, mais, uma vez estas alterações climáticas das bacias influenciam nos recursos hídricos. Estes fenômenos climatológicos globais tendem a afetar o clima local.

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

As centrais hidrelétricas com reservatórios de uso múltiplo implantadas em bacias degradadas para $t = n$, tal como acima referido, são influenciadas pelas condições de deterioração hidrológica

dos rios que drenam tais bacias. O setor elétrico procura gerenciar esta problemática estimulando a gestão do SIN pelo ONS. Neste sentido a operação destas usinas é realizada segundo restrições hidráulicas operativas coordenadas pelo ONS: Volume de Espera, Curva de Aversão ao Risco, Cotas Fluviométricas Controladas a Montante e a Jusante dos Reservatórios, etc.

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

2-REGULARIZAÇÃO DO REGIME DE CALHA FLUVIAL DA BACIA HIDROGRÁFICA

Para a realização da maioria dos processos humanos, a humanidade utiliza a captação dos recursos hídricos contidos em uma determinada Bacia Hidrográfica. A necessidade humana relativa ao recurso hídrico obedece às leis próprias de consumo, variando pouco quando comparando culturas e sociedades diferentes, mas praticamente constante no decorrer do ano.

As disponibilidades hídricas por sua vez também obedecem as suas próprias leis. Independente das demandas existentes, a variação das disponibilidades hídricas nos corpos hídricos pode ser facilmente entendida quando se analisa as características pluviais de uma dada bacia hidrográfica (clima). Os eventos de chuva de uma bacia hidrográfica podem ser divididos em dois períodos, sendo eles o período chuvoso (TC) caracterizado por maiores índices pluviais e o período de estiagem (TE) caracterizado por índices bem menores de eventos pluviais. Os corpos hídricos reagem a estes eventos pluviais tendo as suas disponibilidades de calha fluvial variando da mesma forma que os deflúvios pluviais.

Os reservatórios de estiagem têm por finalidade acumular parte das águas escoadas na calha fluvial nos períodos chuvosos (TC) para compensar as deficiências nos períodos de estiagem (TE), exercendo um efeito regularizador das vazões naturais. Em geral, os reservatórios são formados por meio de barragens instaladas nos rios. Segundo Souza et al. (1999), um reservatório pode ser descrito em função de seus níveis e volumes operacionais característicos, sendo o volume útil considerado o mais importante para os objetivos dos usos múltiplos.

2.1 Volume Útil

Este é o volume destinado à operação do reservatório, ou seja, ao atendimento das diversas demandas de água (usos múltiplos). Deve se considerar, portanto, as perdas por evaporação, por infiltração do solo, e as das comportas quando estas forem consideráveis. Existem muitos métodos de dimensionamento para a determinação do volume útil de um reservatório de estiagem, dos quais se pode citar: o método do Diagrama de Rippl, considerado a metodologia mais clássica de dimensionamento, sendo o mesmo muito utilizado; o método das Diferenças Totalizadas, entendido como uma variação do método do diagrama de Rippl; o método de Conti – Varlet, mais utilizado quando existe alguma restrição de área ou volume para o dimensionamento do Aproveitamento ou ainda para o cálculo da vazão regularizada ótima. Existem ainda métodos baseados em simulações e modelos de otimizações do volume útil, porém neste trabalho convencionou-se a apresentação e utilização apenas das três primeiras metodologias citadas devido as suas características e complexidades, conforme abaixo.

2.1.1 Método do Diagrama de Rippl

O método de Rippl, ou “Diagrama de Rippl” utiliza a curva dos deflúvios acumulados do rio na seção do barramento ($\Sigma D.F.$) para o período crítico de seca da série hidrológica disponível) e a compara com a curva dos deflúvios acumulados de consumo ($\Sigma D.C.$), que mais comumente é uma reta, quando a vazão média de captação (consumo) é constante (a favor da segurança).

A “curva de deflúvios acumulados”, também chamada “curva de massas”, é construída a partir dos dados históricos de vazões. São calculados os deflúvios do rio (D.F) e de consumo (D.C.), em intervalos mensais, e somados cumulativamente, plotando-se os valores correspondentes às estes deflúvios acumulados X tempos em um par de eixos ortogonais. De posse da curva de deflúvios acumulados – CDA é realizado um balanço, em cada instante, entre as vazões de consumo (Q_c) e as vazões naturais do rio (Q); aquelas representadas no diagrama de Rippl pelo coeficiente angular ($\text{tg } \beta$) de uma curva, a chamada “curva de consumo” (que representa a vazão que será consumida pelo reservatório), e estas pelas tangentes ($\text{tg } \alpha$), aos pontos da CDA, com valores diferentes em cada instante do eixo das abscissas.

Na figura 1 está ilustrada a aplicação do diagrama de Rippl a um rio, cuja CDA é conhecida, para duas alternativas diferentes de regularização, correspondentes às vazões de consumo Q_1 e Q_2 , sendo $Q_2 > Q_1$.

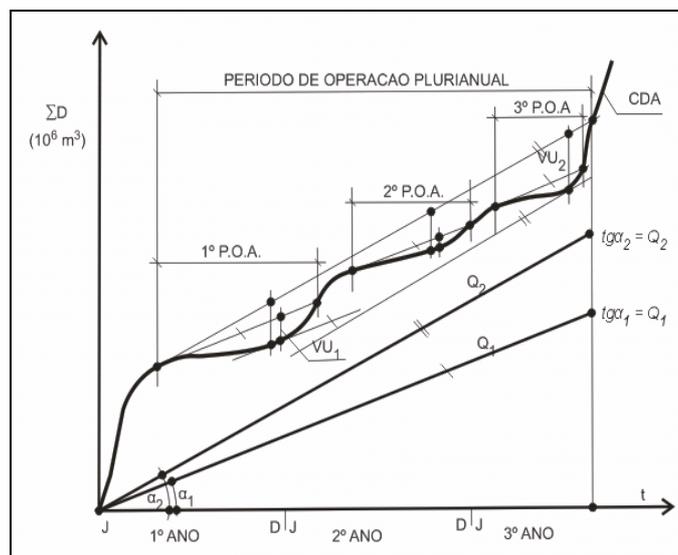


Figura 1 – Reservatório de Operação Anual e Plurianual (Fonte: Adaptado de Apostila de Hidrotécnica Continental - Souza 1974)

Após determinar o volume útil, tem-se que executar a correção de evaporação e outras perdas. Devido ao fato das perdas por evaporação serem mais facilmente calculadas, usualmente adota-se critérios mais conservadores para o seu cálculo, de modo ao valor calculado compreender as outras perdas que ocorrem durante a operação do reservatório. Adota-se para seu cálculo a área do espelho d'água normal, área esta que só ocorre com o reservatório cheio. Multiplicando-se esta área definida pela altura de evaporação característica da região onde o aproveitamento estará inserido e somando –as na extensão do tempo representado na CDA tem-se a curva dos deflúvios de evaporação semelhante à curva de consumo. Como a evaporação é uma perda de recurso hídrico, soma-se à curva de consumo os deflúvios de evaporação, obtendo-se assim uma nova curva de consumo mais crítica. Calcula-se o volume útil utilizando agora a nova curva de consumo para tal.

Segundo Souza (1974), como a correção da evaporação é um cálculo executado pelo processo interação, o processo descrito anteriormente deve ser repetido até que a diferença entre os valores da área do espelho d'água normal, para as condições anterior e posterior de cálculo da correção de evaporação, seja inferior a 5%.

2.1.2 Método das Diferenças Totalizadas

O Método das Diferenças Totalizadas consiste em uma modificação simples do Método do Diagrama de Rippl para dimensionamento de reservatórios de estiagem (regularização de vazões).

O objetivo da transformação é facilitar a visualização e o manuseio gráfico dos dados, acabando com a inclinação do gráfico, que passa a ser horizontal. Segundo Souza (1974), a modificação consiste em subtrair, ponto a ponto da CDA, os valores relativos dos deflúvios provenientes da vazão média – Q_m . A construção da curva das diferenças totalizadas – CDT está ilustrada na figura 2.

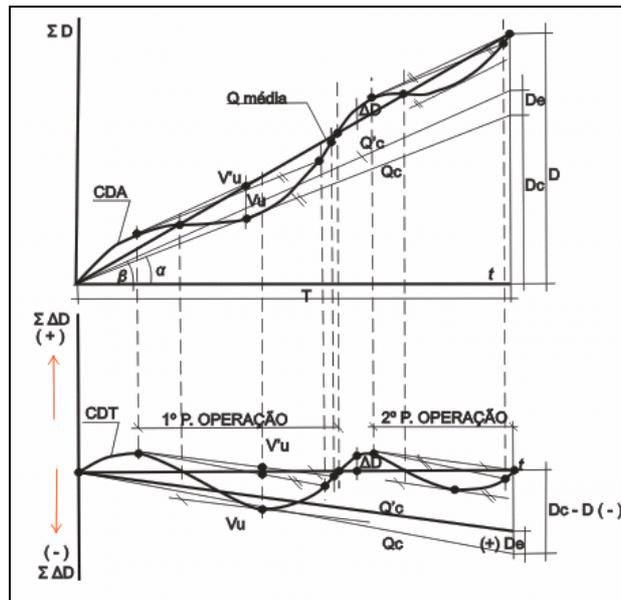


Figura 2 – Determinação do volume útil para regularização de uma dada vazão – correção da evaporação (Fonte: Adaptado de Apostila de Hidrotécnica Continental - Souza 1974).

As tangentes à CDT, paralelas à reta de consumo Q_c , definem períodos de operação e volumes úteis, dos quais será escolhido o maior, igual ao método de Rippl clássico. A partir do V_u escolhido, determina-se o deflúvio de evaporação (D_e) no tempo. O valor (D_e) é somado algebricamente, com sinal positivo (+), ao deflúvio de consumo. A vazão de consumo fictícia Q_c estabelecerá novas tangentes e novos volumes úteis, que poderão ser os definitivos se for atendida a condição, já conhecida, de ser a diferença das áreas de evaporação menor do que 5% de área de espelho d'água normal, condição anteriormente apresentada para a metodologia do diagrama de Rippl clássico.

2.1.3 Método de Conti – Varlet

Devido as restrições de uso de recurso financeiro, ou mesmo restrições ambientais, muitas vezes não é possível construir um reservatório com o volume útil projetado por um dos dois métodos anteriores. Nessa condição, surgiu a metodologia de Conti-Varlet. A metodologia de Conti-Varlet visa determinar para um dado volume útil inicial (volume de restrição), as vazões regularizadas ideais, onde estas variam com o tempo, ao contrário dos métodos anteriores, onde a vazão de consumo era constante no tempo. Para cada instante em função desta vazão regularizada ideal, é dado um volume útil de regularização – V_{ureg} .

Utilizando a curva de deflúvios de diferenças totalizadas – CDT, apresentada anteriormente e obtida seguindo a mesma metodologia apresentada no item anterior, rebate-se a esta curva o volume útil inicial (volume de restrição). Observa-se que não é mais possível traçar uma reta horizontal entre as duas curvas, mas sim um conjunto de retas quebradas, como se fosse um fio distendido. Por esse motivo, o diagrama resultante de Conti-Varlet também é denominado de Fio Distendido.

De forma análoga aos métodos apresentados anteriormente, os trechos com inclinação inferiores representam trechos em que a vazão do rio é inferior à vazão média ou de consumo, e os trechos com inclinação superior representam trechos em que a vazão é superior à vazão média ou de consumo. A figura 3 ilustra a metodologia.

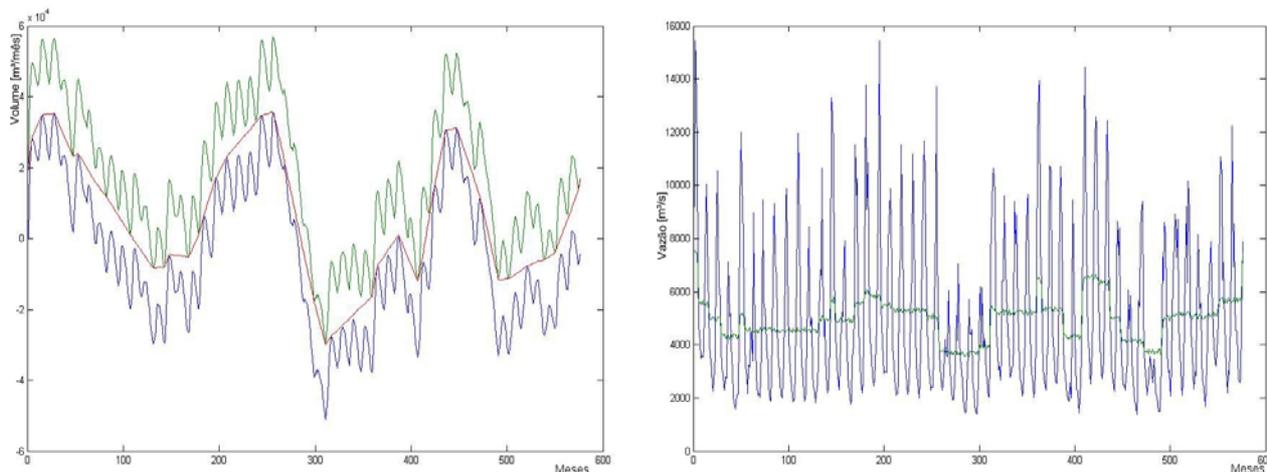


Figura 3 – Diagrama de Conti-Varlet e Diagrama das Vazões Regularizadas para a UHE Ilha Solteira

3 – MATERIAIS E MÉTODOS

A degradação qualitativa e quantitativa das bacias hidrográficas reflete-se de várias formas no meio ambiente (aumento das enchentes/estiagens, diminuição da quantidade e diversidade de seres aquáticos, poluição diversas, etc.). Porém, a quantificação monetária desta influência é de difícil determinação, dada as características multi-objetivas da bacia. Quando, na bacia hidrográfica degradada, está instalado algum Aproveitamento de acumulação hídrica (reservatório de regularização), a quantificação monetária da influência da degradação ambiental é mais fácil de ser identificada, uma vez que está estritamente ligado ao uso do recurso hídrico acumulado no reservatório do Aproveitamento.

A eficiência de um reservatório de acumulação hídrica pode ser entendida como sendo a capacidade de armazenar recursos hídricos no período chuvoso para serem utilizados no período de estiagem, de forma a atender a demanda de água no tempo. Para realizar esta função, o reservatório de acumulação (uso múltiplo) hídrica dispõe do volume útil. Este é um dos componentes do reservatório de acumulação que sofre maior influência da degradação ambiental na bacia hidrográfica. Esta influência se manifesta através da modificação na sua capacidade de acumular água no período chuvoso para ser utilizada no período de estiagem, ocasionando o comprometimento hidrológico deste reservatório de acumulação hídrica.

O comprometimento hidrológico dos reservatórios de acumulação hídrica plurianuais de uso múltiplo pode ser quantificado analisando-se as diferenças numéricas obtidas ao se projetar o

volume útil utilizando dados de séries históricas de vazões médias mensais relativas ao período antes da construção do empreendimento (período de projeto), e ao se projetar um volume útil para o mesmo local, porém com dados de séries históricas de vazões mensais relativos ao período após a construção do empreendimento (período de operação). Teoricamente, ao se projetar o volume útil do empreendimento de acumulação hídrica, utiliza-se a série histórica de vazões anteriores à construção. E esta análise reflete as condições hidrológicas-ambientais da bacia na época do projeto, na medida que são dados históricos da bacia antes da obra. A análise do volume útil, para o mesmo empreendimento da bacia, utilizando-se séries históricas de vazões posteriores à construção, está considerando as condições hidrológicas-ambientais da bacia após a implantação do Aproveitamento (operação).

Para a realização da análise do comprometimento hidrológico do volume útil dos reservatórios plurianuais em operação, foram utilizados dados de séries históricas de vazões, e sua obtenção deu-se junto às Concessionárias de energia. Para garantir uma maior qualidade de análise, foram utilizadas três metodologias diferentes para os cálculos dos volumes úteis dos reservatórios de acumulação hídrica. Também optou-se por realizar a análise comparativa dos resultados obtidos do volume útil utilizando dados anteriores à construção dos empreendimentos e séries de dados hidrológicos obtidos depois da construção (período de operação) dos empreendimentos. O cálculo e obtenção de informações necessárias para a aplicação destas metodologias será abordada nos subitens a seguir, de forma a propiciar um melhor entendimento dos resultados obtidos.

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

O cálculo do volume útil dos reservatórios em análise (dez Aproveitamentos) pelo diagrama de Rippl obedeceu a metodologia apresentada no item 2.1, sendo que as metodologias de Rippl clássico e o Método das Diferenças Totalizadas (Rippl Modificado) utilizam os mesmos dados de entrada, isto é, dependem assim das mesmas variáveis para o cálculo. O resultado final dos dois métodos é o mesmo, pois, apesar de apresentarem pequenas diferenças de metodologia, o princípio de análise utilizado é o mesmo.

Primeiramente, a fim de se obter uma análise hidrológica, optou-se por calcular o volume útil necessário para regularização da vazão média (máxima regularização), utilizando para isso toda a série histórica de dados de vazão, havendo somente a separação do período de projeto e período de operação. Neste caso, traçou-se a curva de deflúvios acumulados para todos os anos do período de análise, traçando-se a seguir a curva de consumo, que neste caso é a vazão média acumulada como deflúvio para todos os anos da série. Calculou-se o volume útil para os dois períodos distintos de todos os dez reservatórios em análise. Por se tratar de uma análise hidrológica, não houve neste caso

variação da vazão de consumo para os períodos, e não houve correção e nem variação de evaporação para o cálculo do volume útil dos reservatórios analisados.

De acordo com a lógica apresentada no item 2.3, inicialmente determinou-se a seqüência de “Trem de Anos Secos”. Porém, ao se analisar a série histórica de vazões para o período de operação, constatou-se que esta série possuía duas seqüências de “Trem de Anos Secos” bem críticas, sendo uma ocorrida na década de 1980 e a segunda a partir do ano 2000. Devido a este fato determinou-se que as análises e cálculos se estenderiam para as duas seqüências.

Para a determinação dos valores de consumo, inicialmente realizou-se um estudo para determinar a população existente na área de influencia dos reservatórios analisados, e, baseando-se em dados disponíveis no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (www.ibge.gov.br/), calculou-se a variação da população tanto urbana quanto rural na área de influencia dos reservatórios em análise.

Calculou-se o consumo por setor (energia, de irrigação, industrial, consumo humano, dessedentação de animais) em cada reservatório, utilizando para isso dados de consumo por habitante dia de água, dados de consumo por setor por região hidrográfica e dados hidroenergéticos. Observou-se que a demanda per capita atual é superior que a da época de projeto dos Aproveitamentos. Assim sendo, adotando-se a premissa de que, segundo Porto (1996), o consumo per capita de água dobrou nos últimos 40 anos e deve dobrar de novo nos próximos 20 anos, convencionou-se utilizar para o período de projeto o valor per capita de demanda hídrica dividida por dois. Com estas considerações feitas, calculou-se a parcela do consumo relativo ao consumo humano. Pode-se considerar também que as indústrias apresentavam anteriormente um menor peso no consumo total regional de recurso hídrico, devido ao seu menor número. Neste caso, baseando-se em dados dos censos industriais realizados pelo IBGE, calculou-se o número de indústrias existentes no ano adotado como sendo de projeto, e assim também calculou-se a relação da época de projeto/atual. Para a confecção da curva de consumo, não basta apenas as demandas calculadas e apresentadas anteriormente. O maior e mais considerável consumo de um reservatório de acumulação hídrica pode ser entendido como sendo o valor da vazão que o reservatório em questão regulariza.

Traçadas as curva de consumo e dos deflúvios fluviais acumulados para os períodos hidrológicos críticos (períodos de anos secos), tem-se o volume útil. No entanto, este volume útil calculado não pode ser considerado como o volume útil final. Antes tem-se que realizar a correção da evaporação do Aproveitamento. Para a correção da evaporação necessita-se da taxa de evaporação, do local onde está inserido o Aproveitamento. Desta forma, análogo ao que aconteceu no caso das demandas hídricas, a taxa de evaporação também se modificou pela influência da

degradação da bacia hidrográfica, aquecimento global, e pela construção/operação do próprio reservatório de acumulação hídrica.

Com os dados de evaporação, realizou-se a correção de evaporação e assim obtiveram-se os valores finais para os volumes úteis dos reservatórios analisados. Os resultados obtidos serão apresentados de forma completa e comentados no item quatro deste trabalho.

3.2 - Cálculo do Volume Útil dos Reservatórios em Análise pelo Método de Conti-Varlet

Para a realização do cálculo do volume útil dos reservatórios em análise pelo método de Conti-Varlet, foi utilizado programa desenvolvido na plataforma do MATLAB. O mesmo tem o nome de “CONTI”, fazendo referência ao método de cálculo que ele utiliza. Foi desenvolvido primeiramente pelo Professor Afonso Henriques Moreira Santos na plataforma Fortran, sendo posteriormente aprimorado na plataforma do MATLAB.

A metodologia utilizada pelo programa se baseia no método de Conti-Varlet. Este método visa a obtenção de uma vazão defluente regularizada, 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 (vazão regularizada otimizada) que pode ser entendida pelas equações:

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

Sujeito a:

$$Vr_t = Vm + \sum_{i=1}^T (Q_{ai} - Q_{di}) \quad (2)$$

$$V_{\min} \leq Vr_t \leq V_{\max}, \forall t \quad (3)$$

Onde: Q_m = Vazão média (m^3/s); Q_{di} = Vazão defluente no instante i (m^3/s); Q_{ai} = Vazão afluyente no instante i (m^3/s); Vr_t = Volume regularizado (m^3); V_m = Volume morto (m^3); V_{\min} = Volume mínimo (m^3); V_{\max} = Volume máximo (m^3)

E a vazão regularizada pode ser expressa pela equação 4, onde $Vr_{0(t)}$ é o volume acumulado dado pela curva otimizada, conforme metodologia descrita no item 2.1.3 deste trabalho.

$$Q_{r(t)} = \frac{dVr_{0(t)}}{dt} + Q_m \quad (4)$$

Os dados de entrada do programa “CONTI” são a série histórica de vazões, que no caso da análise será a dos períodos definidos como comparação (Períodos de anos secos de projeto e de operação), sendo, analogamente à análise realizada no item anterior, um TAS representando o período de projeto e dois TAS para o período de operação, e um volume útil inicial que nesta análise foi adotado o volume útil real do aproveitamento. Os dados de saída do programa são: o valor do volume útil necessário para a regularização de uma determinada vazão a cada instante e a

respectiva vazão regularizada otimizada para cada instante, além de um gráfico do cálculo do volume útil necessário para a respectiva regularização e outro gráfico das vazões naturais juntos com as vazões regularizadas calculadas.

3.3 - Determinação dos Valores Monetários Relativos a Influência da Degradação Ambiental nos Reservatórios em Análise.

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

Para o cálculo dos valores monetários relativos a influência da degradação ambiental nos dez reservatórios, foram utilizados os seguintes dados: o volume útil real (atual) de projeto para cada reservatório, a curva cota X área X volume dos reservatórios, a cota real (atual) do volume útil dos reservatórios, a queda líquida real (atual) dos empreendimentos, e a potência instalada. Estes dados foram obtidos através dos sites de internet das Concessionárias ou através de documentos enviados por elas.

Determinou-se os volumes úteis de projeto (condições hidrológicas pretéritas) e de operação (condições hidrológicas atuais) e a perda hidrológica (em %) entre estes dois períodos para os Aproveitamentos analisados. Comparou-se esta perda de volume útil (em %) com o volume útil real dos aproveitamentos para as metodologias de Rippl e de Conti-Varlet. Também de posse dos valores de volume útil calculados para o período de operação, utilizou-se a curva “cota X área X volume” para se determinar as cotas do NA normal relativas aos volumes úteis novos. Com o valor das cotas, calculou-se a queda líquida real para o período de operação. Apenas para os empreendimentos de Caconde, Furnas e Santa Branca não foi possível determinar a queda líquida real, na medida que a informação referente à cota do eixo da turbina destes Aproveitamentos não foram disponibilizadas. Utilizou-se assim para estes Aproveitamentos valores contidos no SIPOT (1997) – Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro.

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

$$P_{el} = g * \rho * 10^{-3} * \eta_t * \eta_g * Q * H \quad (5)$$

Onde: P_{el} – Potência Elétrica Gerada; g – Aceleração da Gravidade; ρ – Massa Específica da Água; η_t – Rendimento Total; η_g – Rendimento GE; Q – Vazão de Projeto; H – Queda Líquida Disponível.

Porém, como na análise a parcela que está sofrendo variação é somente a queda líquida, já que a vazão turbinada manteve-se para todas as metodologias, a equação anterior pode ser reescrita como:

$$P_{el} = H * K \quad (6)$$

Onde: P_{el} – Potência Elétrica Gerada; H – Queda Líquida Disponível;

$$K = g * \rho * 10^{-3} * \eta_t * \eta_g * Q \quad (7)$$

Contudo é sabido que o valor de potência calculada não corresponde à energia efetivamente gerada no decorrer de um ano, devido a variações de vazões turbinadas, de quedas (deplecionamento do reservatório), de despachos do sistema interligado – SIN, dentre outros fatores. Utilizou-se então o fator de capacidade, que, de acordo com Souza et al. (1999), é a relação entre a potência média gerada e a potência instalada da Central Hidrelétrica, podendo ser expresso pela equação:

$$f_{cp} = \frac{\bar{P}_{el}}{P_{eln}} \quad (8)$$

Onde: f_{cp} – Fator de Capacidade; \bar{P}_{el} - Potência Média Gerada; P_{eln} – Potência Instalada da Central Hidrelétrica.

O valor do fator de capacidade adotado para os cálculos foi de 56% que corresponde ao fator de capacidade médio típico para usinas hidrelétricas do Sistema Integrado Nacional – SIN segundo a ELETROBRÁS (2006).

Após realizar a correção do fator de capacidade, obteve-se os valores da potência média gerada para condições hidrológicas atuais dos Aproveitamentos. Com estes valores de potência média gerada, foram realizados os cálculos dos valores monetários relativos às perdas hidrológicas devido à degradação ambiental das bacias. Para este cálculo teve-se que adotar um valor para a energia gerada, que foi de R\$ 120,89 por MW/h, correspondente ao valor utilizado no 3º leilão de energia realizado em 10 de outubro de 2006.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

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

Seguindo a metodologia apresentada no item três deste trabalho, determinou-se para os dez Aproveitamentos em operação pertencentes ao SIN os valores calculados dos seus volumes úteis dos períodos de projeto (dados do passado) e atual de operação (dados hidrológicos atuais), assim como as perdas energética-financeira, conforme tabelas de 1 a 4.

Tabela 1 – Valores calculados para o volume útil dos reservatórios em operação utilizando Rippl com regularização total

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

Tabela 2– Valores calculados para o volume útil dos reservatórios em operação utilizando Rippl com TAS e Vazão de consumo

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

Tabela 3 – Valores calculados para o volume útil dos reservatórios em operação utilizando Conti-Varlet

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

Tabela 4 – Valores monetários referentes à influencia do comprometimento hidrológico do volume útil dos aproveitamentos analisados

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

4.2 – Análises dos Resultados Obtidos

A primeira análise do comprometimento hidrológico do volume útil dos Aproveitamentos consistia em calcular utilizando o método de Rippl para a máxima regularização (vazão média) e as séries históricas de vazões completas apenas divididas entre dois períodos definidos o de projeto (antes da construção) e o de operação (depois da construção). Como pode-se observar na Tabela 1, os resultados calculados são muito elevados, porém esta análise não tinha o intuito de adquirir valores compatíveis com o projeto original, o objetivo foi o de realizar uma análise do ponto de vista “ambiental”. Os resultados desta primeira análise demonstram que os valores calculados para os volumes úteis de operação (séries hidrológicas atuais) teriam que ser muito maiores que os calculados para o período de projeto (séries hidrológicas anteriores). Isto significa que as flutuações entre cheias e estiagens estão maiores para as condições atuais (período de operação). No caso do aproveitamento de Funil no rio Paraíba do Sul o valor negativo encontrado pode ser explicado pelo fato do rio já ter desde a década de cinquenta um controle de vazões, e quando é analisada a série histórica completa com mais de trinta anos de dados a influência deste controle de vazões é maximizada chegando a obter os resultados apresentados na Tabela 1.

A segunda análise do comprometimento hidrológico do volume útil dos aproveitamentos em operação foi realizada utilizando critérios de projeto, baseando-se em uma curva de consumo calculada. Realizou-se a correção da evaporação do reservatório, e as vazões foram obtidas a partir de “trens de anos secos – TAS”, uma seqüência de TAS para o período de projeto (antes da construção) e duas seqüências de TAS para o período de operação (dados hidrológicos atuais). Analisando os resultados apresentados na Tabela 2, pode-se constatar que foi comprovado o comprometimento hidrológico do volume útil para todos os Aproveitamentos Hidrelétricos.

A terceira análise baseou-se na metodologia apresentada no item 3.2. Para a realização desta análise utilizou-se os mesmos TAS utilizados na análise anterior. Porém, como volume útil de entrada inicial exigido pelo programa “CONTI”, utilizado na análise, foi o volume útil real do Aproveitamento, os valores calculados por este método se apresentaram muito próximos dos valores dos volumes úteis reais dos Aproveitamentos. Esta metodologia, ao contrário da metodologia utilizada na análise anterior (Rippl), não considera aumento do consumo de recurso hídrico nem variações de evaporação com o tempo, o que explica também o porquê das diferenças obtidas pela metodologia utilizada na análise anterior serem mais críticas do que as obtidas nesta análise em questão. Em função das características e conceitos utilizados na metodologia, pode-se constatar que os resultados obtidos e apresentados na tabela 3 representam apenas uma parcela do comprometimento hidrológico do volume útil dos reservatórios em operação, pois a análise é restrita às variações e diferenças verificadas nos dados de vazões. Observando os resultados obtidos

desta análise, conforme tabela 3, pode-se constatar que foi verificado, para todos os aproveitamentos analisados, o comprometimento hidrológico do volume útil. Este resultado confirma os resultados obtidos nas análises anteriores e reafirma a questão do comprometimento hidrológico do volume útil dos reservatórios analisados.

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

5 – CONCLUSÕES

A primeira análise do volume útil realizada utilizando o método do diagrama de Rippl, conforme citado anteriormente, teve o intuito apenas de comprovar o aumento das flutuações hidrológicas na comparação entre dois períodos históricos distintos, sendo os valores encontrados impraticáveis em projetos convencionais.

No cálculo do volume útil utilizando o método do digrama de Rippl para uma determinada vazão de consumo, foi verificado uma diminuição nos períodos de operação plurianuais (anos, hidrológicos ou civis) dos reservatórios calculados quando comparados aos períodos de projeto (antes da construção) e operação (depois da construção), ou seja, os reservatórios estão enchendo e esvaziando mais rapidamente.

A análise do comprometimento hidrológico do volume útil dos dez reservatórios em operação (situados em diferentes regiões do Brasil) comprovou a existência deste comprometimento para as duas metodologias de análise (Rippl e Conti-Valet), respeitando as diferenças metodológicas inerentes a cada uma. Ao se comparar os resultados obtidos utilizando o método do diagrama de Rippl para uma determinada vazão de consumo e a metodologia de Conti-Varlet, pode-se concluir que os valores obtidos pelo diagrama de Rippl são mais críticos, pois este método leva em consideração fatores adicionais relevantes como, variações de consumo na região de influência do reservatório e correções de evaporação. A metodologia de Conti-Varlet utilizada neste trabalho apenas utilizou para as suas análises as séries históricas de vazão e um volume útil inicial, no caso o volume útil real.

A análise dos valores monetários relativos a influência da degradação hidrológica-ambiental dos reservatórios pode ser considerado para alguns Aproveitamentos irrelevantes. Porém, não se pode esquecer que este trabalho não utilizou em suas interpretações a consideração do possível

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

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

Quaisquer investimentos na recuperação das reservas hídricas degradadas dos reservatórios mais antigos em operação podem ser totalmente justificados quando analisados sobe dois aspectos: um primeiro e incontestável é o aumento da qualidade ambiental da região sob influência do empreendimento; o segundo aspecto surge quando analisamos os valores monetários relativos à influência da degradação hidrológica-ambiental dos reservatórios em operação, pois pode-se concluir que a recuperação das reservas hídricas é economicamente viável, sendo possível obter considerável compensação financeira (baseada nos valores monetários calculados) a médio prazo (estimado em 5 anos), com recuperação das disponibilidades hídricas da bacia degradada. Vale a pena frisar que a recuperação ambiental da bacia hidrográfica implica na redução das flutuações hidrológicas e com isso na diminuição da probabilidade de ocorrência de eventos críticos de cheias e estiagem na bacia hidrográfica em questão. Com isso, a utilização da alocação dos Volumes de Espera e da Curva de Aversão ao Risco para garantir a recuperação de reservatórios irão se tornar cada vez menos freqüentes, maximizando ainda mais a geração de energia pelos Aproveitamentos pertencentes ao SIN e operados pelo ONS.

BIBLIOGRAFIA

- CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS (Eletrobrás). (1997). “*Potencial Hidrelétrico Brasileiro*” (SIPOT – Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro).
- CASTILHO, L. (2005). “*Metodologia de Auto Depuração dos cursos d’água como Ferramenta para Enquadramento no Lançamento de Efluentes*”. Trabalho de Diploma; IRN/UNIFEI; Itajubá; MG.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); (2006). “*Estatísticas do Século XX – Estatísticas Econômicas*”; disponível em <http://www.ibge.gov.br>.
- Operador Nacional do Sistema (ONS); (2006). “*Inventário das Restrições Operativas Hidráulicas dos Aproveitamentos Hidrelétricos*”, Rio de Janeiro – RJ; disponível em <http://www.ons.org.br>.
- Operador Nacional do Sistema (ONS); (2004). “*Evaporações Líquidas em Usinas Hidrelétricas – RE 3/214/2004*”, Rio de Janeiro – RJ, Brasil; disponível em <http://www.ons.org.br>.
- MARQUES, M.; HADDAD, J.; MARTINS, A. R. S.; (2001). “*Conservação de Energia: Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos*”. 2ª ed. Itajubá, MG.
- OTTONI, A. B. ; (2001). “*Sugestões para a Classificação Ecológica de Cursos D’água a partir do Conhecimento do seu Regime Hídrico*”. Seminário do Exame de Qualificação de Doutorado; COPPE / UFRJ; Rio de Janeiro; RJ; Brasil.
- OTTONI, A.B. ; (2002) “*Estudos e modelo Físico Hidrodinâmico da soleira de Admitância Individual*”. Monografia de Doutorado, Rio de Janeiro, RJ; COPPE/UFRJ.
- OTTONI, A. B. ; (2007); “*Planejamento dos Sistemas de Recursos Hídricos*”, Apostila do Curso de Especialização em Recursos Hídricos e Meio Ambiente, IRN/UNIFEI, Itajubá – MG.
- PORTO , M. de F. M. M. (1996). “*Educação Ambiental: conceitos básicos e instrumentos de Ação*”. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente; DESA/UFMG.
- Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL/ELETOBRÁS (2006), “*Introdução ao PROCEL*”, disponível em <http://www.eletobras.com>.
- SANTOS, A. H. M. . “*Uma Versão Computacional do Método de Conti-Varlet para Estudos de Regularização Parcial de Vazões em Pequenas e Médias Bacias*”. Revista Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico, v. 18.
- SOUZA, D. J. R. (1974). “*Apostila de Hidrotécnica Continental*”. Tese de Livre Docência da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.
- SOUZA, Z.; SANTOS, A. H. M.; BORTONI, E. C.(1999). “*Centrais hidrelétricas: Estudos para implantação*”.ELETROBRÁS. Rio de Janeiro:RJ.