

# Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL

## Relatório Técnico



**Nº/Ano:** 29228/2016    **Nº de Páginas:** 14    **Nº de Anexos:** 0

**Título:** Simulação da Operação Semanal de Controle de Cheias em Situação Normal – OPCHENS versão 3.1 – Manual de Metodologia.

**Departamento:** Departamento de Otimização Energética e Meio Ambiente - DEA

**Área de Responsabilidade:** B200    **Conta de Apropriação:** 1328

**Cliente:**  
Centrais Elétricas Brasileiras S/A - Eletrobras  
Av. Presidente Vargas, 409 – 12º andar  
20071-003 – Rio de Janeiro/RJ  
**Atenção:**  
Egídio Schoenberger

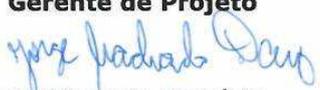
**Equipe de acompanhamento:**  
Jonatan Ross - Eletrobras  
Lilian Laubenbacher Sampaio - Eletrobras  
Marcelo Jaques Martins - Eletrobras

**Resumo:**  
Este relatório consiste no manual de metodologia do modelo OPCHENS versão 3.1.

**Autores:**  
Igor Pinheiro Raupp – Cepel  
Fernanda da Serra Costa – Cepel  
Jorge Machado Damázio – Cepel  
Priscilla Dafne Shu Chan - Cepel

**Palavras-Chave:**  
Controle de Cheias  
Operação semanal

**Classificação:** CONTROLADO

**Gerente de Projeto**  
  
**Nome:** Jorge Machado Damázio  
**Tel.:** (21)2598-6086    **Fax:** (21)2598-6482  
**E-mail:** damazio@cepel.br

**Chefe do Departamento de Otimização Energética e Meio Ambiente**  
  
**Nome:** Maria Elvira Piñeiro Maceira  
**Tel.:** (21)2598-6454    **Fax:** (21)2598-6482  
**E-mail:** elvira@cepel.br

**Aprovação**  
  
**Roberto Pereira Caldas**  
**Diretor de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação**  
12 / 12 / 16

# **Simulação da Operação Semanal de Controle de Cheias em Situação Normal**

## **OPCHENS**

**Versão 3.1**

### **MANUAL DE METODOLOGIA**

**Dezembro 2016**

---

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>2</b>
<b>2. O CONTROLE DE CHEIAS NO PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO.....</b>	<b>4</b>
2.1 METODOLOGIA DO MODELO OPCHENS.....	5
<b>3. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>12</b>

## **1. INTRODUÇÃO**

O planejamento da operação do Sistema Hidrotérmico Brasileiro tem como um de seus objetivos a coordenação cuidadosa da operação do sistema hidráulico de reservatórios do Setor Elétrico, de forma a evitar desperdícios, minimizando-se os riscos de geração térmica ou de déficits de suprimentos nos sistemas interligados. Essa coordenação inclui, durante a estação chuvosa, a utilização de parte da capacidade dos reservatórios como volumes de espera para a redução de danos causados por cheias de grande porte em áreas à jusante dos reservatórios.

A cada ano, a alocação de volumes de espera a ser utilizada tem como base os Estudos de Prevenção de Cheias, onde os riscos de geração térmica futura e de déficit de suprimento são calculados por simulações da operação dos sistemas interligados sob diferentes hipóteses de alocação de volumes de espera correspondentes a tempos de retorno de cheias selecionados.

A metodologia atualmente em uso nos Estudos de Prevenção de Cheias para a definição dos volumes de espera, descrita em detalhes em [1], [2] e [3], considera a incerteza hidrológica através do uso de conjuntos de séries sintéticas de aflúncias diárias ao sistema (programa DIANA). Além disso, ela adota as condições de controlabilidade (c.c.), onde o sistema de reservatórios analisado é decomposto em sistemas parciais (s.p.), representando-se cada sistema parcial por um reservatório equivalente, para o qual se calcula uma curva-guia superior para toda a estação chuvosa (curva de volume de espera), tomada como a envoltória das trajetórias do volume armazenado, críticas sob o ponto de vista do controle de cheias (programa CAEV). O problema da desagregação espacial das curvas de volumes de espera de reservatórios equivalentes em curvas individualizadas para cada reservatório do sistema é formulado como um problema linear estocástico com função objetivo refletindo os interesses da geração de energia elétrica (programa VESPOT).

Uma vez escolhida a alternativa de alocação de volumes de espera, passa-se à segunda etapa do planejamento da operação hidráulica, quando são elaboradas as diretrizes e instruções para a operação durante a ocorrência de cheias, considerando duas condições, a saber: operação normal e operação em emergência.

A operação em emergência pode ser caracterizada pela ocorrência de uma cheia com perspectiva de esgotamento dos volumes de espera dos reservatórios, sendo necessário providenciar descargas defluentes totais que superam as restrições à jusante dos

---

aproveitamentos, provocando danos. Outra situação possível é a perda de comunicações da usina com o Centro de Operação. Em ambas as situações, as regras de operação são definidas de forma a garantir a segurança da barragem, ficando em segundo plano a operação energética e a proteção das áreas à jusante.

Por outro lado, a operação normal é caracterizada pela ocorrência de uma cheia que permanece, ao longo de sua duração, sob controle do Centro de Operação, não havendo perspectiva de esgotamento dos volumes de espera dos reservatórios, nem a liberação de descargas defluentes que ultrapassem as restrições à jusante dos aproveitamentos. Nesse caso, as regras de têm como objetivo permitir a utilização dos volumes de espera da melhor forma possível sob o ponto de vista energético.

Tanto os volumes de espera adotados nos Estudos de Prevenção de Cheias, quanto as diretrizes e instruções para a operação durante a ocorrência de cheias devem ser considerados durante o planejamento de curto prazo e na programação diária. Com este objetivo, foram desenvolvidos os modelos OPCHEN [5] e OPCHENS [4] e [10] para dar apoio ao planejamento de curto prazo, e o modelo OPCHEND [6], [7], [8] e [9] para dar apoio à programação diária. Este relatório descreve a metodologia adotada no modelo OPCHENS, versão 3.1.

## 2. O CONTROLE DE CHEIAS NO PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO

Atualmente, os estudos energéticos do planejamento de curto prazo adotam os valores das curvas de volumes de espera, definidas nos Estudos de Prevenção de Cheias do ano corrente, como limites dinâmicos no armazenamento máximo de cada reservatório. A essas curvas de volumes de espera está associado um nível de proteção contra cheias, usualmente denominado “risco de cheias” e especificado pelas probabilidades de rompimento das restrições de defluências do sistema. Vez por outra, os estudos de simulação identificam que, com o relaxamento de alguns valores dessas curvas, seria possível obter algum ganho energético. Note que os limites de armazenamento em cada reservatório, definidos nos Estudos de Prevenção de Cheias, representam apenas um dos possíveis conjuntos de volumes de espera que atendem ao risco de cheias adotado naqueles estudos (especificamente o conjunto ótimo segundo o VESPOT), podendo existir ainda outra alternativa que atenda ao critério de proteção adotado. Nesse sentido, a revisão dos volumes de espera sugerida nos estudos energéticos é então testada no modelo ARISCO (Avaliação de Risco) contra às c.c. da semana em análise, para verificar se o ganho energético sugerido implica em um risco de cheias maior que o adotado nos Estudos de Prevenção de Cheias do ano corrente, podendo, portanto, ser aprovada ou não.

Quando a afluência natural ao sistema (ou à parte do sistema) superar o limite de defluência correspondente e os reservatórios envolvidos estiverem no limite dos volumes de espera e/ou quando os volumes de espera definidos nos Estudos de Prevenção de Cheias dos reservatórios envolvidos já estiverem em parte ocupados, pode não ser possível obter um ponto de operação que mantenha o risco de cheias adotado nos Estudos de Prevenção de Cheias. Nesta situação, é necessária a revisão dos volumes de espera. Os estudos energéticos são então refeitos sem considerar os limites de armazenamento máximo devido aos volumes de espera, e a programação de defluências resultante é utilizada como restrições de defluência mínima pelo modelo OPCHEN. O modelo OPCHEN planeja como se dará, na semana em análise, a ocupação (ou o esvaziamento) dos volumes de espera definidos nos Estudos de Prevenção de Cheias através da solução de um problema de programação linear, sujeito à situação hidrológica atual (volumes armazenados e afluências previstas para a semana) e ao atendimento, ao final da semana em análise, de um conjunto de envoltórias, ordenado de forma crescente pelo risco de cheias, sendo as primeiras envoltórias as correspondentes ao risco de cheias adotado nos Estudos de Prevenção de Cheias.

---

## **2.1 METODOLOGIA DO MODELO OPCHENS**

Com o objetivo de realizar estudos sobre as regras de operação semanal do controle de cheias em situação normal, o modelo OPCHEN foi adaptado para simular a operação semanal de controle de cheias considerando um conjunto de séries sintéticas, cada uma representando um possível período chuvoso, ou para simular apenas um período chuvoso histórico qualquer, sendo criado o modelo OPCHENS. O OPCHENS resolve um problema similar ao resolvido no OPCHEN para cada semana do período simulado, considerando como volumes vazios iniciais os volumes fornecidos pelo usuário na primeira semana, e nas semanas seguintes, os volumes vazios finais da solução da semana anterior e, para cada aproveitamento, uma defluência energética programada constante para todas as semanas do período simulado.

No modelo, a discretização temporal é semanal e o horizonte corresponde à estação chuvosa da bacia em estudo. O resultado da operação de controle de cheias para cada semana é sintetizado através das defluências programadas e dos níveis de armazenamentos atingidos, ao final de cada semana, nos aproveitamentos da bacia.

A regra básica para a operação de controle de cheias, a nível semanal consiste em:

- Se não estiver ocorrendo cheia, manter os volumes de espera vazios;
- Na ocorrência de cheia (vazão afluyente superior à vazão máxima que não causa dano à jusante, vazão de restrição), defluir a vazão de restrição, permitindo a ocupação dos volumes de espera; e
- Após a ocorrência da cheia (quando a vazão afluyente torna a ser inferior à vazão de restrição), operar de forma a retornar aos níveis dos volumes de espera.

Durante a ocupação/esvaziamento dos volumes de espera é interessante que:

- Sempre que possível, manter a operação de controle de cheias o mais próximo da operação puramente energética;
- Sempre que possível, utilizar os volumes de espera de forma balanceada na bacia, evitando-se assim o deplecionamento excessivo de alguns reservatórios; e
- Seja possível acompanhar a evolução do risco na bacia.

Para que seja possível, durante a ocupação/esvaziamento dos volumes de espera, acompanhar a evolução do risco na bacia em estudo, podem ser considerados até mais quatro conjuntos de

envoltórias, além do conjunto de envoltórias calculadas no Plano Anual de Prevenção de Cheias, associado ao grau de proteção de controle de cheia a ser fornecido à bacia através da alocação de volumes de espera. Os cinco conjuntos estão associados a riscos crescentes (tempos de retorno decrescentes), de forma que, à medida que os volumes de espera vão sendo ocupados/esvaziados seja possível avaliar o risco associado aos espaços vazios disponíveis na bacia.

A metodologia do OPCHENS é descrita a seguir:

Os aproveitamentos hidroelétricos de uma bacia hidrográfica podem ser agrupados em três categorias em relação a sua contribuição para o controle de cheias:

- Aproveitamentos que pertencem ao sistema de controle de cheias interdependente da bacia. Nesse caso, no cálculo dos volumes de espera, parte do volume útil destes aproveitamentos é alocada para este fim;
- Aproveitamentos que não pertencem ao sistema de controle de cheias da bacia. Estes aproveitamentos não foram considerados na etapa de cálculo dos volumes de espera dos estudos de prevenção de cheias; e
- Aproveitamentos de controle de cheias independente e localizados nas cabeceiras do sistema de controle de cheias. Nesse caso, o volume de espera alocado nesse tipo de reservatório é utilizado apenas para a proteção de sua restrição, não contribuindo para o controle de cheias interdependente da bacia.

Seja um sistema com  $R$  aproveitamentos hidroelétricos, tal que  $R = R^{CCI} \cup R^{Cab} \cup R^{SCC}$ , onde:  $R^{CCI}$  é o conjunto de aproveitamentos do sistema de controle de cheias interdependente;  $R^{Cab}$  é o conjunto de aproveitamentos de cabeceira com controle de cheias independente, ou seja, de sua própria restrição de jusante, e  $R^{SCC}$  é o conjunto de aproveitamentos do sistema que não fazem parte do controle de cheias interdependente e que não pertencem a  $R^{Cab}$ .

Sejam  $V_i$ ,  $i=1, \dots, R$  as capacidades dos reservatórios de cada aproveitamento;  $M_i$ ,  $i=1, \dots, R^{CCI} \cup R^{Cab}$ , os limites de defluências em cada aproveitamento que não causam danos à jusante;  $U$ , o conjunto de sistemas parciais [1] do sistema formado por  $R^{CCI}$ .

E conhecidos:

- os volumes vazios ao início da semana em estudo,  $e_i(t-1)$ ;

- as afluições incrementais previstas para a semana em estudo,  $q_i(t)$ ;
- as defluências energéticas programadas para a semana em estudo,  $m_i(t)$ ;
- os valores das envoltórias de cada sistema parcial  $u \in U$  correspondentes ao final da semana em estudo para cada conjunto  $k$  de envoltórias ( $k=1, \dots, 5$ ),  $ENV_u^k(t)$ ; e
- o valor da envoltória para cada aproveitamento de  $R^{Cab}$ .

Obtém-se :

- os volumes de espera de cada reservatório ao final da semana em estudo,  $e_i(t)$ , através da solução do seguinte problema de programação linear:

$$F = \text{Min} \left[ \sum_{t=1}^{nsem} \left[ \sum_{i \in R} C_1 r_i(t) + \sum_{f=1}^{NF} \sum_{i \in R^{CCI}} C_2^f \lambda_i^f(t) + \sum_{f=1}^{NF} \sum_{i \in R^{CCI}} C_3^f \theta_i^f(t) + \sum_{k=1}^K \sum_{u \in U} C_4^k \delta_u^k(t) + \sum_{f=1}^{NF} \sum_{i \in R^{SCC e CAB}} C_5^f \lambda_i^f(t) + \sum_{f=1}^{NF} \sum_{i \in R^{SCC e CAB}} C_6^f \theta_i^f(t) + \sum_{i \in R^{CCI}} C_8 p_i(t) + \sum_{i \in R^{Cab}} C_{10} \delta_{\{i\}}(t) + \sum_{i \in R^{Cab}} C_{11} p_i(t) \right] + \sum_{t=2}^{nsem} \left[ \sum_{i \in R^{CCI}_{t-d}} C_7 v_i(t) + \sum_{i \in R^{CCI}_{t-d}} C_7 v_i(t) + \sum_{i \in R^{Cab}_{t-d}} C_9 v_i(t) + \sum_{i \in R^{Cab}_{t-d}} C_9 v_i(t) \right] \right] \quad (1)$$

Sujeito a:

i. balanço hídrico de cada aproveitamento

$$e_i(t) + \sum_{j=1}^n c_{i,j} r_j(t) - r_i(t) = e_i(t-1) - q_i(t-1) \quad i \in R; \quad t = 1, \dots, nsem \quad (2)$$

$$V_i - V \text{ min final}_i \leq e(t)_i \leq V_i - V \text{ max final}_i \quad i \in R; \quad t = 1, \dots, nsem \quad (3)$$

ii. defluências mínimas (em geral, defluência energética) para cada aproveitamento

$$r_i(t) \geq m_i(t) \quad i \in R; \quad t = 1, \dots, nsem \quad (4)$$

iii. volume meta (volume alcançado com a operação energética) por aproveitamento

$$e_i(t) - \lambda_i^f(t) \leq fcima_i^f \quad \lambda_i^f(t) \geq 0 \quad f = 1, \dots, nf, \quad i \in R; \quad t = 1, \dots, nsem \quad (5a)$$

$$e_i(t) + \theta_i^f(t) \geq fbaixo_i^f \quad \theta_i^f(t) \geq 0; \quad i \in R; \quad f = 1, \dots, nf; \quad t = 1, \dots, nsem \quad (5b)$$

iv. volumes de espera dos sistemas parciais associados aos K conjuntos de envoltórias (cada qual associado a tempos de retorno diferentes) para cada sistema parcial u

$$-\sum_{i \in u} e_i(t) - \delta_u^k(t) \leq ENV_u^k(t) \quad , \delta_u^k(t) \geq 0 \quad \forall u \in U \quad k = 1, \dots, K; \quad i \in R^{CCI}; t = 1, \dots, nsem \quad (6a)$$

$$-e_i(t) - \delta_{(i)}(t) \leq -VE_{(i)}, \quad \delta_{(i)} \geq 0; \quad i \in R^{Cab}; \quad t = 1, \dots, nsem \quad (6b)$$

v. taxas de variação máxima de defluência semanal de cada aproveitamento

$$r_i(t) - r_i(t-1) + v_i(t) \leq \Delta_i, \quad v_i(t) \geq 0, \quad i \in R; \quad t = 1, \dots, nsem \quad (7a)$$

$$r_i(t-1) - r_i(t) + v_i(t) \leq \Delta_i, \quad v_i(t) \geq 0 \quad i \in R; \quad t = 1, \dots, nsem \quad (7b)$$

vi. defluências máximas dos aproveitamentos com ponto de controle de cheia à jusante (defluências acima das quais, danos poderão ser causados à jusante)

$$r_i(t) - p_i(t) \leq M_i \quad p_i(t) \geq 0 \quad i \in R^{CCI} \cup R^{Cab}; \quad t = 1, \dots, nsem \quad (8)$$

Onde:

$r_i(t)$  é a defluência do aproveitamento i na semana t;

$c_{j,i} = 1$ , se o aproveitamento j está imediatamente à montante do aproveitamento i;

$c_{j,i} = 0$ , se o aproveitamento j não está imediatamente à montante do aproveitamento i;

$\delta_u^k(t)$ 's são as folgas associadas às envoltórias que descrevem a ocupação dos volumes de espera do sistema parcial u, associada ao tempo de retorno k na semana t;

$p_i(t)$ 's são as folgas associadas a rompimentos das restrições de defluência do aproveitamento i na semana t;

$v_i(t)$  's são as folgas associadas a variações positivas de defluências acima do limite tolerado do aproveitamento  $i$  na semana  $t$ ;

$v_i(t)$  's são as folgas associadas a variações negativas de defluências acima do limite tolerado do aproveitamento  $i$  na semana  $t$ ;

$\lambda_i^f(t)$ 's são as folgas associadas à faixa  $f$  abaixo do nível programado para o final da semana  $t$  no aproveitamento  $i$  pelo planejamento energético sem controle de cheias;

$\theta_i^f(t)$ 's são as folgas associadas à faixa  $f$  acima do nível programado para o final da semana  $t$  no aproveitamento  $i$  pelo planejamento energético sem controle de cheias;

$VE_{\{i\}}$  's são os volumes de espera alocados nos aproveitamentos de cabeceira em todas as semanas;

$\delta_{\{i\}}(t)$ ,s são as folgas associadas aos volumes de espera nos aproveitamentos de cabeceira na semana  $t$ ;

$f_{\text{cima}}^f$  são os limites inferiores de armazenamento da faixa  $f$  acima do nível de armazenamento programado para o final da semana no aproveitamento  $i$  pelo planejamento energético sem controle de cheias. Essas faixas são obtidas dividindo-se a diferença entre o volume máximo do aproveitamento e o volume referente ao nível programado por  $nf$  (no OPCHENS, adota-se  $nf=5$ );  $f_{\text{baixo}}^f$  são os limites superiores de armazenamento da faixa  $f$  abaixo do nível de armazenamento programado para o final da semana no aproveitamento  $i$  pelo planejamento energético sem controle de cheias. Essas faixas são obtidas dividindo-se o volume referente ao nível programado por  $nf$ .

$V_{\text{maxfinal}}_i$  é o volume final máximo desejado para o aproveitamento  $i$  em todas as semanas;

$V_{\text{minfinal}}_i$  é o volume final mínimo desejado para o aproveitamento  $i$  em todas as semanas;

$\Delta_i$  são as variações máximas de defluência do aproveitamento  $i$  entre as semanas.

Se na solução do problema todas as folgas  $\delta_u^k(t)$ 's e  $p_i(t)$ 's são nulas, prevê-se que o sistema na semana  $t$  não estará em situação de cheia. Diz-se que o Estado da Operação de Controle de Cheias é nulo.

Se na solução do problema pelo menos uma das folgas  $\delta_u^k(t)$  é maior que zero e todas as folgas  $p_i(t)$ 's são nulas, prevê-se que o sistema deverá operar na semana  $t$  no modo de operação normal de cheias, sem ocorrência de emergências. O Estado da Operação de Controle de Cheias da semana  $t$  é não nulo e definido, para cada ponto de controle, pelo maior índice  $k$  de envoltória com folga maior que zero dentre os sistemas parciais correspondentes.

Se na solução do problema pelo menos uma das folgas  $p_i(t)$ 's é maior que zero, prevê-se que o sistema deverá operar na semana  $t$  no modo de operação de cheias com emergências relacionadas aos pontos de controle onde ocorreram  $p_i(t)$ 's maiores que zero. O Estado da Operação de Controle de Cheias é dado por  $K+1$ .

A função objetivo adotada, equação (1), penaliza as folgas das restrições (4) a (8) de forma diferenciada. Os valores das penalidades (C1 à C11) estão relacionados à ordem em que se aceita que as restrições sejam violadas em caso de não ser possível atender a todas as restrições do PPL sem que todas ou algumas variáveis de folga assumam valores diferentes de zero.

A ordem de violação das restrições está associada ao tipo de operação de controle de cheias que se espera num sistema de reservatórios formado pelos três tipos de aproveitamentos hidroelétricos descritos anteriormente.

A idéia básica é que os volumes de espera dos aproveitamentos de cabeceira, quando esses não fazem parte do controle de cheia integrado, só devem ser utilizados para o controle de suas taxas de variação de defluência e suas defluências máximas. Além disso, os níveis dos reservatórios definidos pela programação energética (refletida pela faixa de operação) dos aproveitamentos que não fazem parte do controle de cheia integrado da bacia e cabeceira com controle de cheia isolado, só devem ser alterados após a utilização dos volumes de espera dos aproveitamentos que fazem parte do controle de cheia integrado da bacia, caso contrário seus volumes deveriam ter sido considerados na etapa do cálculo dos volumes de espera nos estudos de prevenção de cheias. Dessa forma, a regra de operação em situação normal de cheia conduz a seguinte ordem de violação das restrições:

1. Defluência energética de todos os aproveitamentos ( $C_1$ );
2. Faixas de armazenamento de todos os aproveitamentos que pertencem a  $R^{CCI}$  (viola-se primeiro, se possível, as faixas associadas ao esvaziamento do aproveitamento) ( $C_2$  e  $C_3$ );

- 
3. Envoltórias dos sistemas parciais associadas aos aproveitamentos que pertencem a  $R^{CCI}$  ( $C_4$ );
  4. Faixas de armazenamento de todos os aproveitamentos que pertencem a  $R^{SCC}$  e  $R^{CAB}$  (viola-se primeiro, se possível, as faixas associadas ao esvaziamento do aproveitamento) ( $C_5$  e  $C_6$ );
  5. Taxas de variação de vazão dos aproveitamentos que pertencem a  $R^{CCI}$  e  $R^{SCC}$  ( $C_7$ );
  6. Defluência máxima dos aproveitamentos que pertencem a  $R^{CCI}$  ( $C_8$ );
  7. Taxas de variação de vazão dos aproveitamentos que pertencem a  $R^{CAB}$  ( $C_9$ );
  8. Envoltórias dos aproveitamentos que pertencem a  $R^{CAB}$  ( $C_{10}$ ); e
  9. Defluência máxima dos aproveitamentos que pertencem a  $R^{CAB}$  ( $C_{11}$ ).

### **3. REFERÊNCIAS**

[1] DAMÁZIO, J. M., MARIEN, J. L., PEREIRA, M. V. F., KELMAN, J. e COSTA, F.S, “Condições de Controlabilidade de Sistemas de Reservatórios para Controle de Cheias e seu uso na Operação de Sistemas com Múltiplos Usos”, Relatório Técnico CEPEL DPST-036/89, CEPEL, Rio de Janeiro, 1989.

[2] COSTA, F.S, DAMÁZIO, J. M e KELMAN, J., “Condições de Controlabilidade de Sistemas de Reservatórios para Controle de Cheias – CAEV”, Relatório Técnico CEPEL DPST-272/90, CEPEL, Rio de Janeiro, 1990.

[3] DAMÁZIO, J. M., COSTA, F.S e D’ANGELO A. G. , “Minimização do Impacto Energético da Alocação de Volumes de Espera em Sistemas de Reservatórios”, Relatório Técnico CEPEL DPP/TEC-245/94, CEPEL, Rio de Janeiro, 1994.

[4] COSTA, F.S., DAMÁZIO, J.M. “Regras de Operação de Controle de Cheias para o Planejamento de médio Prazo e para a Programação Diária – especificação Técnica”, Relatório Técnico CEPEL DPP/PEL 589/99, Rio de Janeiro, 1999.

[5] COSTA, F.S, DAMÁZIO, J. M., KYRILLOS, D.S. “Operação Semanal de Controle de Cheias em Situação Normal – Manual de Metodologia - Modelo OPCHEN 3.0”, Relatório Técnico CEPEL DP/DEA - 3051/08, Rio de Janeiro, 2008.

[6] COSTA, F.S., DAMÁZIO, J.M., KYRILLOS, D.S., “Regras de Operação Diária de Controle de Cheias em Situação Normal e Emergência - Modelo OPCHEND 5.2- Manual de Metodologia“, Relatório Técnico CEPEL DP/DEA 48359/05, 2005.

[7] COSTA, F.S., DAMÁZIO, J.M., KYRILLOS, D.S., et al, “Programação Diária de Defluência dos Aproveitamentos Hidroelétricos do Sistema Interligado Brasileiro Considerando o Controle de Cheias”, XVIII SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de energia Elétrica, Curitiba, PR, Outubro, 2005.

[8] COSTA, F.S., DAMÁZIO, J.M., KYRILLOS, D.S., “Redução do Tempo de Processamento do Modelo OPCHEND na Programação Diária de Defluências em Situação de Cheia no SIN”, XVI Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos, João Pessoa, PB, Novembro, 2005.

---

[9] KYRILLOS, D.S., “Otimização da Programação da Operação Diária em Situação Normal de Cheias e em Situação de Emergência em Reservatórios de Sistemas Hidroelétricos”, Tese de D.Sc., COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2006.

[10] COSTA, F.S., RAUPP, I.P., DAMAZIO, J.M. “Modelo de Simulação da Operação de Controle de Cheias em Sistemas Hidroelétricos – OPCHENS”, XII Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica, Rio de Janeiro, 2012.