

Inserção de Variáveis Ambientais no Planejamento da Operação de Sistemas Hidrotérmicos

VALLE, Ana Cláudia Marques, Escola de Engenharia Elétrica e de Computação, UFG, doutoranda em Ciências Ambientais, PRPPG, UFG

AGUIAR, Maria do Amparo Albuquerque, Faculdade de Ciências Humanas e Filosofia, UFG, Doutorado em Ciências Ambientais, UFG, orientadora

Resumo: Proposta para o inserção de variáveis ambientais no planejamento da operação de sistemas hidrotérmicos. O objetivo é determinar uma nova restrição a partir da relação de clorofila-a, nitrogênio, fósforo com o volume útil do reservatório.

Palavra Chave: Planejamento da Operação de Sistemas Elétricos, Sistema Hidroelétrico, Clorofila-a, Variáveis ambientais.

I. INTRODUÇÃO

No sistema brasileiro a produção da hidroeletricidade é complementada com a geração termoelétrica. A palavra de ordem atual é maximizar a produção de energia paralelamente à redução de danos ambientais. O objetivo passa a ser a manutenção das plantas existentes, maximizando a sua produtividade e minimizando os danos ambientais. São ações conflitantes que compõem as restrições dos estudos de planejamento da operação de qualquer empresa fornecedora de energia.

Devido às características particulares do parque gerador brasileiro é uma tarefa complexa o planejamento da operação. O objetivo principal pode ser resumido como a determinação de uma estratégia que minimize o custo da operação das unidades do sistema durante o horizonte de planejamento. A estratégia deve garantir a confiabilidade do sistema, e atendimento à demanda de forma a minimizar os custos da complementação termoelétrica. Abrange a otimização plurianual dos reservatórios até o despacho horário das usinas, levando em conta as restrições operativas e restrições ambientais.

O sistema brasileiro é composto de grandes bacias interligadas e com reservatórios de capacidade de regularização plurianual, existe uma dependência entre decisões tomadas ao longo do horizonte de planejamento. A energia hidráulica disponível é limitada, uma decisão tomada no presente deve garantir menor complementação termoelétrica no presente e assegurar o não comprometimento da geração futura. O sistema é dinâmico e atemporal, o presente e função do passado e afeta o futuro.

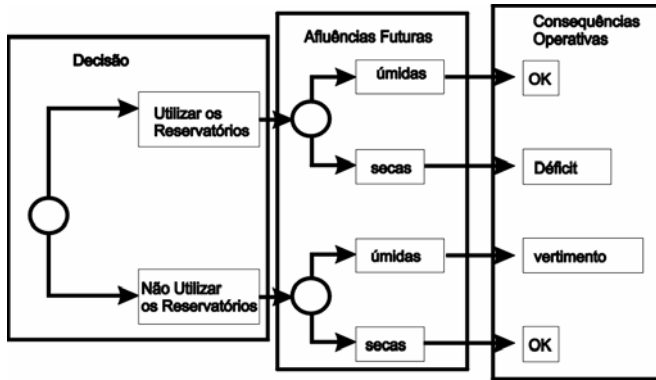


Figura 1- Processo de tomada de decisão em sistemas hidrotérmicos.

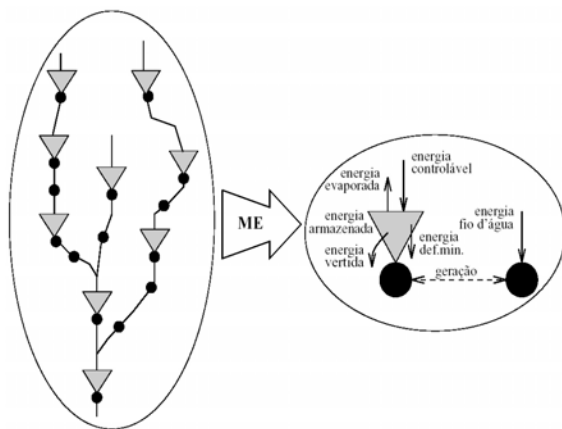


Figura 2 – Variáveis representadas na modelagem de uma cascata

III. METODOLOGIA DO DESPACHO HIDROTÉRMICO

A- Regras de operação

A energia armazenada $e_i(x^0_i)$ em cada usina i requer conhecimento dos relacionamentos entre os armazenamentos das usinas a jusante $x_{j,j} \in J_i$, e o nível de armazenamento do reservatório da usina, x_i , durante o processo de deplecionamento. Portanto, a estimação da energia armazenada no sistema requer a adoção de uma regra de operação de reservatórios para estabelecer o comportamento dos reservatórios durante o processo de deplecionamento.

Um meio comum de representar uma regra de operação de reservatórios é associar o armazenamento de cada reservatório com um parâmetro único λ , variando de zero a um, tal que, para $\lambda = 1$ os reservatórios estão em seu armazenamento inicial e para $\lambda = 0$ os reservatórios estão vazios. Seja $f_i(\lambda)$ qualquer função real diferenciável com domínio e imagem dentro do intervalo $[0,1]$, tal que:

$$f_i(\lambda) = \begin{cases} 1 & \text{se } \lambda = 1 \\ 0 & \text{se } \lambda = 0 \end{cases} \quad (1)$$

A regra de operação do reservatório i pode ser estabelecida como:

$$x_i(\lambda) = x_i^0 \cdot f_i(\lambda) \quad (2)$$

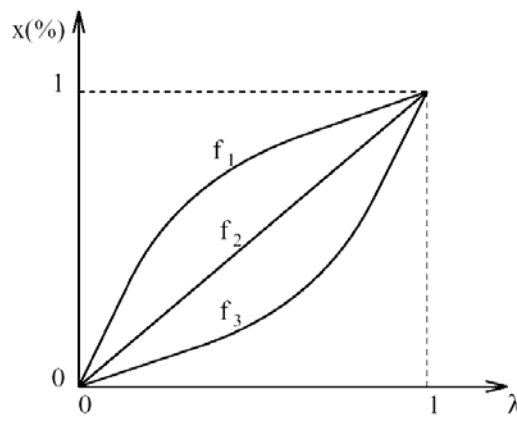


Figura 3 - Regras de operação

Note que a forma das funções $f_i(\lambda)$ irá estabelecer o comportamento relativo dos reservatórios durante o processo de deplecionamento.

B- Balanço Hidráulico

O balanço hidráulico verifica a possibilidade de atendimento às metas fornecidas de cada usina (volume, defluência, geração) para o próximo período.

O balanço hidráulico garante que seu nível de armazenamento para o próximo período, seja o seu volume atual mais o volume de água que chega neste reservatório menos o volume que sai deste reservatório, isto para reservatórios de acumulação. Para usinas a fio d'água a mesma vazão que chega ao reservatório deve deixá-la quer seja por turbinagem ou vertimento.

O balanço hidráulico é obtido conforme a equação abaixo:

$$x_{i,t} = x_{i,t-1} + \left[y_{i,t} + \sum_{k \in \Omega_j} u_{k,t} - (v_{i,t} + ev_{i,t} + q_{i,t} + um_{i,t}) \right] \cdot \frac{\Delta t}{10^6}$$

onde:

$x_{i,t}$ - volume do reservatório da usina i no final do intervalo t [hm^3]

$x_{i,t-1}$ - volume do reservatório da usina i no início do intervalo t [hm^3]

$y_{i,t}$ - vazão incremental afluyente à usina i no intervalo t [m^3/s]

Ω_i - conjunto das usinas a montante da usina i

$v_{i,t}$ - vertimento da usina i no intervalo t [m^3/s]

$ev_{i,t}$ - energia evaporada do reservatório da usina i no intervalo t [m^3/s]

$q_{i,t}$ - vazão turbinada pela usina i no intervalo t [m^3/s]

$um_{i,t}$ - uso múltiplo do reservatório i no intervalo t [m^3/s]

Δt - tamanho do intervalo [s]

O próximo passo é calcular a meta de defluência. O valor da defluência encontrada define a vazão defluente, sendo então verificadas as restrições operacionais, de forma a validar a meta de defluência encontrada.

Verificada as restrições operacionais, sendo elas: limite de engolimento máximo da usina, volume mínimo e máximo do reservatório e defluência mínima, o próximo passo é o cálculo da vazão turbinada para cada usina.

A restrição ambiental será inserida no processo de planejamento neste ponto.

C- Restrição Ambiental

A partir de dados de monitoramento de qualidade de água e do volume útil do reservatório, espera-se determinar a relação da altura do reservatório x clorofila-a. Esta relação será determinada em função dos dados que foram disponibilizados, os quais são amostras mensais para um determinado período.

Serão realizadas três diferentes análises: um único polinômio anual, um polinômio para meses de seca, meses de chuva. No caso de haver pouca diferença entre as relações levantadas, optar-se há pela utilização de um único polinômio.

Dado o novo volume do reservatório, a próxima etapa será o cálculo da altura do reservatório a partir dos polinômios cota x volume. Altura essa que será aplicada ao polinômio cota x clorofila, no qual será obtido o possível valor de clorofila a para essa condição do reservatório.

O valor de clorofila-a obtido a partir da nova condição de volume do reservatório será comparada aos valores especificados pela a resolução do CONAMA número 357, de 17 de Março de 2005. No caso de atendimento à norma, o processo de planejamento passa então para o próximo intervalo de análise, visto que todas as restrições foram atendidas, inclusive a ambiental.

Caso o valor de clorofila-a calculado seja superior ao valor especificado por norma, altera-se então a meta de defluência mínima, ou seja, aplicar-se-á um incremento percentual a essa defluência, recalcula-se o volume. Calcula-se o novo valor da altura do reservatório no polinômio cota x volume, que será aplicada ao polinômio cota x clorofila, determinando o valor de clorofila que será novamente comparado aos limites especificados por nome.

Enquanto o limite não for atendido, este processo se repete para o mesmo t, se o limite for atendido passa-se então para o cálculo das variáveis do sistema para o intervalo t+1. Essa análise será implementada para usinas tipo acumulação.

IV. SISTEMA A SER AVALIADO

Foram cedidos por duas companhias elétricas de geração os dados físico-químicos e hidrológicos de quatro usinas de acumulação e uma a fio d'água, sendo que 4 delas representam uma sistema em cascata na mesma bacia.

Será realizada uma análise estatística dos dados clorofila a, fósforo, nitrogênio e volume útil do reservatório com o objetivo de definir um polinômio que expresse a inter-relação destas variáveis. Esta relação será a restrição ambiental a ser agregada ao planejamento da operação de sistemas elétricos.

V. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Cruz, Gelson Junior, Modelo Equivalente Não Linear para o planejamento da Operação a Longo prazo de Sistemas de Energia Elétrica , Tese de doutorado, Universidade Estadual de Campinas, 1998.

Geraldes A. M. e Boavida M. J. (2005) Seasonal water level fluctuations: Implications for reservoir limnology and management; Lakes and Reservoirs: Research and Management 2005, 10:59-69;

Kelly M., Grayman W. et all (2004) Water Distribution Systems Handbook; chapters 4 and 9, McGraw-Hill, Digital Engineering Library, 2004;