

Comissão Permanente para Análise de  
Metodologias e Programas Computacionais do  
Setor Elétrico  
– CPAMP

Grupo de Trabalho “Questões Metodológicas  
Associadas aos Modelos Computacionais de  
Expansão e Operação”

## Relatório Técnico

*“Relatório de Validação do Programa SUISHI –  
Modelo de Simulação a Usinas Individualizadas  
de Sistemas Hidrotérmicos Interligados - Modo  
Simulação Hidrotérmica”*

Membros:

**MME**

**ANEEL**

**EPE**

**ONS**

**CCEE**

(Coordenação) **CEPEL**

Brasília, 03 de novembro de 2015

## Conteúdo

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>DESCRIÇÃO DO MODELO SUISHI</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>PROCESSO DE VALIDAÇÃO</b>	<b>10</b>
<b>3.1</b>	<b>VERSÃO 7.1</b>	<b>10</b>
<b>3.2</b>	<b>IMPLEMENTAÇÕES NA VERSÃO 7.3</b>	<b>12</b>
<b>3.3</b>	<b>VERSÃO 7.4</b>	<b>14</b>
<b>3.4</b>	<b>VERSÃO 7.8</b>	<b>15</b>
<b>3.5</b>	<b>VERSÃO 8.1.1</b>	<b>20</b>
<b>3.6</b>	<b>VERSÃO 8.2</b>	<b>21</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>32</b>
<b>5</b>	<b>RECOMENDAÇÕES</b>	<b>33</b>

# 1 Introdução

O modelo SUIISHI - Modelo de Simulação a Usinas Individualizadas para Subsistemas Hidrotérmicos Interligados, desenvolvido pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL, é um modelo de médio e longo prazo para a simulação da operação energética de sistemas hidrotérmicos interligados, que utiliza a representação das usinas hidrelétricas e térmicas de forma individualizada.

Devido às suas características, o modelo SUIISHI pode ter diversas aplicações em estudos de planejamento energético, principalmente nas situações em que se deseja representar a diversidade hidrológica das bacias hidrográficas e avaliar o comportamento de reservatórios e usinas hidrelétricas de forma individualizada. Para isso, em sua estrutura, o modelo apresenta os seguintes modos de simulação: *simulação hidrotérmica, simulação para cálculo da energia firme e simulação para cálculo da energia garantida a um risco pré-fixado*. À exceção do modo de cálculo de energia firme, o modelo considera a política de operação definida pelo modelo de planejamento da operação de médio e longo prazo, NEWAVE.

A Portaria MME nº681, de 30 de Dezembro de 2014, postergou a validade dos atuais valores de garantia física de energia das usinas hidrelétricas, despachadas centralizadamente no SIN, até 31 de Dezembro de 2015. Conforme mencionado na portaria, tal decisão foi subsidiada pelo conteúdo do relatório "Revisão Ordinária de Garantia Física de Energia das Usinas Hidrelétricas – UHEs", de 15 de Dezembro de 2014, o qual traz o seguinte texto entre as suas recomendações finais:

*"Sugere-se a utilização do modelo SUIISHI, como uma alternativa ao MSUI, principalmente devido aos avanços metodológicos que tal modelo permite e pelo fato do SUIISHI utilizar a mesma base de dados do NEWAVE, que é o modelo oficialmente utilizado para a determinação da carga crítica do sistema. Neste caso, a base de dados do NEWAVE é convertida para a base de dados do SUIISHI de forma automática, minimizando a chance de erros no preenchimento dos dados.*

*Tendo em vista o contínuo aprimoramento do modelo SUIISHI e os avanços metodológicos que podem ser alcançados com sua utilização, recomenda-se a homologação desse modelo, para fins do planejamento da expansão energética, no âmbito da CPAMP. Também é recomendada a realização de treinamentos sobre a metodologia e uso do modelo SUIISHI para os agentes do setor elétrico brasileiro."*

O modelo SUIISHI já foi objeto de duas validações prévias. Em novembro de 2003, com o objetivo de avaliar e validar as funcionalidades do modelo, foi instituída pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS a Força-Tarefa SUIISHI (FT-SUIISHI), que contou

com a participação de 27 empresas do setor elétrico brasileiro. Em Agosto de 2010, após a conclusão dos trabalhos da FT-SUIISHI, foi aprovada pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, por meio do Despacho ANEEL nº 2.518, de 27 de Agosto de 2010, a utilização da versão 7.0 nos estudos de planejamento da operação energética do sistema elétrico brasileiro. Em 17 de julho de 2015 foi concluído o relatório de validação do modo de energia firme do modelo SUIISHI versão 8.2.11, no âmbito da GT7/CPAMP, e em 05 de agosto foi aprovado pela CPAMP o uso deste modelo para estudos de planejamento da expansão que requerem cálculo de energia firme. Desde o fim do processo de validação do modo de simulação para cálculo de energia firme do modelo SUIISHI no âmbito do GT7/CPAMP, o CEPEL disponibilizou as versões 8.2.12 a 8.2.20, as quais contêm correções, aperfeiçoamentos metodológicos e novas funcionalidades em relação à versão 8.2.11.

Este relatório apresenta os principais resultados do processo de validação do modo de *simulação hidrotérmica* do modelo SUIISHI pelo Grupo de Trabalho “Questões Metodológicas Associadas aos Modelos Computacionais de Expansão e Operação – GT7” no âmbito da Comissão Permanente para Análise de Metodologias e Programas Computacionais do Setor Elétrico - CPAMP, de modo que esta comissão, instituída e coordenada pelo Ministério de Minas e Energia<sup>1</sup>, com a participação da ANEEL, EPE, ONS, CCEE e CEPEL, possa aprovar o uso da atual versão desse modelo nos processos de planejamento da expansão e da operação do sistema elétrico brasileiro.

---

<sup>1</sup> A CPAMP foi criada por meio da Portaria MME nº47, de 19 de Fevereiro de 2008, a partir da Resolução nº1, de 25 de Abril de 2007, do Conselho Nacional de Política Energética - CNPE.

## **2 Descrição do Modelo SUIISHI**

O modelo SUIISHI é um modelo de simulação a usinas individualizadas em sistemas hidrotérmicos interligados aplicado, principalmente, na realização de estudos de planejamento energético, permitindo a consideração tanto de simulações hidrotérmicas como de simulações para cálculo de energia firme.

No modo de simulação hidrotérmica, o modelo SUIISHI recebe a política de operação definida pelo modelo NEWAVE, representada pelas funções de custo futuro de cada mês, tendo como objetivo a individualização pelas usinas hidrelétricas das metas de geração obtidas para o reservatório equivalente. Neste modo, todos os dados de entrada do problema podem variar dinamicamente ao longo do tempo, permitindo-se analisar, por exemplo, o efeito do crescimento de mercado, os impactos de antecipação/atraso da entrada em operação de novas unidades geradoras, os impactos do enchimento de volume morto de reservatórios, além de fornecer estimativas de intercâmbios inter-regionais e de geração térmica e hidráulica a usinas individualizadas.

Ainda no modo de simulação hidrotérmica, pode-se considerar uma configuração estática do sistema. Considera-se o parque hidroelétrico fixo, procurando-se atender a um mercado de energia constante ou sazonal ao longo de cada uma das séries hidrológicas. Com exceção das vazões afluentes aos reservatórios, todos os demais dados de entrada do problema permanecem constantes (estáticos) ao longo do tempo.

O modo de simulação de energia firme tem como objetivo o cálculo da carga crítica de um sistema hidroelétrico estático e das energias firmes das usinas hidrelétricas que o compõem.

O modelo SUIISHI é estruturado da seguinte forma:

### **2.1 Programa Conversor de Dados**

Quase a totalidade dos dados de entrada para a elaboração de estudos com o modelo SUIISHI são provenientes de um caso do modelo NEWAVE. O programa CONVERTOR lê e converte os dados de entrada do modelo NEWAVE para o formato de leitura do modelo SUIISHI. Adicionalmente, o programa também inclui dados específicos necessários ao processamento do modelo SUIISHI, os quais não estão disponíveis no caso original do NEWAVE. São exemplos de dados adicionais o número de faixas operativas, dados relacionados à operação das bacias especiais, entre outros.

### **2.2 Interface Gráfica na Plataforma ENCAD**

Para tornar a visualização e a edição dos dados de entrada do modelo SUIISHI mais amigáveis para o usuário, a plataforma ENCAD é responsável por importar os arquivos de dados de entrada do modelo SUIISHI, previamente gerados pelo programa

CONVERSOR, e exibi-los em diferentes telas de acordo com a natureza do dado. Caso necessário, a edição dos dados de entrada do modelo SUIHI também se dá pelas próprias telas do ENCAD, assim como a escolha de diferentes opções de execução e a visualização dos resultados do modelo, seja por meio de tabelas, gráficos, ou relatórios texto. Alternativamente, a plataforma ENCAD também permite importar os dados de um caso SUIHI já processado, para a utilização em um novo estudo.

### **2.3 Módulo de Otimização do Balanço Hidrotérmico entre Subsistemas Equivalentes**

O processo de solução adotado pelo modelo SUIHI é dividido em duas etapas principais. A primeira etapa consiste na otimização do balanço hidrotérmico entre subsistemas equivalentes, o que, a rigor, equivale ao problema resolvido pelo modelo NEWAVE durante a simulação final da operação do sistema. Nesta etapa, o objetivo do modelo SUIHI é, com base na política de operação definida pelo modelo NEWAVE (contida na função de custo futuro de cada mês), definir metas de geração hidráulica a subsistemas equivalentes, metas de geração térmica, e intercâmbios de energia que minimizem a soma do custo presente com o custo futuro de operação ao longo de todo o horizonte de planejamento.

Já na segunda etapa, as metas de geração hidráulica, pré-determinadas a subsistemas equivalentes, alimentam o módulo de simulação a usinas individualizadas do modelo SUIHI. O objetivo desta etapa é alocar as metas de geração hidráulica de cada subsistema entre as usinas hidrelétricas através da aplicação de regras heurísticas operativas, procedimento este que é denominado de simulação da operação.

Ao final da etapa de simulação, três distintas situações podem ser observadas:

(i) o atendimento das metas de geração hidráulica provenientes da etapa de otimização do balanço hidrotérmico. Neste caso, o modelo passa para o próximo estágio do problema;

(ii) o não atendimento das metas de geração hidráulica ocasionado por um déficit na soma da geração hidráulica individualizada. Neste caso, o modelo SUIHI irá realimentar a etapa de otimização do balanço hidrotérmico entre subsistemas redefinindo a restrição de geração hidráulica máxima (GHMAX) em cada subsistema onde foi observado um déficit de geração, de tal forma que as metas de geração hidráulica a subsistema equivalente possam ser atendidas na segunda etapa do processo de solução;

(iii) o não atendimento das metas de geração hidráulica ocasionado por um excesso na soma da geração hidráulica individualizada. Neste caso, o modelo SUIHI irá realimentar a etapa de otimização do balanço hidrotérmico entre subsistemas

redefinindo a restrição de energia armazenada máxima (EARMAX) em cada subsistema onde foi observado um excesso de geração, de tal forma que as metas de geração hidráulica a subsistema equivalente possam ser atendidas na segunda etapa do processo de solução.

A Figura 1 apresenta um fluxograma simplificado do processo de solução do modelo SUIISHI. Este processo de solução é aplicado às simulações de configurações hidrotérmicas do sistema, os quais demandam o conhecimento de uma política de operação contida na função de custo futuro de cada mês.

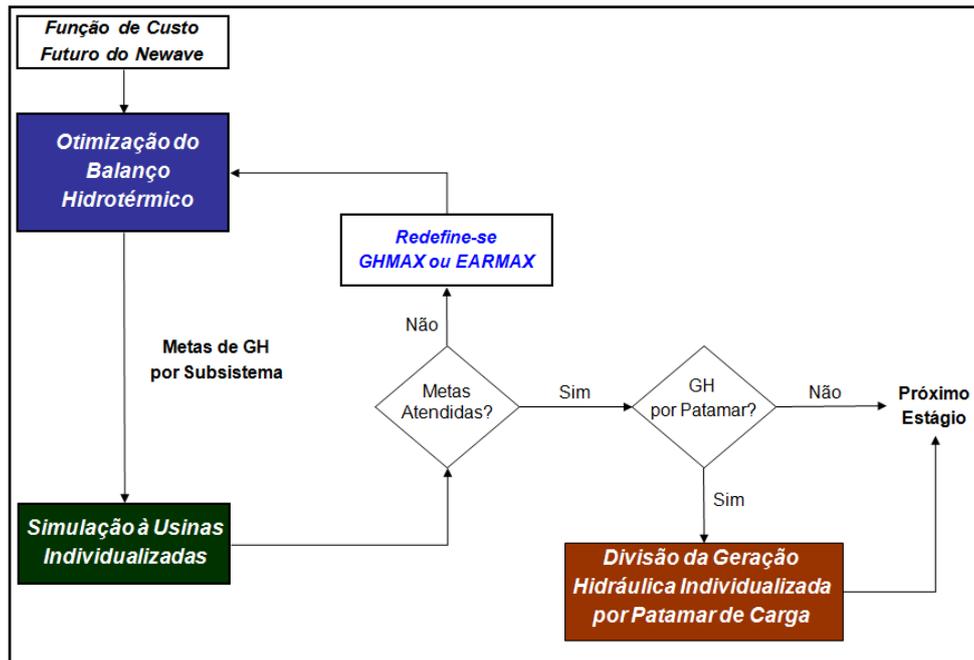


Figura 1- Fluxograma de funcionamento do modelo SUIISHI

## 2.4 Módulo de Simulação a Usinas Individualizadas

Dentre outros fatores, o processo de simulação da operação a usinas individualizadas do modelo SUIISHI é baseado principalmente em:

- (i) divisão dos reservatórios em faixas operativas;
- (ii) manutenção de todos os reservatórios do sistema, tanto quanto possível, dentro de uma mesma faixa operativa, e;
- (iii) estabelecimento de prioridades para o enchimento e o esvaziamento dos reservatórios que se encontram na mesma faixa operativa.

As prioridades citadas no item (iii) são baseadas nas produtibilidades acumuladas de cada usina hidroelétrica do subsistema, sendo que, as usinas com elevada produtividade acumulada possuem prioridade de esvaziamento frente às usinas com baixa produtividade acumulada. Por outro lado, as usinas com baixa produtividade

acumulada possuem prioridade de enchimento frente às usinas com alta produtividade acumulada.

Em resumo, o processo de simulação da operação do modelo SUIISHI segue dois critérios hierárquicos: primeiro procura-se equilibrar os volumes dos reservatórios em uma mesma faixa operativa, para, posteriormente, dentro de cada faixa, percorrer os reservatórios de acordo com a prioridade de enchimento/esvaziamento.

Cabe destacar que nas simulações para cálculo de energia firme, onde apenas o parque hidráulico é considerado, as simulações realizadas pelo modelo SUIISHI utilizam apenas o módulo de simulação a usinas individualizadas, sem que a mesma seja precedida pela execução do módulo de otimização do balanço hidrotérmico entre subsistemas.

## **2.5 Módulo de Divisão da Geração Hidráulica Individualizada por Patamar de Carga**

Cabe destacar que o módulo de otimização do modelo SUIISHI fornece resultados para até 3 patamares de carga, enquanto os resultados do módulo de simulação são obtidos em patamar de carga único. Por este motivo, é permitido ao usuário que, antes de passar para o próximo estágio do problema (vide Figura 1), as gerações hidráulicas individualizadas sejam divididas por patamar de carga. Neste caso, o problema resolvido pelo modelo SUIISHI será, para cada subsistema, o de minimizar a soma dos desvios quadráticos entre:

- ✓ a meta de geração hidráulica, decidida pelo módulo de otimização, para um determinado patamar de carga; e
- ✓ a soma da geração hidráulica individualizada, de todas as usinas do subsistema, no mesmo patamar de carga.

Tal como o descrito para o módulo de otimização, este processo é aplicado apenas às simulações de configurações hidrotérmicas do sistema.

Outras características do modelo SUIISHI são:

- pode simular até dez subsistemas hidrotérmicos eletricamente interligados em malha, mas hidraulicamente independentes, levando em conta limites nas capacidades de intercâmbio de energia nos dois sentidos;
- considera restrições operativas locais decorrentes do uso múltiplo da água, tais como, vazão máxima para controle de cheias, vazão mínima para saneamento ou navegação, desvio de vazão do rio para irrigação, além de operar bacias especiais como as dos rios Paraíba do Sul e Tietê;
- simula múltiplas séries hidrológicas em paralelo, permitindo a fácil obtenção de índices probabilísticos de desempenho do sistema para cada estágio da simulação;

- utiliza regras de operação automáticas ou fornecidas pelo usuário;
- apresenta baixo custo computacional viabilizando estudos de maior porte e mais ambiciosos (configurações grandes, longos horizontes de estudo, utilização de séries sintéticas de vazões, etc.).
- calcula o período crítico de um sistema puramente hidráulico, com as usinas consideradas em um único sistema;
- calcula a energia firme do sistema e a respectiva participação de cada usina, para um período crítico calculado ou informado pelo usuário;
- disponibiliza valores de potências disponíveis por aproveitamento, para utilização em balanço de ponta e estudos de confiabilidade.

### 3 Processo de Validação

O processo de validação do modo de *simulação hidrotérmica* do modelo SUIISHI no âmbito da CPAMP teve início durante o processo de validação do modo de *simulação para cálculo de energia firme*, e intensificou-se a partir do dia 25 de setembro de 2015, durante a 30ª reunião do GT7-CPAMP, sendo finalizado no dia 3 de novembro de 2015, durante a sua 33ª reunião. Em 05 de novembro de 2015 foi aprovado pela CPAMP o uso do modo de *simulação hidrotérmica* do modelo SUIISHI para estudos de planejamento da expansão e operação do sistema elétrico brasileiro.

O cronograma de trabalho incluiu a realização de quatro reuniões adicionais do grupo de trabalho (GT) (vide Tabela 1), além da elaboração e implementação de um caderno de testes, o qual funcionou como guia para o processo de validação.

Tabela 1 – Cronograma de Reuniões Adicionais do GT7-CPAMP Relativas ao Processo de Validação do Modelo SUIISHI – Modo de Simulação Hidrotérmica

<b>Data</b>	<b>Reunião</b>	<b>Instituições Participantes</b>
25/09/2015	30ª	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
05/10/2015	31ª	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
22/10/2015	32ª	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
03/11/2015	33ª	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL

A descrição de cada funcionalidade, a versão do modelo em que a mesma foi implementada, os testes realizados, e os resultados obtidos durante o processo de validação se encontram descritos a seguir:

#### 3.1 Versão 7.1

Teste 1 - Implementação do módulo de distribuição da geração hidráulica individualizada por patamar de carga utilizando a técnica de programação quadrática sequencial.

- Executar os casos teste no modo de simulação hidrotérmica, ativando o módulo de distribuição da geração hidráulica individualizada por patamar de carga, e avaliar a coerência dos resultados obtidos, tanto por subsistema quanto por usina

hidroelétrica, comparando-os com os valores médios obtidos pelo módulo de simulação a usinas individualizadas.

- Verificar o fechamento dos balanços hídrico e de Geração x Carga em cada patamar, o cálculo da potência para algumas usinas, sobretudo aquelas em que a Função de Produção (FPH) é mais não linear (ex. S. Antonio) e verificar se a distribuição de geração entre as usinas feita pelo PQS é coerente, ou seja, se o turbinamento é maior nas usinas menos suscetíveis à perda por elevação do canal de fuga.
- Executar os casos teste no modo de simulação hidrotérmica considerando e desconsiderando a distribuição da geração hidráulica individualizada durante o período pré, e verificar se a execução ocorreu conforme o esperado.
- Executar os casos teste e comparar os resultados obtidos considerando as duas diferentes abordagens para o agrupamento das usinas do sistema, ou seja, em subsistemas e em bacias.
- Avaliar o cálculo da potência disponível das usinas hidroelétricas em cada patamar de carga.
- Ativar o flag de distribuição da geração hidráulica individualizada por patamar, e verificar a sua correta consideração.
- Ativar o flag de "Resultados por Patamar para o Período Pré" e verificar a sua correta consideração.
- Ativar a opção de divisão do sistema em Bacias e verificar a sua correta consideração, assim como a correta importação do arquivo de associação usina x bacia.
- Verificar a abertura dos relatórios RELUS.REL, SUIHI.REL, USIHID.CSV, SUBSIS.CSV, USITER.CSV, GERTER.CSV pela interface gráfica.

Na versão 8.2.13 o processo de divisão da geração hidráulica individualizada por patamar de carga foi corrigido quando são utilizadas as regras especiais de operação das usinas da bacia do rio Paraíba do Sul.

Até a versão 8.2.15 a decisão de turbinamento da usina  $i$  em cada patamar  $p$  ( $QTUR_{p,i}$ ) respeitava limites inferior e superior iguais a zero e o engolimento máximo do conjunto turbina-gerador ( $q_{max,p,i}$ ), respectivamente. A partir da versão 8.2.16 o  $QTUR_{p,i}$  passou a ter como limite inferior a vazão mínima defluente da usina ( $q_{min_i}$ ).

O teste realizado consistiu nas seguintes verificações:

- Igualdade entre a vazão turbinada média (determinada pelo módulo de simulação) e a média ponderada pelos fatores de duração dos patamares da vazão turbinada em cada patamar (calculada pelo módulo PQS);

- Nível do canal de fuga e da altura de queda líquida;
- Potência gerada em cada patamar de carga;

O teste foi aplicado para um conjunto de usinas consideradas significativas pelas suas características e/ou do regime hidrológico ou de operação:

- FURNAS: variação do volume armazenado;
- COARACY NUNES: vertimento não influencia no canal de fuga;
- SANTO ANTONIO: função de produção muito côncava;
- BELO MONTE: forte sazonalidade;
- XINGÓ: fio d'água com restrição de vazão mínima muito alta.

As diferenças encontradas foram nulas ou não significativas em todos os cenários e meses no período de estudo para todas as usinas verificadas, exceto para XINGÓ, que apresentou diferenças mais significativas na estimativa do nível de jusante e da altura de queda, sobretudo nos cenários e períodos em que a vazão defluente (turbinada + vertida) ultrapassou  $6000\text{m}^3/\text{s}$ . Estas diferenças devem-se a uma característica do polinômio de jusante (“curva chave do canal de fuga”) que apresenta comportamento decrescente a partir de vazões superiores a aproximadamente  $6000\text{m}^3/\text{s}$ . Tal característica sinaliza que a partir deste valor há um ganho de produtividade energética com o aumento da defluência. O modelo SUIHI não permite este comportamento, impedindo que o nível de canal de fuga decaia com a vazão defluente.

**Conclusão:** De acordo com o Teste 1 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

### 3.2 Implementações na versão 7.3

Teste 3 - Correção da conversão dos casos NEWAVE em que um dos subsistemas não possui mercado de energia porém possui geração de pequenas usinas. Neste caso, a conversão do caso NEWAVE-SUIHI terminava com erro.

- Se necessário, adaptar os casos teste para que um dos subsistemas não possua mercado de energia, porém, possua geração de pequenas usinas. Converter o caso NEWAVE e verificar se a conversão foi concluída com sucesso e se os valores apresentados pelo ENCAD estão corretos.

O teste foi realizado utilizando-se o deck do PDE 2023-modificado, executado com a versão 8.2.15 do modelo SUIHI no modo de simulação hidrotérmica. Foram arbitrados valores de geração de pequenas usinas no subsistema de Belo Monte e a

conversão ocorreu de forma adequada devendo-se fazer alguns ajustes na legenda da interface. Tais ajustes foram implementados na versão 8.2.18.1.

**Conclusão:** De acordo com o teste 3 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

**Teste 4 - Correção da exibição dos valores de “profundidade do patamar de carga” e “profundidade do intercâmbio” nas telas do Encad. Estes valores não estavam sendo exibidos corretamente quando o deck de dados considerava um período pré ao horizonte de estudo.**

- Converter os casos teste que consideram período PRÉ, e verificar a exibição dos valores de “profundidade do patamar de carga” e “profundidade do intercâmbio” nas telas do Encad.
- Verificar se a exportação destes valores está sendo feita corretamente.

O teste foi realizado utilizando-se o deck de dados do caso PMO de maio de 2015 com a inclusão de período estático inicial, na versão 8.2.14 do modelo SUISHI. A conversão terminou sem erros na simulação para cálculo de energia firme. No entanto, para o modo de simulação hidrotérmico, apresentou erro de formato inválido na importação no arquivo EXPANSAO.DAT e o deck foi encaminhado para o CEPEL. A importação do arquivo após a conversão de casos NEWAVE com período estático inicial foi corrigido pelo CEPEL na versão 8.2.15. O teste foi realizado novamente pelo ONS na versão 8.2.15, confirmando a correção do problema de formato inválido.

**Conclusão:** De acordo com o teste 4 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

**Teste 5 - Correção da importação dos dados de cargas adicionais (C\_ADIC) quando dois blocos de registros são informados para um mesmo subsistema.**

- Se necessário, adaptar os casos teste para que, no arquivo C\_ADIC, dois blocos de registros sejam informados para um mesmo subsistema. Converter o caso NEWAVE e verificar se a conversão, importação, exibição e exportação do arquivo de cargas adicionais está sendo feita corretamente.

Os testes foram realizados com a versão 8.2.14 do modelo SUIISHI, utilizando-se o deck de dados do caso PMO de agosto de 2015, o qual foi executado no modo de simulação hidrotérmica.

**Conclusão:** De acordo com o Teste 5 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

### 3.3 Versão 7.4

**Teste 6 - Correção do cálculo da Energia Armazenada Máxima do Sistema, a qual apresentava problemas na consideração das usinas que haviam completado o enchimento do seu volume morto.**

- Executar os casos teste e verificar a variação da energia armazenada máxima do sistema no mês imediatamente após o enchimento do volume morto de uma determinada usina.

Os testes foram realizados com a versão 8.2.14 do modelo SUIISHI, utilizando-se o deck de dados do caso PMO de julho de 2015, o qual foi executado no modo de simulação hidrotérmica.

**Conclusão:** De acordo com o Teste 6 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

**Teste 7 – Correção da importação do arquivo de desvios d'água (DSVAGUA) quando casos SUIISHI já executados (com o módulo de simulação das usinas da bacia do Paraíba do Sul ativado) eram importados pelo ENCAD.**

- Executar os casos teste nos modos de simulação hidrotérmica, e para cálculo de energia firme, considerando as regras especiais de simulação das usinas do Paraíba do Sul. Importar os casos SUIISHI previamente executados e verificar se o arquivo de desvios d'água é corretamente importado, exibido e exportado pelo ENCAD.

O teste foi realizado utilizando-se o deck de dados do caso PMO de agosto de 2015, executado com a versão 8.2.14 do modelo SUIISHI no modo de simulação hidrotérmica. Considerando a opção de se utilizar o módulo de simulação das usinas do Paraíba do Sul ativado, após a importação do caso SUIISHI já executado, observou-se que os arquivos de desvio d'água foram importados de forma correta pelo ENCAD.

**Conclusão:** De acordo com o teste 7 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

### 3.4 Versão 7.8

#### **Teste 7A - Incorporação da modelagem de despacho antecipado das usinas térmicas à GNL.**

- Executar os casos teste com a consideração de UTEs a GNL e verificar a equação de atendimento à demanda nos meses  $t$  e  $t+k$ .
- Executar os casos teste com a consideração das UTEs a GNL com lag 0, com lag 1, e com lag 2. Comparar os resultados e verificar o despacho antecipado.
- Verificar a correta consideração da taxa de desconto no CVU da UTE a GNL.
- Verificar a correta exibição e a adequação dos dados descritos no menu Usinas Térmicas/GNL.
- Verificar a correta importação dos resultados dos arquivos USITER.CSV e GERTER.CSV, assim como a correta exibição das tabelas e gráficos associados.

O teste foi realizado utilizando-se o deck de PLD de Maio de 2015, na versão 8.2.18.1 do modelo SUIISHI. Verificou-se a inconsistência no despacho GNL, principalmente quanto ao despacho nos dois primeiros meses da simulação, no qual o despacho antecipado é definido como um dado de entrada, e o modelo SUIISHI não os reproduzia corretamente. Além disso, o arquivo GERTER.CSV, quando executado em ambiente Linux, não apresentava valores para os patamares 2 e 3. E ainda, mesmo quando a geração das usinas a GNL era nula, os custos de geração total para estas usinas apresentavam valores não nulos.

Ao se refazer o teste com a versão 8.2.19, verificou-se que o arquivo GERTER.CSV encontrava-se com o comportamento esperado. Ao realizar o teste com o deck de PLD de Julho de 2014, as usinas termelétricas com despacho antecipado GNL apresentaram os valores corretos para os dois primeiros meses do despacho, porém no deck de PLD de Maio de 2015 continuavam incorretos. E os custos de geração total para as usinas a GNL ainda apresentavam valores não nulos em situações de despacho nulo.

Tais inconsistências foram solucionadas com a versão 8.2.20, que produziu resultados de acordo com o esperado.

**Conclusão:** De acordo com o teste 7A esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

**Teste 8 – Compatibilização com versão 18 do modelo NEWAVE, o qual permite a consideração dos seguintes mecanismos de aversão ao risco para a construção da política de operação: Conditional Value at Risk (CVaR).**

- Executar os casos teste com CVaR considerando os seguintes parâmetros: a)  $\alpha=0$  e  $\lambda=0$ ; e b)  $\alpha=100$  e  $\lambda=0$ . Espera-se que os resultados, ambos sem aversão a risco, sejam iguais.
- Executar os casos teste com CVaR considerando os parâmetros a)  $\alpha=0$  e  $\lambda=0$ ; e b)  $\alpha=50$  e  $\lambda=25$  e avaliar os resultados.
- Converter os casos teste considerando os diferentes mecanismos de aversão ao risco, e verificar se a tela "Mecanismos de Aversão ao Risco" apresenta os dados corretamente.
- Verificar se a edição dos dados referentes os mecanismos de aversão ao risco está "travada" pelo ENCAD.

O teste foi realizado utilizando-se o deck de dados do caso PMO de agosto de 2015, executado com a versão 8.2.16 para os dois primeiros itens apresentados anteriormente e a versão 8.2.14 para os itens seguintes. Foi utilizado o modo de simulação hidrotérmica.

De acordo com a versão 8.2.14, os resultados estão corretos para os diferentes mecanismos de aversão ao risco CVaR, CAR e SAR. Além disso, conforme o esperado, os parâmetros de aversão ao risco não podem ser modificados pelo usuário no modelo SUISHI, e só podem ser alterados no caso NEWAVE original.

**Conclusão:** De acordo com o Teste 8 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

**Teste 9 - Aperfeiçoamento do processo de simulação à usinas individualizadas, o qual passa a liberar o vertimento de todas as usinas hidroelétricas do sistema apenas se, na solução do problema de otimização do balanço hidrotérmico, for determinado o corte de carga em algum subsistema.**

- Executar os casos teste no modo de simulação hidrotérmica e acompanhar a operação do sistema pelo relatório SUISHI.REL ao longo das iterações de um

determinado mês do horizonte. Verificar se o vertimento das usinas para o atendimento à meta de geração hidráulica é liberado, no módulo de simulação, apenas quando houver corte de carga sinalizado pelo módulo de otimização do balanço hidrotérmico.

- Comparação Geral dos Resultados dos Modelos NEWAVE e SUIISHI: o teste deve ser realizado por meio da comparação das distribuições de probabilidade acumulada das seguintes variáveis: energia armazenada, vertimento, geração hidráulica, CMO e déficit. Em versões anteriores identificou-se que o SUIISHI apresentava valores de GHTOT superiores aos do NEWAVE nos últimos quantis da distribuição acumulada. Deve-se verificar o motivo deste resultado, em especial o excesso de geração que não foi possível ser armazenado pelo simulador.
- Análise de Déficits: deve-se verificar se o SUIISHI é capaz de operar o sistema sem incorrer em déficits desnecessários. Sugere-se identificar uma série hidrológica específica em que houve déficit de geração, e em seguida verificar nos relatórios de saída se todos os recursos disponíveis realmente foram utilizados.
- Comparar os resultados da versão 8.0 com os da versão 7.8.1 e avaliar os resultados.
- Executar os casos teste no modo de cálculo de energia firme e verificar se os resultados são iguais.

Os testes foram realizados com a versão 8.2.16 do modelo SUIISHI, utilizando-se o deck de dados do caso base para o LEN A-3 de 2015, modificado para três patamares e sazonalidade de carga, o qual foi executado no modo de simulação hidrotérmica. Nesta versão, verificou-se o aperfeiçoamento nas redefinições de restrições de geração hidráulica máxima, tendo como objetivo melhorar a qualidade da solução final encontrada, em termos de redução de déficits e alocação de vertimentos. A versão 8.2.18.1 apresentou um novo aperfeiçoamento desse processo visando situações em que o sistema se encontra com baixos níveis de armazenamento e hidrologia crítica. Com este aperfeiçoamento foi observada a ocorrência de déficits apenas em períodos onde não havia mais recursos disponíveis.

**Conclusão:** De acordo com o Teste 9 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

**Teste 10** - Correção da meta de geração hidráulica a subsistemas equivalentes, definida pelo módulo de otimização, e individualizada pelo módulo de simulação, a qual passa a descontar a Energia de Desvio em usinas a Fio d'água.

- Executar os casos teste no modo de simulação hidrotérmica e verificar se a meta de geração hidráulica que está sendo passada para o módulo de simulação a usinas individualizadas equivale à meta de geração hidráulica total, definida a subsistemas equivalentes, descontada da Energia de Desvio em usinas a Fio d'água.

Os testes foram realizados com a versão 8.2.14 do modelo SUISHI, utilizando-se o deck de dados do caso PDE 2023 - modificado, o qual foi executado no modo de simulação hidrotérmica. Nesta versão do modelo, os resultados confirmam que a meta de geração hidráulica informado ao módulo de simulação equivale à geração hidráulica total definida no módulo de otimização, excluindo-se a energia de desvio em usinas a fio d'água.

**Conclusão:** De acordo com o Teste 10 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

**Teste 11** - Atualização do engolimento máximo das usinas hidroelétricas durante a definição das prioridades de enchimento e esvaziamento dos reservatórios no processo de simulação a usinas individualizadas.

- Executar os casos teste no modo de simulação hidrotérmica e para cálculo de energia firme, e verificar se há a ocorrência de vertimentos que não podem ser justificados pela não capacidade de armazenamento do reservatório, ou para que alguma usina a jusante possa ser levada a turbinar o seu máximo, contribuindo assim para a redução/eliminação de um déficit.

Os testes foram realizados com a versão 8.2.18.1 do modelo SUISHI, utilizando-se o deck de dados do caso de PLD de dezembro de 2014, o qual foi executado no modo de simulação hidrotérmica. Os testes referentes a essa funcionalidade foram concluídos de acordo com o esperado.

**Conclusão:** De acordo com o Teste 11 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

**Teste 12 - Aumento do número máximo de séries históricas de vazões simuladas. Este limite passou para 100 séries históricas.**

- Alterar e executar os casos teste considerando 100 séries históricas, verificando a sua correta conversão, exibição dos dados nas telas do ENCAD, e completa conclusão da execução.
- Verificar a correta importação/exibição dos resultados de energia vertida por subsistema pelo ENCAD.

Os testes foram realizados com a versão 8.2.16 do modelo SUISHI, utilizando-se o deck de dados do caso de PLD de dezembro de 2014 estendendo-se o histórico de vazões até 2030, o qual foi executado no modo de simulação hidrotérmica. Considerando o início de estudo em dezembro de 2031 a execução foi concluída corretamente. Ao utilizar dezembro de 2014 como data de início de estudo, a execução é concluída no ambiente Windows, mas em Linux a execução foi interrompida. Na versão 8.2.18.1 esse problema foi corrigido.

**Conclusão:** De acordo com o Teste 12 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

**Teste 13 - Cálculo e impressão da potência disponível por subsistema.**

- Com base nos relatórios a usinas individualizadas, verificar o cálculo da potência disponível agregada para um determinado subsistema.
- Verificar a correta importação/exibição dos resultados de potência disponível por subsistema pelo ENCAD.

O teste foi realizado utilizando-se o deck de dados do caso PMO de fevereiro de 2015, executado com a versão 8.2.14 do modelo SUISHI no modo de simulação hidrotérmica.

**Conclusão:** De acordo com o Teste 13 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

**Teste 14** – A opção pela realização do “Controle de Cheias” passa a ser feita automaticamente pelo programa Conversor sempre que a usina hidroelétrica possuir restrição de volume máximo operativo (VMAXT).

- Converter os casos teste que possuam UHEs com restrição de VMAXT, e verificar se o flag de “Controle de Cheias” foi ativado automaticamente.

O teste foi realizado utilizando-se o deck de dados do caso PEN 2015 e PMO de agosto de 2015, executado com a versão 8.2.14 do modelo SUISHI no modo de simulação hidrotérmica.

**Conclusão:** De acordo com o Teste 14 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

**Teste 15** - Correção da visualização dos dados da tela “Visualização do Agrupamento de Intercâmbio” na interface gráfica do modelo SUISHI.

- Converter os casos teste e verificar a correta visualização dos dados descritos na tela “Visualização do Agrupamento de Interligações” na interface gráfica do modelo SUISHI. Analisar a consistência dos dados com os informados no arquivo AGRINT.

O teste foi realizado utilizando-se o deck de dados do caso PMO de julho de 2015, executado com a versão 8.2.14 do modelo SUISHI no modo de simulação hidrotérmica.

**Conclusão:** De acordo com o Teste 15 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

### **3.5 Versão 8.1.1**

**Teste 16** - Consideração da vazão mínima variável (VAZMINT) ao longo do horizonte de planejamento considerado.

- Executar os casos teste e verificar, no relatório SUISHI.REL, a correta consideração do QMIN.
- Converter os casos teste e verificar, na tela de expansão, a correta alteração da vazão mínima das usinas que possuem restrições de VAZMINT.

Os testes foram realizados com a versão 8.2.16 do modelo SUIISHI, utilizando-se o deck de dados do caso base para o LEN A-3 de 2015 – modificado com três patamares e sazonalidade da carga, o qual foi executado no modo de simulação hidrotérmica. Nesta versão do modelo, verificou-se que o programa considera a vazão mínima sazonal ao longo do horizonte de planejamento.

**Conclusão:** De acordo com o Teste 16 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

### **3.6 Versão 8.2**

**Teste 17 - Inclusão da possibilidade de se desconsiderar a vazão vertida por uma UHE no cálculo da respectiva cota do canal de fuga.**

- Executar os casos teste e verificar a correta consideração/desconsideração da vazão vertida no cálculo da cota do canal de fuga da usina.
- Tanto para simulações hidrotérmica quanto para cálculo de energia firme, verificar o correto funcionamento do check box "Desconsiderar o Vertimento no Cálculo da Cota do Canal de Fuga".

Os testes foram realizados com a versão 8.2.13 do modelo SUIISHI, utilizando-se o deck de dados do caso base para o LEN A-3 de 2015 – modificado com três patamares e sazonalidade da carga, o qual foi executado no modo de simulação hidrotérmica. O teste realizado avaliou o campo “Influência do Vertimento do Canal de Fuga” lido diretamente do HIDR. Nos resultados para a UHE Coaracy Nunes, validou-se a implementação na versão 8.2.13 do SUIISHI para simulação hidrotérmica.

**Conclusão:** De acordo com o Teste 17 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

**Teste 18 - Possibilidade de se considerar o deplecionamento do reservatório de usinas fio d'água para o atendimento da sua restrição de defluência mínima, em particular para a usina de Belo Monte. A critério do usuário, esta funcionalidade poderá ser empregada para qualquer usina fio d'água da configuração.**

- Executar os casos testes com e sem a funcionalidade ativa e avaliar se o comportamento da operação da(s) usina(s) se comporta dentro do esperado.
- Tanto para simulações hidrotérmicas quanto para o cálculo de energia firme, converter os casos teste e verificar o correto funcionamento do check box "Uso do Reservatório Fio d'água para Atendimento à Vazão Mínima".

O teste foi realizado utilizando-se o deck de dados do caso base para o LEN A-3 de 2015 – modificado com três patamares e sazonalidade da carga, executado com a versão 8.2.13 do modelo SUIHI no modo de simulação hidrotérmica. Alguns ajustes foram realizados no caso SUIHI para a UHE Belo Monte, como: a substituição do posto natural (288) pelo artificial (292); a ativação dos flags “Uso do reservatório a fio d’água para atendimento à vazão mínima” e “Considerar que esta usina compartilha o seu reservatório” (com Belo Monte Complementar); e a alteração dos valores de desvios d’água a fim de considerar apenas os usos consuntivos. Como resultado validou-se a implementação na versão 8.2.13 do SUIHI para modo de simulação hidrotérmica.

**Conclusão:** De acordo com o Teste 18 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

**Teste 19 - Possibilidade de se considerar um posto intermediário cuja vazão, por exemplo, influencia na determinação da cota do canal de fuga de Belo Monte. A critério do usuário, esta funcionalidade poderá ser empregada para qualquer usina da configuração.**

- Nas simulações no modo de simulação hidrotérmica e para cálculo de energia firme, considerar para determinadas usinas a contribuição de postos intermediários, cujas vazões não podem ser turbinadas mas reduzem a altura de queda da usina. Verificar a consistência dos resultados quando comparados ao caso onde tais postos não são considerados, em particular para a usina de Belo Monte. Verificar se as vazões afluentes a jusante das usinas são corretamente acrescidas das vazões dos postos intermediários.
- Nas simulações hidrotérmica e para cálculo de energia firme, considerar a contribuição de postos intermediários a determinadas usinas, verificando o correto funcionamento da tela "Postos Intermediários".

O teste foi realizado utilizando-se o deck de dados do caso base para o LEN A-3 de 2015 – modificado com três patamares e sazonalidade da carga, executado com a

versão 8.2.13 do modelo SUIISHI no modo de simulação hidrotérmica. Alguns ajustes foram realizados no caso SUIISHI para a UHE Belo Monte, sendo estes o preenchimento da flag do posto intermediário 293. Neste teste comparou-se os resultados da operação, mês a mês para o canal de fuga, com os obtidos no modo de simulação para cálculo de energia firme, validado anteriormente.

**Conclusão:** De acordo com o Teste 19 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

**Teste 20 - Possibilidade de se considerar a Curva Guia de Operação da usina de Jirau em todos os módulos de simulação do modelo SUIISHI.**

- Executar os casos teste nos modos de cálculo de energia firme e simulação hidrotérmica e verificar a consistência dos resultados da operação da usina de Jirau com e sem a consideração da curva guia.
- Após a conversão dos casos para a execução de simulações hidrotérmica e para cálculo de energia firme, ativar a opção pela utilização da curva guia de operação de Jirau e verificar a importação do arquivo CGUIAOP;
- No Menu Curva Guia de Operação de Jirau, editar os valores existentes e verificar a escrita adequada dos novos valores no arquivo CGUIAOP.

O teste foi realizado utilizando-se o deck de dados do caso base para o LEN A-3 de 2015 – modificado com três patamares e sazonalidade da carga, executado com a versão 8.2.13 do modelo SUIISHI no modo de simulação hidrotérmica. Os resultados foram obtidos conforme o esperado.

**Conclusão:** De acordo com o Teste 20 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

**Teste 21 - Adaptações do módulo de simulação das regras especiais de operação das usinas da bacia do Paraíba do Sul segundo a resolução ANA nº 211, de 26 de Maio de 2003.**

- Executar os casos teste nos modos de cálculo de energia firme e simulação hidrotérmica e verificar se a operação das usinas da bacia do Paraíba do Sul obedecem às regras especiais definidas na resolução ANA nº 211, de 26 de Maio de 2003.

- Verificar a adequação dos relatórios SHP.REL e SUISHI-O.REL no que tange a operação das usinas do Paraíba do Sul.
- Avaliação da operação do Paraíba do Sul nas seguintes situações:
  - Sistema Paraíba do Sul (todos os reservatórios em 100%) + Lajes (em 100%), processar o estudo com séries secas e úmidas;
  - Sistema Paraíba do Sul (todos os reservatórios em 20%) + Lajes (em 20%), processar o estudo com séries secas e úmidas;
  - Sistema Paraíba do Sul (todos os reservatórios em 100%) + Lajes (em 20%), processar o estudo com séries secas e úmidas;
  - Sistema Paraíba do Sul (todos os reservatórios em 20%) + Lajes (em 100%), processar o estudo com séries secas e úmidas.
- Verificar o correto funcionamento do Flag que ativa a consideração das regras especiais para a operação das usinas do Paraíba do Sul;
- Verificar a edição dos dados de entrada referentes às usinas do Paraíba do Sul no menu Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, e a sua correta consideração no arquivo SHP.DAT.

O teste foi realizado utilizando-se o deck de dados do caso PMO de agosto de 2015, executado com as versões 8.2.12, 8.2.13, 8.2.14, 8.2.15, 8.2.16 e 8.2.18.1 do modelo SUISHI no modo de simulação hidrotérmica.

Na versão 8.2.12 a determinação da altura de queda de Fontes A e BC passou a considerar a cota de montante do reservatório de Lajes com base no volume médio do mês. Na versão 8.2.13 a altura de queda de fontes BC passou a ser calculada com base na média ponderada das alturas de queda líquida de Lajes e de Vigário, pela respectiva afluência proveniente de cada reservatório.

Também foi verificada a necessidade de aperfeiçoamento na escrita do relatório de saída SHP.REL e de ajustes nas telas específicas do Paraíba do Sul que se referem ao reservatório de Lajes nas simulações hidrotérmicas, que foram implementadas na versão 8.2.16. Na versão 8.2.18.1 o CEPEL realizou a correção da soma da potência disponível quando se considera as regras especiais de operação das usinas da bacia do Paraíba do Sul. Além disso, foi incluído no arquivo SHP.REL uma mensagem explicativa para interrupção de execução quando não é possível atender a curva de controle de cheias do reservatório de Lajes.

**Conclusão:** De acordo com o Teste 21 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

## **Teste 22 - Análise de desempenho das diferentes abordagens associadas ao uso das faixas operativas estáticas e dinâmicas.**

- Nas análises de simulação hidrotérmica, comparar os parâmetros do sistema, tal como energia armazenada, custo de operação, etc, considerando a utilização das faixas operativas estáticas e dinâmicas.
- Verificar o correto funcionamento do Flag que ativa a consideração das faixas operativas dinâmicas.

O teste foi realizado utilizando-se o deck de dados do caso PMO de agosto de 2015, executado com a versão 8.2.14 do modelo SUIHI no modo de simulação hidrotérmica.

**Conclusão:** De acordo com o Teste 22 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

## **Teste 23 - Implementação do cálculo da Potência Disponível Revisada em substituição da Potência Disponível Real.**

- Executar os casos teste no modo de simulação hidrotérmica e comparar o PDISP tradicional com o revisado para os diferentes subsistemas, assim como para determinadas usinas. Espera-se que a abordagem revisada seja sempre igual ou inferior à tradicional.
- Realizar a mesma análise anterior, porém considerando a divisão da geração hidráulica individualizada por patamar de carga.
- Verificar a correta importação dos arquivos USIHID.CSV e SUBSIS.CSV, assim como a exibição do PDISP Revisado nos gráficos e tabelas.

Na versão 8.2.12, verificou-se que a potência disponível revisada não estava sendo calculada corretamente para as usinas simuladas segundo as regras especiais de operação da bacia do rio Paraíba do Sul. Tal problema foi corrigido na versão 8.2.13, sendo que neste caso considera-se a potência disponível revisada das usinas de Nilo Peçanha, Fontes A e Fontes BC igual às suas respectivas potências disponíveis tradicionais.

O teste foi realizado utilizando-se o deck de PLD de setembro de 2015, executado com a versão 8.2.16 do modelo SUIHI no modo de simulação hidrotérmica.

**Conclusão:** De acordo com o Teste 23 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

**Teste 24 - Implementação do processamento paralelo para o modo de simulação hidrotérmica.**

- Comparar os resultados dos casos teste na versão WINDOWS e LINUX considerando o modo de simulação hidrotérmica considerando séries históricas de vazões.
- Repetir o teste anterior considerando séries sintéticas de vazões.
- Executar os casos teste com a ativação da divisão da geração hidráulica individualizada por patamar de carga, e, para séries específicas, comparar os resultados com a versão WINDOWS.
- Executar os casos teste com diferentes números de processadores e verificar se não há alteração de resultados.
- Executar os casos teste no modo de cálculo de energia firme e verificar a impossibilidade de execução com mais de um processador. Comparar os resultados obtidos com a versão WINDOWS.
- Verificar se a importação dos resultados gerados pela versão LINUX está sendo feita corretamente pelo ENCAD.

O teste foi realizado utilizando-se o deck de dados do caso PMO de agosto de 2015 e caso base para o LEN A-3 de 2015 com 3 patamares e sazonalidade de carga, executados com a versão 8.2.15 do modelo SUISHI no modo de simulação hidrotérmica.

**Conclusão:** De acordo com o Teste 24 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP para séries históricas de vazões.

**Teste 25 - Correção da exportação do arquivo DSVAGUA quando estes valores eram alterados na interface gráfica do modelo SUISHI. Na versão 8.1.1 os valores alterados não estavam sendo escritos corretamente.**

- Tanto para modo de simulações hidrotérmicas quanto para cálculo de energia firme, converter os casos teste NEWAVE, alterar os valores de desvio d'água para

algumas usinas, gerar os arquivos de entrada para a execução do modelo SUIHI, e verificar a adequação do arquivo de desvio d'água às modificações realizadas.

O teste foi realizado utilizando-se o deck de PLD de maio de 2015, executado com a versão 8.2.16 do modelo SUIHI no modo de simulação hidrotérmica.

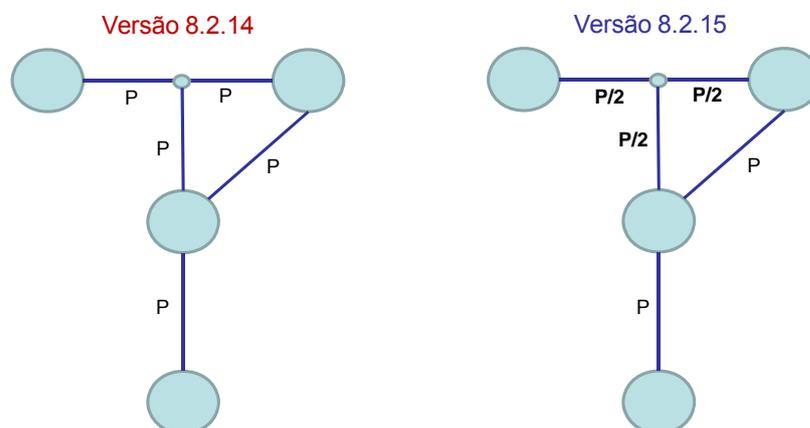
**Conclusão:** De acordo com o Teste 25 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

Os testes 26 a 32, apresentados a seguir, avaliam a compatibilidade entre os modelos SUIHI e NEWAVE. O CEPEL na versão 8.2.15 do modelo SUIHI realizou a compatibilização do módulo de otimização do modelo SUIHI com o modelo NEWAVE com relação ao atendimento da vazão mínima, atendimento da meta de desvio fio e atendimento da meta de desvio controlável. Desta forma, essas restrições que não eram representadas explicitamente na versão 8.2.14, passam a ser representadas como restrições adicionais.

### **Teste 26 - Equalização da penalidade de intercâmbio.**

- Avaliar a compatibilidade entre os modelos SUIHI e NEWAVE

O teste foi realizado na versão 8.2.14, verificando-se que a consideração da penalidade de intercâmbio no modelo SUIHI não estava compatível com a do modelo NEWAVE. Na versão 8.2.15 do modelo SUIHI, a consideração da penalidade de intercâmbio (P) foi equalizada com a do modelo NEWAVE, tal como mostrado a seguir:



**Conclusão:** De acordo com o Teste 26 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

**Teste 27** - Inclusão da possibilidade de informar dois valores diferentes de penalidade associados à restrição de vazão mínima obrigatória.

- Avaliar a compatibilidade entre os modelos SUIISHI e NEWAVE.

O teste foi realizado utilizando-se o deck de dados do PDE 2023-modificado, executado com a versão 8.2.15 do modelo SUIISHI no modo de simulação hidrotérmica.

Nesta versão do modelo SUIISHI a funcionalidade não estava visível ao usuário.

Apesar de o modelo NEWAVE estar preparado para a consideração de dois valores de penalidade associado à restrição de vazão mínima, apenas um valor tem sido usado nos estudos energéticos oficiais. Neste sentido, o modelo SUIISHI, considera apenas a penalidade associada a restrição de vazão mínima em um patamar. A partir da versão 8.2.16 esta penalidade passou a ficar visível ao usuário.

**Conclusão:** De acordo com o Teste 27 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

**Teste 28** – Consideração explícita das perdas energéticas por desvio de água não controlável no problema de otimização.

- Avaliar a compatibilidade entre os modelos SUIISHI e NEWAVE.

O teste foi realizado utilizando-se o deck de dados do caso PEN 2015, executado com a versão 8.2.14 do modelo SUIISHI no modo de simulação hidrotérmica, avaliando uma série favorável e outra desfavorável em abril de 2019. Os resultados indicaram a necessidade de alguns ajustes.

Desta forma, o CEPEL realizou na versão 8.2.16 alterações nos relatórios SUIISHI.REL, SUBSIS.CSV e USIHID.CSV para atender a necessidade de alterar o relatório de saída com a inclusão da energia fio d'água bruta e a dificuldade de reproduzir cálculos dos demais subsistemas.

Na versão 8.2.16 foi verificada ainda a ocorrência de excessos de geração hidráulica indevidos no subsistema de Belo Monte. Na versão 8.2.18.1 o CEPEL realizou os ajustes necessários.

**Conclusão:** De acordo com o Teste 28 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP

**Teste 31 - Representação da energia de submotorização:**

- Avaliar a compatibilidade entre os modelos SUISHI e NEWAVE.

O CEPEL realizou na versão 8.2.15 a correção do tratamento da submotorização no módulo de otimização do balanço hidrotérmico do modelo SUISHI. Nesta versão, a energia de submotorização é calculada à priori da solução do problema de otimização do balanço hidrotérmico, cujo valor é abatido do mercado na restrição de atendimento a demanda, e adicionado à meta de geração hidráulica fornecida ao módulo de simulação de usinas individualizadas.

O teste foi realizado utilizando-se o deck PEN de maio de 2015, executado com a versão 8.2.15 do modelo SUISHI, no modo de simulação hidrotérmica.

**Conclusão:** De acordo com o Teste 31 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

**Teste 32 - Ajuste no cálculo da geração hidráulica máxima, para usinas a fio d'água existentes em expansão:**

- Avaliar a compatibilidade entre os modelos SUISHI e NEWAVE.

O teste foi realizado utilizando-se o deck de dados PLD de dezembro de 2014 executado nas versões 19 e 20 do NEWAVE, e executado na versão 8.2.16 do modelo SUISHI, no modo de simulação hidrotérmica. Foram comparados os valores de geração hidráulica máxima para os resultados de cada modelo, nos quais ficou evidente que o erro que ocorria na versão 19 do modelo NEWAVE não estava presente na versão 8.2.16 do SUISHI, cujos resultados mostraram-se compatíveis com os resultados da versão 20 do modelo NEWAVE.

**Conclusão:** De acordo com o Teste 32 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

**Teste 33 - Comparação entre os modelos NEWAVE e SUIHI para casos que consideram subsistema único.**

- Comparar as distribuições de probabilidade acumuladas das variáveis energia armazenada, vertimento, geração hidráulica, CMO e déficit. Espera-se que, comparado ao caso cuja configuração possui mais de um subsistema, os resultados obtidos mostrem uma redução nos valores do déficit e nos CMOs, e mostrem um aumento nos valores de energia vertida e energia armazenada.

O teste foi realizado utilizando-se o deck de dados do caso base para o LEN A-3 2015 com 3 patamares e sazonalidade da carga, executado com a versão 8.2.14 do modelo SUIHI no modo de simulação hidrotérmica, onde, apesar da solução ter caminhado no sentido esperado, observaram-se diferenças significativas entre os dois casos, indicando necessidade de realização de algumas melhorias.

Tendo em vista as análises realizadas para execução deste teste e do teste 34, um novo aperfeiçoamento metodológico foi incorporado à versão 8.2.18.1 do modelo. Nesta versão o modelo SUIHI passa a determinar a priori, os limites máximos de geração em cada subsistema em duas situações: permitindo e proibindo a liberação do vertimento de usinas de montante para que haja um incremento de geração nas usinas de jusante. Inicialmente tenta-se que nenhuma usina de montante verta para elevar a geração de jusante. Caso seja necessário elevar a geração hidráulica do sistema, isto será feito por meio de uma valorização da eficiência dos vertimentos.

A versão 8.2.18.1 apresentou um novo aperfeiçoamento desse processo visando situações em que o sistema se encontra com baixos níveis de armazenamento e hidrologia crítica. Esta implementação trouxe ganhos na qualidade dos resultados, reduzindo os custos marginais de operação e os déficits, sobretudo para o caso que considera 6 subsistemas, aproximando bastante os resultados obtidos com os casos onde foram considerados 6 subsistemas e um único subsistema. O risco de déficit do caso com 6 subsistemas foi superior ao do caso com 1 subsistema, mas em ambos os casos o risco de déficit foi inferior a 5%.

Em ambos os casos observou-se um aumento nas energias armazenadas, cujos valores se aproximaram na versão 8.2.18.1.

**Conclusão:** De acordo com o Teste 33 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP

### **Teste 34 - Análise das diferenças entre Otimizador e Simulador.**

- Analisar as diferenças entre as decisões tomadas pelo módulo de otimização e os resultados da simulação a usinas individualizadas, avaliando a eficiência do processo iterativo entre os dois módulos.

O CEPEL realizou aperfeiçoamentos com relação ao processo iterativo otimizador-simulador. Até a versão 7.9 o processo permitia, desde a primeira iteração, que usinas de montante vertessem para elevar a geração das usinas de jusante. A partir da versão 8.0 o processo iterativo tinha início com o vertimento proibido, o qual passava a ser liberado caso fosse observado algum corte de carga.

Nos testes realizados com a versão 8.2.12, verificou-se que havia déficits que ainda poderiam ser eliminados com os recursos disponíveis. Em função desta constatação, um novo aperfeiçoamento foi realizado na versão 8.2.13, o qual corrige o problema encontrado na versão 8.2.12.

O teste 34 foi realizado utilizando-se o deck de dados do caso base do LEN A-3 de 2015, modificado para três patamares e sazonalidade da carga, executado com a versão 8.2.16 do modelo SUIHI, no modo de simulação hidrotérmica. Os resultados apontaram que ainda seria possível obter ganhos de qualidade de solução no modelo SUIHI com o aperfeiçoamento do seu processo iterativo.

Tendo em vista as análises realizadas, um novo aperfeiçoamento metodológico foi incorporado à versão 8.2.18.1 do modelo. Nesta versão o modelo SUIHI passa a determinar a priori, os limites máximos de geração em cada subsistema em duas situações: proibindo e permitindo a liberação do vertimento de usinas de montante para que haja um incremento de geração nas usinas de jusante, esta última sendo realizada por meio de uma valorização da eficiência dos vertimentos.

A implementação na versão 8.2.18.1 trouxe ganhos na qualidade dos resultados, reduzindo os custos totais de operação, os custos marginais de operação e os riscos de déficits.

Em função deste novo aprimoramento foram feitos testes na versão 8.2.18.1 para verificar a correta implementação do novo algoritmo de interação dos módulos de otimização e simulação. Estes testes foram realizados com o mesmo deck base e como resultado comprovou-se a correta operação do SUIHI neste algoritmo, que foi capaz de trazer ganhos de qualidade de solução para o modelo.

**Conclusão:** De acordo com o Teste 34 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP

## 4 Conclusões

Este relatório apresenta os principais resultados do processo de validação do modo de simulação hidrotérmica do modelo SUIHI, pelo Grupo de Trabalho “Questões Metodológicas Associadas aos Modelos Computacionais de Expansão e Operação - GT7”, no âmbito da Comissão Permanente para Análise de Metodologias e Programas Computacionais do Setor Elétrico - CPAMP, de modo a que esta comissão, instituída e coordenada pelo Ministério de Minas e Energia, aprove o uso da atual versão desse modelo nos processos de planejamento de expansão e da operação do sistema elétrico brasileiro.

O modelo SUIHI é um modelo de simulação a usinas individualizadas em sistemas hidrotérmicos interligados aplicado, principalmente, na realização de estudos de planejamento da expansão e operação energética, permitindo a consideração tanto de simulações para cálculo de energia firme como de simulações hidrotérmicas, esta última com base na política de operação definida pelo modelo NEWAVE (contida na função de custo futuro de cada mês).

O processo de validação do modo de *simulação hidrotérmica* do modelo SUIHI no âmbito da CPAMP teve início durante o processo de validação do modo de *simulação para cálculo de energia firme*, e intensificou-se a partir do dia 25 de setembro de 2015, durante a 30ª reunião do GT7-CPAMP, sendo finalizado no dia 3 de novembro de 2015, durante a sua 33ª reunião.

A plenária da CPAMP, com base nos resultados obtidos pelo GT7, concluiu em reunião do dia 05 de novembro de 2015, pela validação do modo de simulação hidrotérmica do modelo SUIHI, passando o mesmo a estar apto para ser usado em estudos de planejamento da expansão e da operação, e em estudos oficiais que requeiram autorização do poder concedente. Esta validação complementa a validação realizada anteriormente do modo de cálculo de energia firme, utilizada em estudos que incluem os processos de dimensionamento de usinas hidrelétricas, os processos de revisão ordinária, ou extraordinária, de garantia física de energia das usinas hidrelétricas, assim como o processo de cálculo de garantia física de energia de novas usinas hidrelétricas.

Com os testes realizados, descritos na seção 3, das versões 8.2.12 a 8.2.20, concluiu-se que as inadequações identificadas foram solucionadas. A versão 8.2.20 passará a ser denominada versão 9.0.

## **5 Recomendações**

O GT7/CPAMP recomenda a utilização do modo de simulação hidrotérmica da versão 9.0 do modelo SUIHI em estudos de planejamento da expansão e da operação, e em estudos oficiais que requeiram autorização do poder concedente. Esta validação complementa a validação realizada anteriormente do modo de cálculo de energia firme, utilizada em estudos que incluem os processos de dimensionamento de usinas hidrelétricas, os processos de revisão ordinária, ou extraordinária, de garantia física de energia das usinas hidrelétricas, assim como o processo de cálculo de garantia física de energia de novas usinas hidrelétricas.

Não obstante, o GT7/CPAMP recomenda ainda que o CEPEL continue aprimorando metodologicamente o modelo SUIHI, e que o grupo acompanhe e teste esses aperfeiçoamentos bem como novos desenvolvimentos.