

CEPEL

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA

DECOMP

**DETERMINAÇÃO DA COORDENAÇÃO DA OPERAÇÃO
A CURTO PRAZO**

NOTA TÉCNICA Nº 11

**ANÁLISE DA REPRESENTAÇÃO DAS RESTRIÇÕES DE
BALANÇO HÍDRICO POR PATAMAR PARA AS USINAS
FIO D'ÁGUA COMO UMA RESTRIÇÃO RHQ**

Agosto /2002

Introdução

Esta Nota Técnica tem como objetivo analisar a compatibilidade entre a restrição de balanço hídrico por patamar para uma usina a fio d'água [1], denominada BHPFD, implementada na versão 9.0b do modelo DECOMP [2], e a representação desta restrição através de uma restrição hidráulica especial para volume defluente (RHQ) na versão 9.0 ou na própria 9.0b sem a utilização da BHPFD.

Analisa-se um caso em estudo para a FT-Decomp, no qual insere-se na versão 9.0b (ou de forma equivalente, na versão 9.0) uma restrição RHQ para a usina a fio d'água de Sobragi, procurando reproduzir a restrição BHPFD que seria criada na versão 9.0b caso se utilizasse este recurso para a usina.

Adicionalmente, é feito um esclarecimento em relação às diferenças operativas encontradas entre os casos com e sem a inclusão da restrição RHQ para Sobragi.

Formulação das restrições de balanço hídrico por patamar para usinas a fio d'água

Na versão 9.0b do modelo DECOMP, as restrições BHPFD podem ser inseridas individualmente para as usinas, sendo representadas por patamar para cada um dos estágios do período de estudo. A restrição para determinada usina i , no estágio t e patamar k , é representada da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 A_k^t(i) + \sum_{j \in M(i)} (Q_k^t(j) + S_k^t(j)) + \sum_{j \in D(i)} (D_k^t(j)) + \sum_{j \in M_{TV}(i)} (Q^{t-tv_{j-i}}(j) + S^{t-tv_{j-i}}(j))_k &= \\
 = Q_k^t(i) + S_k^t(i) + Ev_k^t(i) + Q_{altern_k}^t(i) & \quad (1)
 \end{aligned}$$

onde temos como variáveis de decisão:

$Q_k^t(i)$: Turbinamento da usina i no patamar k do estágio t .

$S_k^t(i)$: Vertimento da usina i no patamar k do estágio t .

$D_k^t(i)$: Desvio de água realizado pela usina i no patamar k do estágio t .

As variáveis de estado são os turbinamentos e vertimentos no instante $t-tv_{j-i}$, para toda usina j que apresentar um tempo de viagem de tv_{j-i} instantes de tempo para a usina de jusante i :

$Q^{t_{ant}}(j)$: Turbinamento da usina j no estágio passado t_{ant}

$S^{t_{ant}}(j)$: Vertimento da usina j no estágio passado t_{ant}

e os valores conhecidos (dados do problema) são:

$Ev_k^t(i)$: Evaporação na usina i ao longo do patamar k do estágio t .

$A_k^t(i)$: Afluência à usina i ao longo do patamar k do estágio t .

$Qaltern_k^t(i)$: Desvio de água para usos alternativos (irrigação, abastecimento) na usina i ao longo do patamar k do estágio t .

Além disso, define-se:

$M(i)$: Conjunto de usinas à montante da usina i .

$M_{TV}(i)$: Conjunto de usinas à montante da usina i , com tempo de viagem da água para esta usina

Sendo D a duração total do estágio t , o qual é composto por K patamares de carga com duração d_k cada um, pode-se obter os valores de afluência, afluência devido ao tempo de viagem da água, evaporação e desvio para uso alternativo para a usina i em cada patamar k a partir dos valores totais ao longo do estágio (representados com a supressão do sub-índice k):

$$\begin{aligned}
 A_k^t(i) &= \frac{d_k}{D} \times A^t(i) \\
 Ev_k^t(i) &= \frac{d_k}{D} \times Ev^t(i) \\
 Qaltern_k^t(i) &= \frac{d_k}{D} \times Qaltern^t(i) \\
 (Q^{t-tv_{j-i}}(j) + S^{t-tv_{j-i}}(j))_k &= \frac{d_k}{D} \times (Q^{t-tv_{j-i}}(j) + S^{t-tv_{j-i}}(j))
 \end{aligned} \tag{2}$$

Cabe notar que:

$$\begin{aligned}
 A^t(i) &= \sum_{k=1}^K A_k^t(i) \\
 Ev^t(i) &= \sum_{k=1}^K Ev_k^t(i) \\
 Qaltern^t(i) &= \sum_{k=1}^K Qaltern_k^t(i) \\
 (Q^{t-tv_{j-i}}(j) + S^{t-tv_{j-i}}(j)) &= \sum_{k=1}^K (Q^{t-tv_{j-i}}(j) + S^{t-tv_{j-i}}(j))_k
 \end{aligned} \tag{3}$$

mantendo-se desta forma a coerência dos balanços por patamar com a equação de balanço hídrico total no estágio.

Representação das restrições BHPFD como RHQ para Sobragi no caso em estudo

Foi inserida, na versão 9.0 (ou de forma equivalente, na versão 9.0b sem consideração das BHPFD), uma restrição RHQ para Sobragi com uma vazão defluente igual à afluência incremental:

$$Q'(i) + S'(i) = A'(i) \quad (4)$$

Apesar de ser representada no modelo por patamar, essa restrição não é suficiente para reproduzir a restrição BHPFD que pode ser inserida para esta usina na versão 9.0b. Isto se deve ao fato de que as restrições BHPFD consideram também a parcela referente à evaporação no reservatório, conforme mostrado no item anterior e apresentado na 14ª reunião da FT Decomp.

Ao inserir-se na versão 9.0 (ou 9.0b, sem consideração das BHPFD) a restrição (4) para Sobragi, o modelo, para atendê-la, é obrigado a defluir nessa usina ao longo do estágio exatamente a sua afluência incremental, e com isto fica impedido de utilizar uma parcela desta afluência para repor o volume evaporado na usina ao longo do estágio. Como esta reposição é obrigatória (a usina não pode estar ao final do estágio abaixo de seu volume mínimo), a solução encontrada pelo modelo será violar a restrição RHQ.

Ocorreu, portanto, uma violação da RHQ para Sobragi nos estágios 1 a 5 para o caso em estudo, que ocasionou o aumento do custo presente de operação. O modelo não reportou esta inviabilidade pois, ao imprimir o RELATO, só são mostradas as inviabilidades que numericamente influem nas tabelas de resultados, ou seja, aquelas cuja violação é maior ou igual a 0,05 MW, 0,05 hm³ ou 0,05 m³/s (todas as tabelas são impressas com 1 casa decimal de precisão). A violação ocorrida em cada estágio, igual à evaporação calculada no período (ver memória em anexo), foi de 0,000627 m³/s e, portanto, não significativa na impressão dos resultados.

Algumas observações são fundamentais para concluir a análise desta questão:

- Embora seja possível representar a BHPFD para Sobragi através de uma RHQ que considere também a evaporação (5), a precisão no valor do termo independente da restrição é limitada ao tamanho do campo (10 caracteres) disponível para fornecê-lo, ao passo que a evaporação é calculada com a precisão existente na máquina. Assim, o valor fornecido pelo usuário no registro LQ não será exatamente igual ao valor resultante de cálculo interno pelo modelo para manter o volume mínimo na usina.

$$Q'(i) + S'(i) = A'(i) - Ev'(i) \quad (5)$$

- A usina de Sobragi não apresenta nenhuma usina à montante, portanto a restrição RHQ apresentada em (5) seria suficiente para representar a BHFPD (considerando-se a ressalva na observação anterior). No entanto, no caso mais geral, é preciso inserir na restrição todas as contribuições/deduções de água que podem ocorrer na usina. Caso não haja tempo de viagem para a água defluída das usinas de montante, podemos escrever a RHQ como segue:

$$Q^t(i) + S^t(i) - \sum_{j \in M(i)} (Q^t(j) + S^t(j)) + \sum_{j \in D(i)} (D^t(j)) = A^t(i) - Ev^t(i) - Q_{altern}^t(i) \quad (6)$$

- Caso a usina de montante à que se quer representar a restrição apresente tempo de viagem para a água defluente, não será possível representar a restrição BHFPD como uma RHQ, já que no termo independente existe a parcela referente às defluências de montante em estágios anteriores. Esta informação será decisão do modelo e portanto não se encontra disponível para o usuário ao se montar o caso.

Esclarecimento quanto às diferenças operativas com e sem a restrição RHQ para Sobragi

Em relação à diferença de operação entre os casos com e sem a restrição em Sobragi, ressaltamos que qualquer modificação na representação das restrições no modelo que acarrete mudanças na matriz do PL pode alterar o ponto de operação encontrado pelo modelo. Rodando os casos com e sem a restrição RHQ (desta vez abatendo do valor da RHQ a vazão evaporada) obtêm-se soluções dentro do mesmo intervalo de otimalidade, indicando que ambas as soluções podem ser consideradas ótimas dentro do gap estabelecido de 0,001.

Referências:

- [1] Representação do Balanço Hídrico por Patamares para as Usinas Fio D'água. Nota Técnica nº 10, Modelo DECOMP., CEPEL, junho/2002
- [2] Manual do Usuário, Modelo DECOMP - Determinação da Coordenação da Operação a Curto Prazo, CEPEL, abril / 2002

Anexo : Cálculo do volume evaporado em Sobragi nos estágios 1 a 5 no caso em estudo

A RHQ de Sobragi foi violada em 0.001728 m³/s, no patamar leve. Possuindo este patamar 61 horas, constata-se que a vazão média violada no período foi de:

$$Q_{viol} = 0,001727988 \text{ m}^3 / \text{s} \times \frac{61h}{168h} = 0,000627424 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Esse valor corresponde à vazão evaporada em Sobragi durante a semana, calculada da seguinte forma:

O reservatório de Sobragi possui um volume de 1 hm³, com área do espelho d'água de 0,11 km². A taxa mensal de evaporação nesse reservatório no mês do estudo é de 15 mm/mês. A taxa média de evaporação em Sobragi durante uma semana é obtida através da expressão :

$$\begin{aligned} \text{taxa} &= 15 \text{ (mm/mês)} \times (168/730.5) \times 10^3 \times 0,11 \text{ km}^2 \times 10^{-6} = \\ &= 0,0003794661 \text{ hm}^3 / (168*0,0036) = 0,000627424 \text{ m}^3/\text{s}. \end{aligned}$$

onde 730,5 h é o valor médio da duração de um mês civil

