XX SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

Versão 1.0
XXX.YY
22 a 25 Novembro de
2009
Recife - PE

GRUPO VII

GRUPO DE ESTUDO DE PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS – GPL

PLANEJAMENTO INTEGRADO MULTIOBJETIVO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA UMA BACIA HIDROGRÁFICA CONSIDERANDO A OUTORGA AOS USOS MÚLTIPLOS E OS AGENTES DO SETOR DE RECURSOS HÍDRICOS

Everthon Taghori Sica* **Celso de Brasil Camargo**

Laboratório de Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica – LabPlan
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

RESUMO

A concorrência pelo uso da água é evidente entre os usos consuntivos, tais como irrigação, abastecimento industrial e produção de energia. Estes usos são variáveis de decisão para o desenvolvimento e crescimento econômico. O planejamento do setor elétrico e o gerenciamento da bacia hidrográfica devem ser integrados, pois ao privilegiar determinado uso pode acarretar conseqüências indesejáveis à economia e/ou ao meio ambiente. Nesse sentido, este artigo apresenta um modelo de auxilio ao planejamento a partir de hidrelétricas sujeitas as restrições operativas, as outorgas dos usos múltiplos e aos *trade-offs* entre os usos múltiplos atribuídos pelos comitês de bacia hidrográfica.

PALAVRAS-CHAVE

Geração de Energia Elétrica, Otimização Multiobjetivo, Planejamento Integrado de Recursos, Uso Múltiplo das Águas

1.0 INTRODUÇÃO

Em 8 de janeiro de 1997, pela Lei nº 9.433, inspirada no modelo francês, foi instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos e criado o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH), a fim de organizar a área de recursos hídricos e consolidar os conceitos de gestão participativa e de visão sistêmica da água (1). O modelo administrativo brasileiro de gerenciamento dos recursos hídricos por Comitês de Bacia e Agências de Água é inovador e sua implantação implica mudança de atitude e comportamento dos atores sociais[1] envolvidos que precisam dialogar e ser receptivos à parceria com demais usuários.

Para o setor de energia elétrica, essa nova forma de gestão das águas implica mudanças significativas. A consideração dos demais usuários das águas na gestão dos recursos hídricos coloca em xeque a histórica hegemonia do setor. Embora exista um arcabouço regulatório mínimo, que prevê a articulação dos diversos

[1] O ator social pode ser definido como um coletivo, porém não dissociado do sujeito, que sob uma determinada situação é capaz de transformá-la. O ator social, enquanto sujeito reflexivo, sob um contexto social específico, possui informações e razões únicas para agir da forma que age, trata-se de um conceito fundamental da sociologia de Max Weber em estudos sobre as relações entre a economia e a sociedade. Fato relevante para compreender, internamente, os Comitês de Bacia Hidrográfica.

(*) LABORATÓRIO DE PLANEJAMENTO DE SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA
Universidade Federal de Santa Catarina – CTC – EEL – LabPlan, Campus Trindade
CEP 88.040-900 / Florianópolis, SC/Brasil - Tel: (48) 3721-9731 / Fax: (48) 3721-7538 / acmesica@labplan.ufsc.br

organismos atuantes, para garantir o uso múltiplo das águas, é preciso amadurecer as competências de cada um e intensificar a troca de informação (2).

O grande desafio do planejamento, portanto, é estabelecer uma relação de poder compartilhada e descentralizada, de forma a possibilitar a participação social e promover a unidade na diversidade. Planejar é reunir as condições para construir um futuro desejado e estabelecer os meios para atingí-lo. Nesse sentido, o modelo de auxilio ao planejamento apresentado neste artigo não pretende encerrar as questões que norteam o planejamento integrado de recursos, mas, sim, contribuir para o entendimento destas questões.

2.0 PROPOSTA DE MODELO PARA O AUXILIO AO PLANEJAMENTO INTEGRADO

A oferta de energia elétrica, na economia nacional, é uma função que depende substancialmente da disponibilidade hídrica para tal fim. Entretanto, a totalidade da vazão natural afluente não está disponível somente para a produção de energia elétrica como em tempos de outrora (3). As prioridades para o uso das águas, consuntivos ou não consuntivos, estão à mercê das definições e disposições dos Planos de Bacia[2]. A alocação da disponibilidade hídrica para os diversos segmentos usuários deve apoiar-se na interação entre os processos econômico, social e ambiental (Figura 1). O modelo de planejamento integrado proposto pretende permitir o julgamento de valor, ser participativo e multicritério, além de projetar cenários coerentes com a composição orgânica tanto do capital econômico quanto do capital natural.

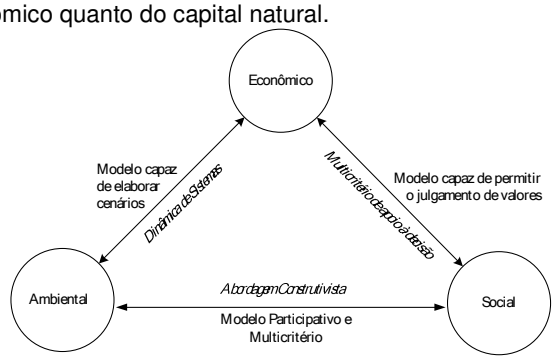

FIGURA1 - Abordagem para o planejamento integrado

2.1 Métodos utilizados e processo de modelagem

A abordagem metodológica possui duas características distintas: (i) o modelo proverá cenários do comportamento do recurso hídrico, simulando por meio da Dinâmica de Sistemas; (ii) a cada estágio de simulação, caso a demanda pelo recurso seja superior a sua oferta sob situação de não-escassez, executa-se um procedimento multiobjetivo para alocar o recurso hídrico conforme os *trade-offs* estabelecidos.

2.1.1 Multiobjetivo

Alguns aspectos que permeiam o ambiente decisório tornam a complexidade e a incerteza cada vez mais presentes na análise de sistemas de recursos hídricos, a saber: (i) a necessidade de atingir diversos objetivos simultaneamente, muitos não apenas conflitantes como também não quantificáveis ou mensuráveis monetariamente; (ii) o envolvimento de atores sociais no processo decisório com interesses diversos; e (iii) a representatividade nos comitês de bacia e a legitimidade das decisões. Nesse sentido, a decisão realiza-se, por meio de um processo, ao longo do tempo, e não sob um ponto determinado no tempo. Dessa forma, o conjunto de etapas e os resultados que irão orientar a decisão a ser tomada não podem ser separados do processo de decisão. Diante disso, a metodologia multicritério de apoio à decisão é perfeitamente aplicável.

O modelo multicritério construído possui uma estrutura arborescente (Figura 2) no qual são determinados os pontos de vista considerados como fundamentais pelos decisores. A estrutura é baseada na lógica de decomposição de um critério complexo em subcritérios de mais fácil mensuração, ou seja, o critério de nível hierárquico superior é definido pelos subcritérios de nível hierárquico inferior que estão conectados pela árvore de decisão. Desse modo, cada critério da árvore corresponde ao um uso múltiplo, ou seja, $c_i = u_j^m$.

Este método pretende proporcionar a inclusão da subjetividade do decisor na otimização, pois a práxis deve permitir que o decisor "avalie as conseqüências da implementação de suas idéias com o auxilio de modelos aceitos por todos, a partir de uma base comum de informações" (4). O ambiente decisório no Comitê de Bacia Hidrográfica é caracterizado pelos aspectos subjetivos dos *stakeholders*, pela busca da solução de compromisso ou consenso e pelo valor social atribuído às águas, por meio de *trade-offs*. O *trade-off*, então, reflete a relação do incremento de uma unidade, no valor do critério c_1 em detrimento do critério c_2, para uma mesma ação. Segundo Vira Chankong e Yacov Haimes (5), é obtido por meio do comportamento de f_1 e f_2

[2] O Plano de Bacia, elaborado pela Agência de Água e sujeito a aprovação pelo respectivo Comitê de Bacia Hidrográfica, deverá dispor as prioridades de uso entre cada segmento usuário. Ou seja, em situação de não-escassez e salvo determinação disposta no Plano de Bacia, o setor de energia elétrica é tão importante quanto os demais segmentos.

$$\Lambda_{ij} = \Lambda_{ij}(c_1, c_2) = \frac{f_1(c_1) - f_1(c_2)}{f_2(c_1) - f_2(c_2)} \tag{1}$$

Sendo, Λ_{ij} , o trade-off entre os critérios *i* e *j* e $f_2(c_1) - f_2(c_2) \neq 0$.

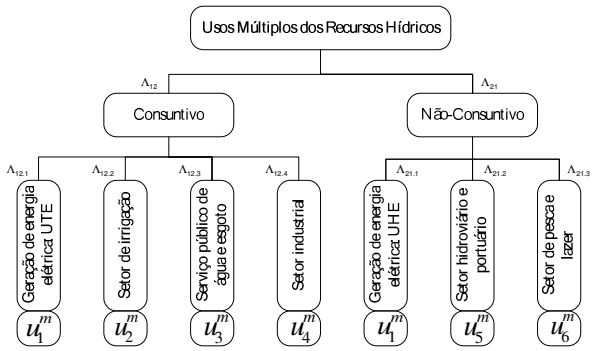

FIGURA 2 - Estrutura do modelo multicritério

Todavia, após definido, o *trade-off* pode não refletir o comportamento esperado de acordo com as preferências do decisor. Dessa forma, foi utilizado o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para determiná-los. O método AHP (Figura 3) usa comparações por pares entre as alternativas, entre os critérios, a fim de determinar as prioridades das alternativas ao longo da hierarquia. Após a construção da hierarquia (Figura 2), cada agente de decisão fará a comparação, par a par, de cada elemento de um dado nível hierárquico, criando-se uma matriz de concordância, recíproca positiva, em que ele representará, a partir de uma escala pré-definida (julgamento semântico), sua opinião/preferência dentre os elementos, comparados entre si (6).

Matriz de concordância

	u_1^m	u_2^m	u_3^m	u_4^m	u_5^m	u_6^m
u_1^m	1	0,2	0,11	7	5	5
u_2^m	5,00	1	0,11	5	3	5
u_3^m	9,00	9,00	1	9	9	9
u_4^m	0,14	0,20	0,11	1	3	3
u_5^m	0,20	0,33	0,11	0,33	1	1
u_6^m	0,20	0,20	0,11	0,33	1,00	1

y_{ij}	Julgamento Semântico
1	Igualmente preferido (indiferente)
3	Preferência Fraca de *p* sobre *q*
5	Preferência Modereda de *p* sobre *q*
7	Preferência Forte de *p* sobre *q*
9	Preferência Absoluta de *p* sobre *q*

	Autovetor	*Trade-off* preferência		*Trade-off* não-preferência	
u_1^m	0,199895	0,118360	*11,84%*	-0,822384	*-27,41%*
u_2^m	0,308012	0,182378	*18,24%*	-0,817622	*-27,25%*
u_3^m	1,000000	0,592111	*59,21%*	-0,407889	*-13,60%*
u_4^m	0,080889	0,047895	*4,79%*	-0,952105	*-31,74%*
u_5^m	0,052890	0,031317	*3,13%*		
u_6^m	0,047186	0,027939	*2,79%*		

Análise de Consistência	
Maior autovalor	
7,199842727	
Verificação	
0,239969	consistente

FIGURA 3 - Aplicação do método AHP

Saaty (6) determina a importância relativa entre as alternativas avaliadas, neste caso os usos múltiplos numa bacia hidrográfica, segundo os autovetores da matriz de concordância. Porém, sugere que antes se calcule a consistência do julgamento disposto na matriz de concordância da seguinte forma:

$$\frac{\lambda^{max} - n}{n-1} \leq 1 \rightarrow \textit{consistente} \qquad \textit{para} \qquad \begin{bmatrix} v_{1,1} & \cdots & v_{1,q} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{p,1} & \cdots & v_{p,q} \end{bmatrix} \tag{2}$$

em que λ^{max} é o maior autovalor e *n* é a dimensão da matriz.

Após obter os *trade-offs*, é necessário definir o método responsável pela alocação do volume de água disponível no trecho de bacia, como em

$$Op_{i,i-1,t}(u_j^m) = max\left(\left(w^n(u_j^m) - 1\right) O_{i,i-1,t}(u_j^m) \frac{Vdis_{i,i-1,t}}{\sum_{j=1}^{4}\left[\left(1 - w^n(u_j^m)\right) O_{i,i-1,t}(u_j^m)\right]} \; , \; O_{i,i-1,t}(u_j^m) \right) \tag{3}$$

sendo $w^n(u_j^m)$ obtido segundo

$$w^n(u_j^m) \begin{cases} j = \{2,3,4\} \rightarrow w^n(u_j^m) = \dfrac{1 - w(u_j^m)}{3} \\ \\ j = \{1,5,6\} \rightarrow w^n(u_1^m) = \dfrac{1 - \sum_{j=\{1,5,6\}}^{J} w(u_j^m)}{3} \end{cases} \tag{4}$$

em que

$O_{i,i-1,t}(u_j^m)$ é o volume outorgado para j entre UHEs, i e $i-1$, no estágio t [hm^3];

$Op_{i,i-1,t}(u_j^m)$ é o volume proporcional para j entre UHEs i e $i-1$ no estágio t [hm^3];

$w(u_j^m)$ é o *trade-off* w auferido ao uso múltiplo j na bacia hidrográfica por meio do método AHP;

$w^n(u_j^m)$ é o *trade-off* w de não-preferência do uso múltiplo j na bacia hidrográfica; e

$Vdis_{i,i-1,t}$ é o volume disponível entre UHEs, i e $i-1$, no estágio t [hm^3];

A formulação da Equação 4 atinge uma solução em que o total dos volumes proporcionais é igual ou inferior ao volume disponível no trecho considerado. Ademais é uma solução não extrema, porém dentro da região viável de Pareto (Figura 4) e, portanto, uma solução Pareto-relevante, de acordo com os *trade-offs*. Nesse sentido, o *trade-off* tem um significado pautado no consenso político do Comitê de Bacia Hidrográfica sobre a importância relativa dos usos múltiplos para a bacia. A redução da outorga ocorre de maneira proporcional à penalidade, w^n, e ao volume de outorga requerida. Ademais, ao estabelecer uma interface amigável do método AHP ao agente decisor, o modelo proposto possibilitará um planejamento "pautado, de preferência e quando possível, em métodos mais simples e transparentes" (7).

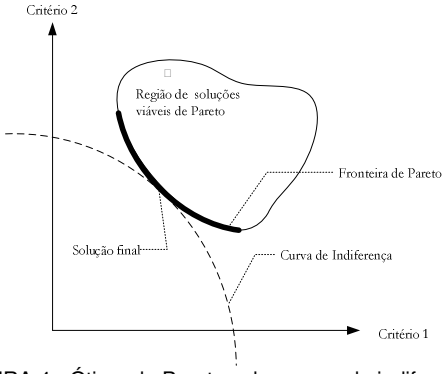

FIGURA 4 - Ótimo de Pareto sob a curva de indiferença (8)

2.1.2 Dinâmica de sistemas

A Dinâmica de Sistemas não objetiva apenas determinar valores dos elementos que compõem o sistema, mas, sobretudo, o seu comportamento dinâmico. De acordo com as características dos elementos do sistema são definidas as variáveis de estado, que representam as condições do sistema, ao longo do tempo. A relação entre os elementos que compõem o sistema é o aspecto central que indica a sua existência, distinguindo-o de um aglomerado. As oscilações, nos modelos, não são regulares, pelo fato de envolverem muitas interações entre os elementos numa cadeia causal pautada em equações diferenciais não-lineares (9). Dessa forma, há a possibilidade de mapearem-se estruturas organizacionais e sociais na mesma plataforma de simulação e de monitorar a inter-relação entre fluxos de informação e de matéria (3).

Os procedimentos metodológicos utilizados na concepção de sistemas dependem fortemente dos objetos de estudo e da visão de mundo adotada. A visão de mundo condiciona a utilização e a percepção dos riscos provenientes dos eventos analisados. Além de consubstanciar os julgamentos de valores, as decisões e o *modus operandi* de grupos sociais. O objeto de estudo delimita as particularidades e as relações entre as partes e o todo do modelo. Portanto, um modelo de sistemas que objetiva alinhavar cenários, para a produção de energia elétrica, em uma bacia hidrográfica, é um sistema complexo por definição

2.1.3 Objeto de estudo

O objeto de modelagem é a bacia hidrográfica do Jacuí (RS) umas das mais importantes em virtude dos usos múltiplos da água, a saber: para a produção de energia elétrica, para a navegação, para irrigação do cultivo de arroz e para o abastecimento público. A bacia tem forma irregular localizada aproximadamente entre as latitudes de 28°10' e 30°45'S e as longitudes de 49°55' e 54°35'W. A resolução dos conflitos, a arbitragem e o consenso sobre os usos dos recursos hídricos estão a cargo dos quatro comitês de bacia instalados na região, a saber: Comitê Alto Jacuí, Comitê Baixo Jacuí, Comitê Vacacaí/Vacacaí-mirim e Comitê Pardo (10).

A capacidade instalada nas usinas hidrelétricas (UHE) de Passo Real, Jacuí, Itaúba e Dona Francisca são, respectivamente, 158 MW, 180 MW, 500 MW e 125 MW. A bacia (Figura 5) é responsável por, aproximadamente, 35% da energia demandada pelo Estado. A demanda restante é atendida pelas usinas termelétricas (UTE) Sepé Tiaraju, Uruguaiana, Presidente Médice e Charqueadas, sendo completada, majoritariamente, pelo fluxo de energia advindo do SIN.

O período crítico, no Estado, é o verão, em virtude das cargas industriais e da demanda térmica fria, ambas diurnas. A capacidade total de geração instalada no Estado é, cerca de, 2.619 MW, destes 1.357 MW são

provenientes de hidrelétricas e 1.262 MW de termelétricas. Todavia, a referida capacidade não supre toda a demanda, caracterizando, assim o Estado do Rio Grande do Sul como “importador”.

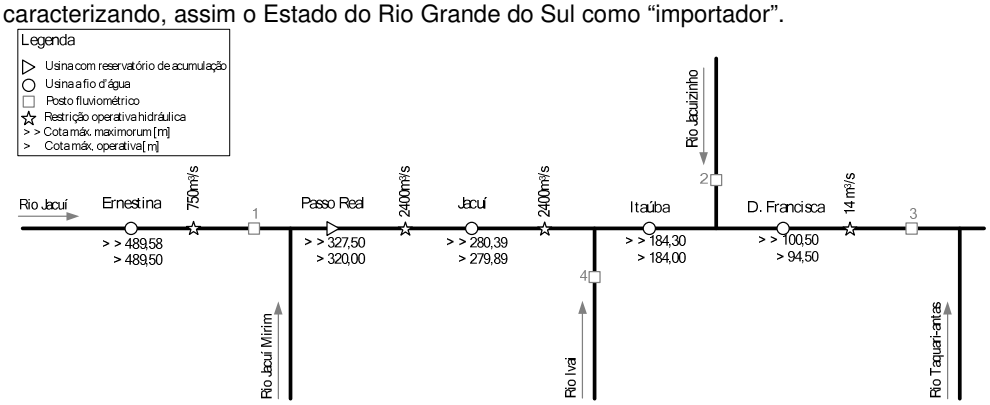

FIGURA 5 - Diagrama operativo hidráulico da bacia do Rio Jacuí (11)

Desta maneira, o custo marginal de operação, para a modelagem proposta neste artigo, é minimizado ao produzir o máximo possível de energia advinda de hidrelétricas, diminuindo, portanto a importação e o despacho de termelétricas. Outrossim, há a necessidade de garantir um determinado volume hidráulico, no reservatório da UHE Passo Real, capaz de produzir certa quantidade de energia nas usinas hidrelétricas na bacia do Jacuí, em virtude dos limites de confiabilidade e estabilidade das linhas de transmissão responsáveis pela importação da energia elétrica do SIN e pelo atendimento à região metropolitana de Porto Alegre. Os cenários serão construídos, tendo como entradas:

- as séries históricas reconstituídas de vazão afluente natural, as UHEs[3];
- os volumes requeridos pelos usos múltiplos, nos trechos de bacia entre cada UHE e a jusante de Dona Francisca; e
- a importância relativa (*trade-off*) de cada uso múltiplo.

Para tanto, o modelo de auxilio ao planejamento é constituído por quatro submodelos, a saber:

(i) submodelo de crescimento demográfico
Esse submodelo de crescimento demográfico, adaptado do modelo *Urban 1* (12), considera o crescimento populacional baseada nas taxas de natalidade, de imigração e emigração, além da expectativa de vida. No horizonte há forte tendência de estabilização populacional sob equilíbrio dinâmico, ao longo desse período, o incremento de cidadãos acarreta construção de novos lares ao mesmo tempo em que há demolição de outras edificações

(ii) submodelo de demanda hídrica;
Pressupõe-se a possibilidade de simular a preferência (ou não) do atendimento à demanda hídrica, para cada trecho, pela variável denominada *Atendimento à Demanda* (Figura 6).

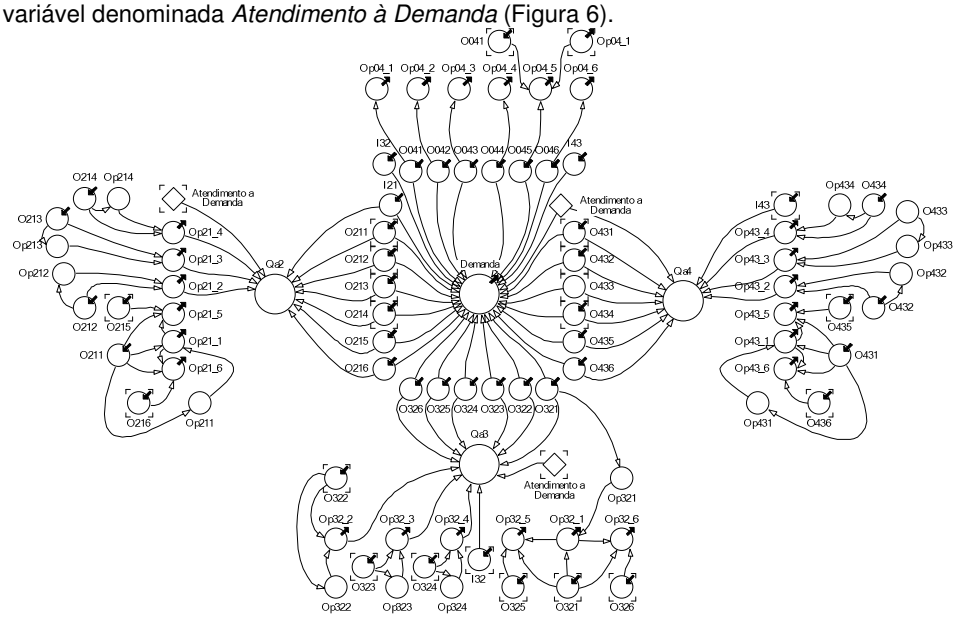

FIGURA 6 - Submodelo de demanda hídrica

[3] A série de vazão afluente natural é o histórico de vazões sem a influência da operação de reservatórios, gerada justamente para se utilizar em estudos – gentilmente, fornecida e autorizada pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico, Regional Sul.

Optar por essa preferência significa modificar a filosofia de operação da usina de reservatório a montante (no caso Passo Real), em que, sob engolimento máximo da turbina, o volume defluente será compensado com a maior abertura do vertedouro a fim de atender aos usos múltiplos. Em contrário, a simulação desconsidera a necessidade do volume de água para atendimento dos usos múltiplos consuntivos, $U^m = \{u_2^m, u_3^m, u_4^m\}$.

(iii) submodelo de *trade-off*
O atendimento à demanda hídrica implica que os usos outorgados[4] devem-se submeter as preferências ratificadas pelos Comitês de Bacia (CBH) e pela forma de alocação do recurso hídrico. Nas circunstâncias em que à demanda hídrica no trecho de bacia entre usinas é superior a oferta, sob situação de não-escassez, o volume de água afluente a usina hidrelétrica é reduzido conforme a importância relativa, determinada pelo CBH, aos demais usos múltiplos, segundo o método multicritério, incluído nesse sub-modelo.

(iv) submodelo de geração de energia elétrica.
Esse submodelo (Figura 7) simula o comportamento operativo das UHEs, desconsidera a evapotranspiração, a evaporação do espelho d'água nos reservatórios e as perdas hidráulicas no conduto forçado. O volume de espera no reservatório de Passo Real e a reserva hídrica requerida para estabilidade das linhas de transmissão responsáveis pela importação do SIN podem ser relacionados a variável *volume de aversão*[5] do reservatório. A série histórica, dado de entrada, é estacionária, portanto não se considera que a modificação do binômio solo-água produza efeitos relevantes durante o horizonte de simulação de 60 meses. A referida série pode ser manipulada para gerar vários cenários diferentes, conforme a necessidade, sendo possível carregar uma série iniciando de 1940 a 2002 e, também, abrandar ou reforçar as afluências por meio do coeficiente de ajuste. Ademais, tanto a série histórica[6] como as outorgas[7] são consideradas sob uma distribuição uniforme em cada trecho entre UHEs.

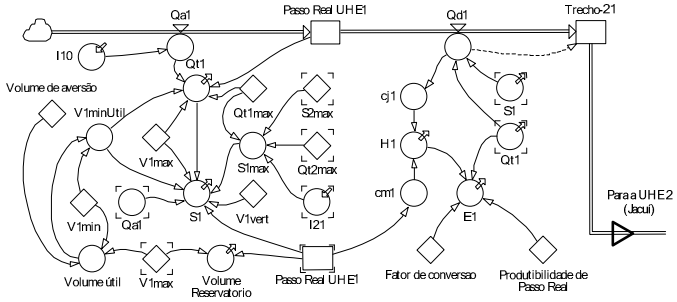

FIGURA 7 - Submodelo de geração de energia elétrica para a UHE Passo Real

2.1.4 Resultados

O modelo foi simulado pelo método Runge-Kutta de quarta ordem, segundo o histórico das vazões afluentes ocorridas entre os anos de 1950 a 1954, como exemplo, pois representa uma das mais baixas afluências. O consumo per capita foi arbitrado em 160 litros por dia por pessoa (incluindo perdas). Desse modo, a supracitada série foi usada como dado de entrada para a simulação variando o volume de aversão de 0% a 70%, de 5 em 5%, para analisar o comportamento da energia produzida na bacia e do reservatório de Passo Real. As simulações ocorreram pressupondo uma política de atendimento, *D=1*, à demanda hídrica a jusante e ignorando-a, *D=0*.

No entanto, necessita-se de uma análise mais detalhada sobre o comportamento da energia produzida na bacia e do volume do reservatório. Desse modo, a Figura 8 mostra a relação entre o total de energia produzida na bacia hidrográfica ao longo dos 60 meses e o volume percentual médio do reservatório obtido pela média aritmética no mesmo período simulado para cada volume de aversão.

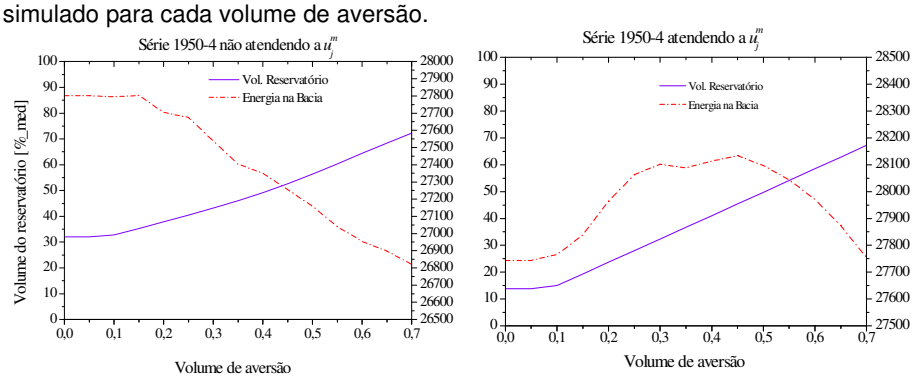

FIGURA 8 - Energia média produzida na bacia pela média do volume percentual do reservatório segundo o volume de aversão

[4] Isso inclui as usinas hidrelétricas.
[5] Valor que restringe o percentual do volume útil e abaixo do qual o reservatório da UHE Passo Real não é deplecionado.
[6] Variáveis de entrada de fluxo da bacia, portanto com sinal positivo (+).
[7] Variáveis de saída de fluxo da bacia, portanto com sinal negativo (-).

Observa-se que quanto maior o volume de aversão menor a quantidade total de energia possível quando ignorada a demanda hídrica a jusante. Já, sob a política de atendimento verifica-se um intervalo de valores para o volume de aversão que corresponde a uma maior quantidade de energia produzida. Por um lado, isso ocorre, pois ao definir o volume em que o reservatório não pode ser deplecionado, existe um maior déficit de atendimento à demanda hídrica a jusante de Passo Real, obrigando, assim, a execução do submodelo de *trade-off* para definição de valores proporcionais as outorgas requeridas. Por outro lado, a quantidade de energia produzida ao atender à demanda hídrica é maior em virtude do deplecionamento do reservatório de Passo Real (Figura 9) e turbinamento, do volume liberado, pelas UHEs a fio d'água a jusante. Todavia, isso implica num aumento do risco de déficit à demanda elétrica caso posteriormente ocorra uma série de baixas afluências.

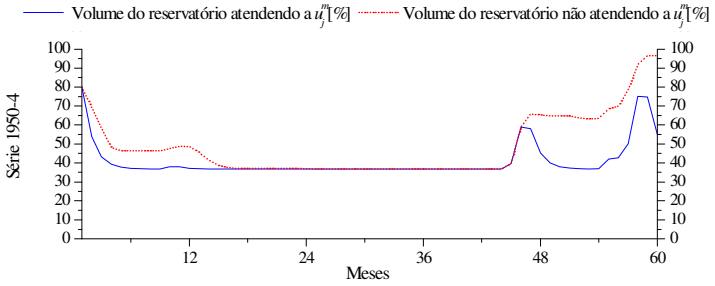

FIGURA 9 - Comportamento do reservatório de Passo Real com volume de aversão em 40%

Todavia, as vazões defluentes a UHE D. Francisca são mostradas na Figura 10 tanto sob a política de atendimento como não-atendimento à demanda hídrica - por exemplo, o volume mínimo referente (13) à captação d'água para a irrigação é submetido ao submodelo de *trade-off* quando em situação de não-escassez com a oferta inferior a demanda hídrica. Já, ao ignorar tal política a referida vazão é mantida. Conquanto, em ambas as situações é mantida restrição referente a vazão defluente mínima de 14 m^3/s, considerada como vazão sanitária de ordem ambiental (11).

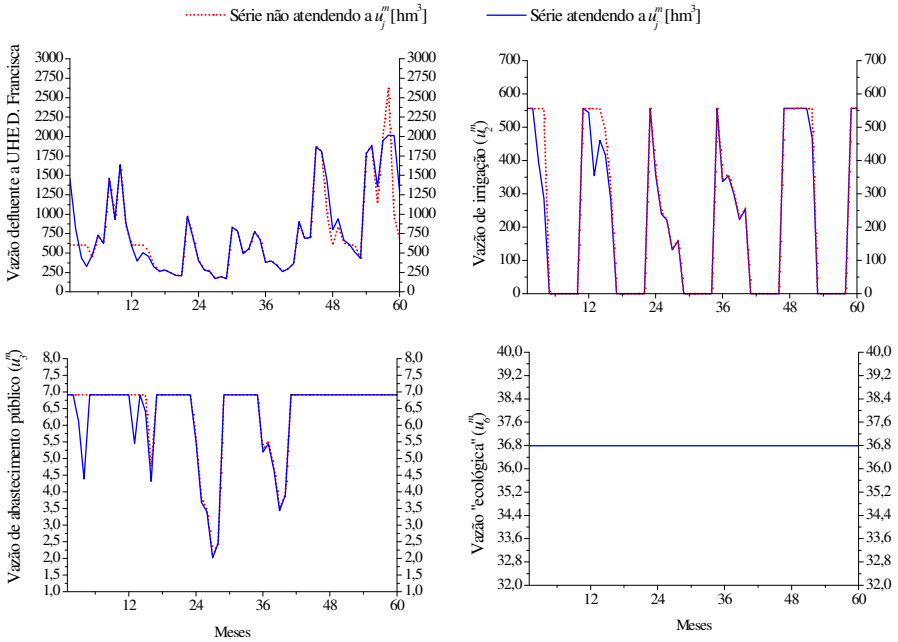

FIGURA 10 - Comportamento das outorgas requeridas na série 1950-4 sob volume de aversão em 40%

3.0 AS CONCLUSÕES

A concorrência pelo uso da água (*trade-off*) é evidente entre os usos consuntivos, tais como irrigação, abastecimento industrial e produção de energia - esses usos são variáveis significativas do desenvolvimento e do crescimento econômico para o Brasil. A questão do *trade-off* água-energia e dos usos múltiplos das águas não são triviais. Dessa forma, o planejamento e a operação do Sistema Interligado Nacional e o gerenciamento da bacia hidrográfica devem ser integrados, pois ao privilegiar um segmento ou outro (irrigação ou produção de energia, por exemplo) poderá acarretar conseqüências danosas à economia e/ou ao meio ambiente.

A modelagem de bacias hidrográficas com a finalidade de obter a disponibilidade hídrica à produção de energia elétrica, considerando os usos múltiplos das águas e os demais agentes econômicos intervenientes, é um sistema parcialmente estruturado. No entanto, a Dinâmica de Sistemas oferece a possibilidade de simular as possíveis evoluções dos processos econômicos, sociais e ambientais intervenientes ao planejamento de uso da bacia

hidrográfica à produção de energia elétrica. Sendo, portanto, uma ferramenta factível para o planejamento integrado de recursos.

A técnica multicritério de apoio à decisão é um método de investigação no qual são apresentados claramente os resultados da distribuição dos benefícios e/ou custos do processo decisório, do envolvimento dos atores sociais e da mensuração das conseqüências dos valores julgados. É também por meio desta técnica que se abre a possibilidade de quantificar impactos políticos, econômicos e socioambientais.

Dessa forma, a convergência para uma solução de comprometimento, diante da negociação e participação, torna-se robusta e concreta. Entretanto, não existe uma definição de sucesso para sistemas multicritério de apoio à decisão, pois o melhor sistema "não é obrigatoriamente o que utiliza as melhores técnicas mas aquele capaz de induzir às melhores decisões"(4). Não obstante, algumas características são relevantes apesar de não garantirem o sucesso:

- aprimorar o julgamento humano e não substituí-lo;
- ser flexível e adaptável às mudanças do contexto decisório;
- ter acessibilidade tanto para usuários especialistas como por usuários com pouco esclarecimento técnico;
- permitir a incorporação de julgamentos de valores;
- permitir a construção do modelo com a participação dos *stakeholders*; e
- possibilitar a incorporação de variáveis de cunho social, ambiental, político e econômico.

Mais do que os resultados obtidos, o modelo de apoio ao planejamento integrado proposto é o primeiro passo em direção a atenção que deve ser dispensada pelo setor de energia elétrica ao, "não tão novo", modelo de gestão dos recursos hídricos instituído pela Lei nº 9433/97. Outrossim, é notório, que o setor de energia elétrica deve se preparar, revendo seus procedimentos, para esse *modus operandi* das águas a fim de otimizar o seu planejamento e sua operação. O processo à tomada de decisão se tornou mais democrático em razão dos novos atores sociais admitidos pelo Sistema Nacional de Recursos Hídricos, porém mais complexo.

4.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) PNRH. Documento base de referência. Plano Nacional de Recursos Hídricos. Brasília/DF: Ministério do Meio Ambiente, Secretária de Recursos Naturais e Agência Nacional de Águas, 2003. p. 383.

(2) SICA, E. T., SOUZA, L. S. e FERNANDES, R. C., Impacto da Regulação Jurídico-Ambiental no Ambiente de Mercado do Setor Elétrico Brasileiro: os usos múltiplos das águas, In: XVIII SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Curitiba**.** CIGRÉ, 2005,

(3) SICA, E. T., CAMARGO, C. C. D. B., Planejamento integrado dos recursos hídricos para geração de energia elétrica considerando múltiplos critérios e a dinâmica do capital natural, In: XIX SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Rio de Janeiro**.** CIGRÉ, 2007,

(4) PORTO, R. L. L., AZEVEDO, L. G. T. D., Sistemas de suporte a decisões aplicados a problemas de recursos hídricos, In: PORTO, R. L. L. (Ed.), Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos, Porto Algre: UFRGS e ABRH, 1997, p. 43-96

(5) VIRA, C., HAIMES, Y. Y., Multiobjective decision making : theory and methodology, (North Holland series in system science and engineering 8), New York: North Holland, 1983

(6) SAATY, T. L., The analytic hierarchy process : planning, priority setting, resource allocation, New York ; London: McGraw-Hill International Book Co., 1980

(7) HOBBS, B. F., CHANKONG, V., HAMADEH, W. *et al*, Does Choice of Multicriteria Method Matter? An Experiment in Water Resources Planning, Water Resources v. 28, n. 7, p. 1767-79, 1992

(8) MIETTINEN, K., Evolutionary algorithms in engineering and computer science : recent advances in genetic algorithms, evolution strategies, evolutionary programming, genetic programming, and industrial applications, Chichester ; New York: Wiley, 1999

(9) BERTALANFFY, L. V., Teoria Generale dei Sistemi: fondamenti, sviluppo e applicazione, Milano: Oscar Mondadori, 2004

(10) FEPAM, Qualidade Ambiental: região hidrográfica do Guaíba, Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roesster - RS, 2008, Disponível em:<http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/jacui.asp>, Acesso em: 28 de agosto de 2008

(11) ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico. Diretrizes para as regras de operação de controle de cheias da bacia do rio Jacuí (ciclo 2006-2007): RE 3/296/2006, 2006. p. 30.

(12) FORRESTER, J. W., Urban dynamics, Cambridge, Mass.,: M.I.T. Press, 1969

(13) ONS. Inventário das Restrições Operativas Hidráulicas dos Aproveitamentos Hidrelétricos. Operador Nacional do Sistema Elétrico: RE 3/144/2007, 2007. p. 32-4.