

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

Grupo de Trabalho “Questões Metodológicas
Associadas aos Modelos Computacionais para a
Expansão e Operação do Setor Elétrico Brasileiro”

Relatório Técnico

*“Relatório de Validação da Versão 12 do
Programa SUISHI – Modelo de Simulação a
Usinas Individualizadas de Sistemas
Hidrotérmicos Interligados – Modo de
Simulação Hidrotérmica”*

Membros:

MME

ANEEL

EPE

ONS

CCEE

(Coordenação) **CEPEL**

Brasília, 21 de Dezembro de 2016

Conteúdo

| | | |
|----------|--|--------------------------------------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 3 |
| 2 | DESCRIÇÃO DO MODELO SUISHI | 5 |
| 3 | PROCESSO DE VALIDAÇÃO | 10 |
| 4 | TESTES ESPECÍFICOS PARA AVALIAÇÃO DA SIMULAÇÃO HIDROTÉRMICA | ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO. |
| 5 | CONCLUSÕES | 23 |
| 6 | RECOMENDAÇÕES | 24 |
| 7 | BIBLIOGRAFIA | 25 |

1 Introdução

O modelo SUIISHI - Modelo de Simulação a Usinas Individualizadas para Sistemas 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 de energia garantida*. À exceção do modo *simulação para cálculo de energia firme*, o modelo considera a política de operação definida pelo modelo de planejamento da operação de médio e longo prazo, NEWAVE.

O modelo SUIISHI já foi objeto de cinco 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 simulação para cálculo de energia firme* do modelo SUIISHI versão 8.2.11, no âmbito do 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. Em 03 de novembro de 2015 foi concluído o relatório de validação do *modo de simulação hidrotérmica* do modelo SUIISHI versão 8.2.24, posteriormente denominada versão 9.0, e em 05 de novembro do mesmo ano foi aprovado pela CPAMP o uso deste modelo para estudos de planejamento da expansão e da operação que requerem a realização de simulações da operação do parque hidrotérmico brasileiro. Em 16 de março de 2016 foi concluído o relatório de validação do modelo SUIISHI versão 9.1.4, posteriormente denominada versão 10, a qual atualizou as regras especiais de operação das usinas localizadas na bacia do rio Paraíba do Sul segundo o estabelecido na Resolução Conjunta ANA/DAEE/IGAM/INEA nº 1382, de 07 de dezembro de 2015. As atualizações realizadas foram validadas para o *modo de simulação para cálculo de energia firme* e

para o *modo de simulação hidrotérmica*. Em 17 de março de 2016, tal relatório foi aprovado pela plenária da CPAMP. Finalmente, em 28 de outubro de 2016 foi concluído o relatório de validação do modo de simulação para cálculo de energia firme do modelo SUIHI versão 10.6.1, posteriormente denominada versão 11. Esta versão passou a possibilitar a representação de mais de um reservatório equivalente de energia em cada subsistema/submercado e a possibilidade de se considerar o acoplamento hidráulico entre REEs, além de aperfeiçoamentos na interface gráfica do modelo, a qual passou a ser multiplataforma.

Desde o fim do processo de validação do modo de simulação para cálculo de energia firme da versão 11 do modelo SUIHI, no âmbito do GT7/CPAMP, o CEPEL disponibilizou as versões 11.1, 11.2, 11.2.1, 11.3, 11.3.1 e 11.4, as quais contêm aperfeiçoamentos metodológicos e novas funcionalidades em relação à versão 11.0.

Tendo em vista as funcionalidades implementadas a partir da versão 10, e contidas na versão 11.4 do modelo SUIHI, este relatório apresenta os principais resultados do processo de validação do *modo de simulação hidrotérmica* e os testes já realizados para *cálculo de energia garantida* pelo Grupo de Trabalho “Questões Metodológicas Associadas aos Modelos Computacionais para a Expansão e Operação do Setor Elétrico Brasileiro – 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 Energia¹, com a participação da ANEEL, EPE, ONS, CCEE e CEPEL, possa aprovar o uso do modo de simulação hidrotérmica da atual versão desse modelo em estudos de planejamento da expansão e da operação, e em estudos oficiais que requeiram autorização do poder concedente, incluindo 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. O modo de simulação para cálculo de energia firme já foi validado por esta comissão (versão 11) e não sofreu alterações nas versões subsequentes.

¹ 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 de simulações hidrotérmicas, de simulações para cálculo de energia firme e de simulações para cálculo de energia garantida.

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 para cálculo 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.

Finalmente, o *modo de simulação para cálculo de energia garantida* tem como objetivo o cálculo da carga crítica de um sistema hidrotérmico e das energias garantidas das usinas que o compõem. Cabe ressaltar que neste modo de simulação, assim como 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. Adicionalmente, para a convergência da carga crítica, este modo de simulação utiliza os critérios estabelecidos pela portaria MME nº 101 de 22 de março de 2016, ou seja, custo marginal de operação igual ao custo marginal de expansão, com o risco de déficit limitado à 5%.

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 é proveniente 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 CONVERTOR, e exibi-los em diferentes telas de acordo com a natureza do dado. Caso necessário, a edição dos dados de entrada do modelo SUIISHI 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 SUIISHI 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 SUIISHI 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 SUIISHI 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 SUIISHI. 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 SUIHI. 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.

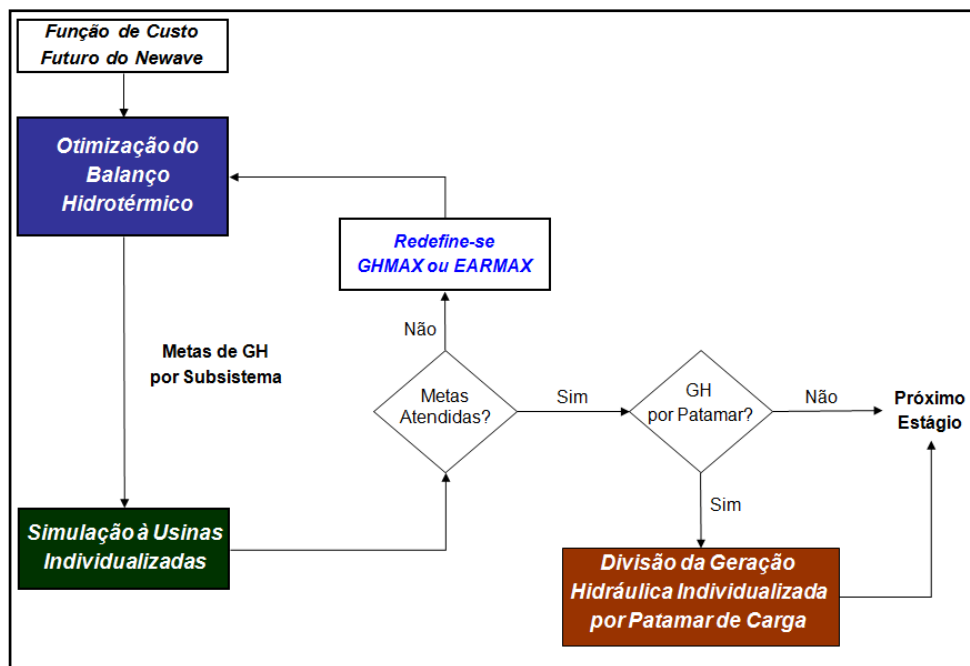


Figura 1- Fluxograma de funcionamento do modelo SUIHI

2.4 Módulo de Simulação a Usinas Individualizadas

Dentre outros fatores, o processo de simulação da operação a usinas individualizadas do modelo SUIHI 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. Opcionalmente, é possível definir as prioridades de enchimento e esvaziamento dos reservatórios por meio de uma função pré-definida que relaciona a produtividade acumulada, com a derivada do polinômio volume x cota, com o volume armazenado e com a vazão afluyente.

Em resumo, o processo de simulação da operação do modelo SUIHI 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 SUIHI 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 SUIHI 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 SUIHI 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 quinze subsistemas hidrotérmicos eletricamente interligados em malha, 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 atual processo de validação do *modo de simulação hidrotérmica* do modelo SUIISHI, no âmbito da CPAMP, motivado pelas novas funcionalidades disponíveis a partir da versão 10.1, destacando-se a representação de mais de um reservatório equivalente de energia em cada subsistema/submercado e a possibilidade de se considerar o acoplamento hidráulico entre REEs.

Este processo de validação teve início no dia 24 de novembro de 2016, durante a 54ª reunião do GT7/CPAMP, sendo finalizado no dia 21 de dezembro de 2016, durante a sua 57ª reunião. Em 21 de dezembro de 2016 foi aprovado pelo GT7/CPAMP o uso do *modo de simulação hidrotérmica* da versão 11.4 do modelo SUIISHI, a qual passará a ser denominada versão 12, para estudos de planejamento da expansão e operação do sistema elétrico brasileiro.

Durante este processo de validação, também foram realizados testes visando a validação do modo de simulação para *cálculo de energia garantida*, cujo processo de validação deverá ser concluído nas próximas reuniões deste grupo.

O cronograma de trabalho incluiu a realização de quatro reuniões do grupo de trabalho (GT7) (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 do GT7/CPAMP Relativas à Validação das Novas Funcionalidades do Modelo SUIISHI

| Data | Reunião | Instituições Participantes |
|------------|---------|-----------------------------------|
| 24/11/2016 | 54ª | CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL |
| 02/12/2016 | 55ª | CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL |
| 13/12/2016 | 56ª | CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL |
| 21/12/2016 | 57ª | 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 Novas Funcionalidades do Modelo SUIISHI

A Tabela 2 a seguir descreve as novas funcionalidades disponíveis no modelo SUIISHI, que são o objeto do caderno de testes dos modos de *simulação hidrotérmica* e

simulação para cálculo de energia garantida, assim como a versão do modelo em que cada nova funcionalidade foi implementada.

Tabela 2 – Novas Funcionalidades do Modelo SUISHI - Versões 10.1 à 11.4

| Versão SUISHI | Funcionalidade |
|---------------|--|
| 10.1 | Possibilidade de se considerar mais de um Reservatório Equivalente de Energia em cada subsistema/submercado |
| | Possibilidade de se considerar o acoplamento hidráulico entre REEs de um mesmo subsistema/submercado |
| | Possibilidade de se considerar diferentes blocos de geração de pequenas usinas, cada qual com diferentes profundidades de carga associadas |
| 10.1.1 | Adequação da consideração da geração de pequenas usinas nos casos em que há apenas um bloco de geração de pequenas usinas para cada subsistema/submercado |
| 10.2 | Adequação do problema de otimização do balanço hidrotérmico entre submercados com a consideração de uma restrição de balanço da geração fio d'água líquida |
| | Compatibilização do cálculo da energia fio d'água líquida com as premissas utilizadas no módulo de simulação da operação a usinas individualizadas |
| 10.3 | Possibilidade de se considerar o acoplamento hidráulico entre REEs de diferentes submercados |
| 10.4 | Nas simulações para cálculo de energia firme, compatibilização do cálculo da energia fio d'água líquida (EFIOL) com as premissas adotadas na versão 10 do modelo SUISHI |
| 10.5 | Nas simulações para cálculo de energia firme, recompatibilização do cálculo da energia fio d'água líquida (EFIOL) com as premissas adotadas na versão 10.3 |
| | Atualização do modo de simulação para cálculo de energia garantida, o qual passa a estar compatível com a portaria MME nº 101, de 22 de Março de 2016 |
| | No módulo de otimização do balanço hidrotérmico entre REEs, compatibilização da penalidade de vertimento com o valor adotado na versão 22.6 do modelo NEWAVE |
| 10.6 | Correção da dimensão de determinadas variáveis associadas ao desvio d'água, a qual não era suficientemente elevada para comportar as simulações para cálculo de energia firme com busca de período crítico |
| | Na simulação para cálculo da energia garantida, correção do cálculo do CMO médio para a verificação da convergência pelo critério econômico |
| 10.6.1 | Nas simulações para cálculo de energia firme, impressão das ENAs total, controlável e fio d'água líquida no relatório SUISHI.REL |

| Versão SUIHI | Funcionalidade |
|--------------|---|
| 11.1 | Nas simulações para cálculo de energia garantida, consideração da sazonalidade do mercado durante o processo de convergência da carga crítica |
| | Compatibilização da leitura do arquivo NEWDESP.DAT gerado pelo modelo NEWAVE versão 23 |
| 11.2 | Ajuste do programa Conversor para que não seja necessário preencher o arquivo SISTEMA.DAT do modelo NEWAVE com valor zero para subsistemas que não possuem mercado |
| | Alteração do programa Conversor para que os desvios d'água informados nos arquivos do NEWAVE sejam considerados nas simulações para cálculo de energia garantida |
| 11.2.1 | Nas simulações para cálculo de energia garantida, correção do processo de convergência do mercado para atendimento do critério de risco de suprimento limitado a 5% |
| | Nas simulações para cálculo de energia garantida, adequação do programa conversor de modo a considerar as alterações nas características das usinas ao longo do período de estudo |
| 11.3 | Impressão da vazão incremental e da contribuição das usinas de montante para o cálculo do PDISPR no arquivo USIHID.CSV, e da geração fio d'água líquida e da geração hidráulica controlável nos arquivos SUBSIS.CSV e REE.CSV |
| 11.4 | Determinação das vazões afluentes ao posto de Belo Monte e de Pimental utilizando as regras de operação para atendimento à Resolução ANA nº 911 de 7 de julho 2014 |

3.2 Modo de Simulação Hidrotérmica e para Cálculo de Energia Garantida - Testes Realizados e Resultados Obtidos

Nesta seção serão apresentados os testes 8 a 23, referentes aos modos de simulação hidrotérmica e para cálculo de energia garantida. Ressalta-se que os resultados dos testes 1 a 7, referentes ao processo de validação do modo de simulação para cálculo de energia firme, se encontram descritos no relatório GT7/CPAMP datado de 28 de Outubro de 2016.

Teste 8

a) Processar estudo que considera acoplamento hidráulico entre REEs, com o REE de jusante a fio d'água, e verificar: (i) a equação de balanço hídrico do REE de montante; (ii) a equação de balanço hídrico do REE de jusante; (iii) e as equações de geração hidráulica máxima.

Para a realização deste teste foi utilizado o PMO de outubro de 2016, o qual considera o acoplamento hidráulico entre os REEs Paraná e Itaipu. Este caso foi convertido e executado com a versão 11 do modelo SUIISHI, tendo sido verificado o fechamento da equação de balanço hídrico dos REEs Paraná e Itaipu, assim como o fechamento das suas respectivas equações de geração hidráulica máxima.

Em determinadas iterações entre os módulos de otimização do balanço hidrotérmico entre subsistemas e de simulação a usinas individualizadas, foi observado que quando o REE Itaipu apresentava déficit de geração hidráulica, a sua meta de geração da iteração seguinte era inferior à sua energia fio d'água líquida. Este problema foi corrigido na versão 11.2 do modelo SUIISHI, e os resultados foram obtidos conforme o esperado.

b) Processar estudo que considera acoplamento hidráulico em “Y” entre três REEs, com o REE de jusante a fio d'água, e verificar: (i) a equação de balanço hídrico do REE de montante; (ii) a equação de balanço hídrico do REE de jusante; (iii) e as equações de geração hidráulica máxima.

Para a realização deste teste foi utilizado o caso base da revisão ordinária de garantia física de energia de 2016, na configuração 10 REEs x 4 Submercados, com o REE Itaipu a jusante do REE Paraná e do REE Paranapanema. O caso teste foi convertido e executado com a versão 11.1.

Analisando os resultados da série hidrológica de 1939, observa-se que o balanço hídrico, tanto dos REEs de montante quanto do REE de jusante, está correto. Todos os resultados foram obtidos conforme o esperado.

Conclusão: De acordo com os resultados do Teste 8 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

Teste 9

Processar estudos com base no caso de garantia física, PMO ou PLD, considerando a representação com o número de reservatórios equivalentes de energia superior ao número de subsistemas/submercados, e realizar, para uma série hidrológica escolhida: (i) o balanço de energia por reservatório equivalente de energia e (ii) o balanço de demanda por subsistema/submercado.

Para a realização deste teste foi utilizado o PLD de janeiro de 2016, convertido no modo de simulação hidrotérmica do modelo SUIISHI, e executado com as versões

11 e 11.2. Para diversos meses do horizonte de estudo, e séries hidrológicas do histórico de vazões, foi feito o balanço de energia por REE e o balanço de demanda por submercado, e os resultados foram obtidos conforme o esperado.

Conclusão: De acordo com os resultados do Teste 9 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

Teste 10

Processar estudos com base no caso de garantia física, PMO ou PLD, considerando a representação com o número de reservatórios equivalentes de energia superior ao número de subsistemas/submercados, e verificar a energia armazenável máxima e a energia armazenada inicial por REE e por Submercado/Subsistema

Para a realização deste teste foi utilizado o PLD de janeiro de 2016, convertido no modo de simulação hidrotérmica do modelo SUIHI, e executado com a sua versão 11. Considerando a configuração de 9 REEs x 4 submercados adotada no caso teste, foi verificado se o armazenamento máximo e o armazenamento inicial dos REEs são compatíveis com os valores obtidos por submercado. Esta análise foi feita para diversos meses do horizonte de estudo e diversas séries hidrológicas do histórico de vazões. Os resultados foram obtidos conforme o esperado.

Conclusão: De acordo com os resultados do teste 10 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

Teste 11

Processar estudos com base no caso de garantia física, PMO ou PLD, considerando a representação com o número de reservatórios equivalentes de energia superior ao número de subsistemas/submercados, e comparar os resultados com os obtidos com o caso que considera N (REEs) X N (Subsistema/Submercado).

Para a realização deste teste foi utilizado o PMO de outubro de 2016, nas configurações 9x4 e 4x4, convertidos e executados com a versão 11 do modelo SUIHI. O custo marginal de operação, o custo total de operação, o armazenamento final e a energia afluyente de acoplamento com a função de custo futuro, obtidos a partir das duas configurações, foram comparados em termos

médios e para cada subsistema. Ao contrário do esperado, foi observado que as energias afluentes de acoplamento com a FCF obtida em ambos os casos teste não era a mesma no subsistema sudeste, onde há acoplamento hidráulico entre REEs.

O cálculo da energia afluente de acoplamento foi corrigido na versão 11.1, e a comparação entre os resultados obtidos com as configurações 9x4 e 4x4 levaram às conclusões esperadas, ou seja, os resultados obtidos com a configuração 4x4 levam a uma operação mais barata e com maiores níveis de armazenamento quando comparados com os resultados obtidos com a configuração 9x4.

Conclusão: De acordo com os resultados do teste 11 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

Teste 12

Processar estudos com base no caso de garantia física, PMO ou PLD considerando a representação do reservatório equivalente Madeira inserido no subsistema/submercado SE/CO (4 Subsistema/Submercado X 5 REEs), e comparar os resultados com os obtidos sem a consideração desse REE. Esta análise deverá ser estendida para os REEs Belo Monte, Teles Pires e Manaus/Boa Vista.

Para a realização deste teste foi utilizado o PMO de outubro de 2016, nas configurações 4x4 e 4x5. Neste último caso foram consideradas as situações em que o 5º subsistema é representado ora pelas usinas do Madeira, ora pelas usinas do Teles Pires e ora por Belo Monte. Todos os casos foram convertidos e executados com a versão 11 do modelo SUISHI. O custo marginal de operação, o custo total de operação, e o armazenamento final, obtidos a partir das duas configurações, foram comparados em termos médios e para cada subsistema. Todos os resultados foram obtidos conforme o esperado.

Conclusão: De acordo com os resultados do Teste 12 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

Teste 13

Processar estudos com base no caso de garantia física, PMO ou PLD, considerando a representação com o número de reservatórios equivalentes de energia superior ao

número de subsistemas/submercados, e verificar o processo iterativo entre os módulos de otimização e simulação do modelo SUIISHI por meio do relatório SUIISHI.REL.

Os testes foram realizados com base no caso de revisão ordinária de garantia física 2016, com a usina de Itaipu sendo considerada um subsistema próprio. O caso teste foi convertido e executado com a versão 11.3.1 do modelo SUIISHI, tendo sido avaliada a iteração entre os módulos de otimização e de simulação. Observou-se que as metas de geração hidráulica definidas no módulo de otimização foram transmitidas corretamente para o módulo de simulação a usinas individualizadas. Na ocorrência de déficits ou excessos de geração hidráulica foi observada a correta redefinição das restrições de armazenamento máximo e geração hidráulica máxima no módulo de otimização do balanço hidrotérmico.

Conclusão: De acordo com os resultados do Teste 13 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

Teste 14

Processar estudos com base no caso de garantia física, PMO ou PLD, considerando a representação com o número de reservatórios equivalentes de energia superior ao número de subsistemas/submercados, e verificar se os resultados descritos nos relatórios REE.CSV e SUBSIS.CSV são compatíveis.

Para a realização deste teste foi utilizado o caso base da revisão ordinária de garantia física de energia 2016, na configuração 10 REEs x 4 Subsistemas, e o PLD de janeiro de 2016 com a configuração oficial 9 REEs x 4 Submercados. Estes casos foram convertidos com a versão 11 do modelo SUIISHI e executados no seu modo de simulação hidrotérmica. Tal como o esperado, observou-se que os resultados escritos no arquivo SUBSIS.CSV correspondem à soma dos resultados escritos no arquivo REE.CSV, agrupados por subsistema, a exceção do déficit e da energia de submotorização.

A escrita de tais resultados foi corrigida na versão 11.2 do modelo SUIISHI, cujos resultados se mostraram de acordo com o esperado.

Conclusão: De acordo com os resultados do Teste 14 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

Teste 15

Processar estudos com base no caso de garantia física, PMO ou PLD, considerando a representação com o número de reservatórios equivalentes de energia superior ao número de subsistemas/submercados, além das regras especiais de operação das usinas localizadas na bacia do rio Paraíba do Sul, verificando se os resultados da operação do Paraíba do Sul são os mesmos daqueles obtidos com a operação do caso N (Subsistemas/Submercados) X N (REEs), além de avaliar o processo iterativo entre os módulos de otimização e simulação nesta situação.

Para a realização deste teste foi convertido e executado o caso base da revisão ordinária das garantias físicas de energia 2016, com o REE Itaipu a jusante do REE Paraná (configuração 4x9) e com o REE Itaipu a jusante dos REEs Paraná e Paranapanema (configuração 4x10).

Tal como o esperado, em ambos os casos os resultados associados às usinas localizadas na bacia do rio Paraíba do Sul foram os mesmos, tanto em termos dos arquivos de resultados USIHID.CSV, quanto em termos do relatório SHP.REL.

Adicionalmente, este teste foi feito com o PMO de outubro de 2016, com as configurações 4x9 e 4x4, utilizando-se a versão 11.3.1 do modelo SUIHI. Foram comparadas as trajetórias de armazenamento dos reservatórios da bacia do rio Paraíba do Sul e constatado que elas foram idênticas entre si. Também foi verificado o atendimento às restrições operativas e a ordem de deplecionamento conforme descritas na Resolução Conjunta ANA/DAEE/IGAM/INEA nº 1382, de 07 de dezembro de 2015.

Conclusão: De acordo com os resultados do Teste 15 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

Teste 16

Processar estudos com base no caso de garantia física, PMO ou PLD, considerando a representação com o número de reservatórios equivalentes de energia superior ao número de subsistemas/submercados e considerando o acoplamento hidráulico entre dois REEs que se encontram localizados em diferentes subsistemas/submercados. Avaliar o processo iterativo entre os módulos de otimização e simulação nesta situação, além dos resultados da simulação a usinas individualizadas, em particular o atendimento à vazão mínima dos reservatórios de montante para elevar a geração hidráulica no REE de jusante.

Para a realização deste teste utilizou-se o caso base da revisão ordinária das garantias físicas de energia 2016, considerando o subsistema Itaipu a jusante do subsistema Paraná, e a usina de Porto Primavera representada como uma usina com reservatório.

O caso teste foi convertido e executado com o SUIISHI versão 11.3.1. Analisando os resultados da série histórica de 1939, verificou-se o atendimento à vazão mínima dos reservatórios a montante e a correta utilização do reservatório de Porto Primavera contribuindo positivamente para a geração hidráulica de Itaipu.

Comportamento análogo foi observado quando analisados os resultados do caso PLD de janeiro de 2016, considerando o subsistema Itaipu a jusante do subsistema Paraná, e a usina de Porto Primavera representada como uma usina com reservatório. O caso teste foi convertido e executado com a versão 11.4 do modelo SUIISHI, tendo sido analisados os resultados da série histórica de 1931.

Conclusão: De acordo com os resultados do Teste 16 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

Teste 17

Processar estudos que considerem diferentes blocos de pequenas usinas para um mesmo subsistema/submercado, com diferentes profundidades de carga associados, e verificar a correta consideração do bloco de pequenas usinas na equação de atendimento à demanda.

Para a realização deste teste o PMO de Setembro de 2016 foi executado com a versão 23 do modelo NEWAVE, considerando diferentes patamares de carga para o bloco de usinas não simuladas. Este caso foi convertido e executado com a versão 11 do modelo SUIISHI, sendo observado um erro de leitura do arquivo NEWDESP.DAT gerado pela versão 23 do modelo NEWAVE. Tal problema foi corrigido na versão 11.1 do modelo SUIISHI.

Os resultados obtidos com a versão 11.1 do modelo SUIISHI se mostraram conforme o esperado, ou seja, os diferentes blocos de geração de pequenas usinas foram corretamente considerados na equação de atendimento à demanda de cada submercado.

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

Teste 18

Processar estudos com base no caso de garantia física, PMO ou PLD, considerando a representação com o número de reservatórios equivalentes de energia superior ao número de subsistemas/submercados e considerando o acoplamento hidráulico entre REEs, e verificar se o cálculo das Potências Disponíveis Revisadas está sendo feito corretamente.

Para a realização deste teste foi convertido e executado o caso base da revisão ordinária de garantia física de energia 2016, convertido e executado na versão 11.3.1 do modelo SUIHI. Foram analisados os resultados de todas as séries históricas de vazões, verificando-se o valor da potência disponível revisada (PDISPR) das usinas de Camargos, Itutinga, Funil-Grande, Santa Branca, Mauá, Canoas I e Canoas II. Os valores calculados pelo modelo foram corretamente reproduzidos.

Conclusão: De acordo com os resultados do Teste 18 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

Teste 19

Executar o modelo SUIHI no seu modo de simulação hidrotérmica e verificar se as decisões de alocação de energia entre excesso e vertimento são compatíveis com os valores de penalidade.

Para a realização deste teste foi utilizado o deck NEWAVE do PLD de novembro de 2016, convertido e executado no modo de simulação hidrotérmica do modelo SUIHI, versões 11.0 e 11.1. Analisando os resultados do mês de fevereiro de 2018, série hidrológica de 1931, foi possível observar que, enquanto os resultados da versão 11 levam ao aparecimento de um excesso de otimização positivo, com vertimento nulo no subsistema Sudeste, os resultados da versão 11.1 apontam para um vertimento positivo, e excesso de otimização nulo neste mesmo subsistema. Uma vez que o armazenamento deste subsistema coincide com o armazenamento máximo, e que o natural seria a ocorrência de vertimentos, os resultados da versão 11.1 demonstram que os valores das penalidades de excesso e de vertimento levam o modelo à decisão adequada de operação. Resultado análogo foi observado para o mês de dezembro de 2018, série hidrológica de 1955.

Conclusão: De acordo com os resultados do Teste 19 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

Teste 20

Verificar se o acoplamento entre os modelos SUIISHI e GEVAZP, no modo de simulação hidrotérmica, com cenários sintéticos de vazões está sendo processado corretamente.

Para a realização deste teste foi utilizado o PMO de outubro de 2016, convertido e executado com a versão 11.3 do modelo SUIISHI. Apesar de ter sido verificada a correta conversão e execução do modelo quando utilizadas séries sintéticas de vazões, foram incorporadas à interface gráfica do modelo mecanismos facilitadores para o usuário, neste caso a indicação pela própria interface de quais usinas são consideradas "usinas de posto nulo", e que, portanto, devem ser retiradas da configuração. Todos os resultados foram obtidos conforme o esperado.

Conclusão: De acordo com os resultados do Teste 20 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

Teste 21

Executar o modelo SUIISHI no modo de simulação para cálculo de Energia Garantida e verificar se os resultados obtidos coincidem com os obtidos por uma simulação hidrotérmica que utiliza o mercado igual a carga crítica convergida.

Para a realização deste teste foi utilizado o caso base da revisão ordinária de garantia física de energia 2016, convertido e executado nas versões 11.2 e 11.3 do modelo SUIISHI, com séries históricas e sintéticas de vazões. Observou-se que quando utilizadas as regras especiais de operação das usinas da bacia do rio Paraíba do Sul, simuladas com séries sintéticas, o relatório SUIISHI.REL não era completamente escrito. Adicionalmente, este relatório também apresentava algumas inconsistências entre o mercado de convergência e o mercado utilizado na simulação final. Tais problemas foram solucionados na versão 11.4 do modelo SUIISHI, cujos resultados foram obtidos conforme o esperado.

Para o caso teste executado com a versão 11.4, verificou-se que os resultados da simulação hidrotérmica que considera o mercado convergido na simulação para cálculo de energia garantida não são coincidentes.

Conclusão: De acordo com os resultados do Teste 21 o processo de validação do modo de simulação para *cálculo de energia garantida* deverá ser concluído nas próximas reuniões do GT7/CPAMP.

Teste 22

Executar o modelo SUIISHI no modo de simulação hidrotérmica utilizando o Deck de dados do PEN 2016, verificando se a conversão e a execução do modelo foram concluídas com sucesso, verificando a adequação dos resultados e a correta exibição dos dados de entrada e resultados pela interface gráfica.

Para a realização deste teste o caso NEWAVE do PEN 2016 foi convertido e executado com a versão 11 do modelo SUIISHI. Nesta versão o caso teste não teve a sua execução concluída com sucesso, devido à dimensão inadequada de determinadas variáveis do modelo SUIISHI. A versão 11.1 corrigiu este problema e a execução do caso teste foi concluída com sucesso, assim como a visualização dos resultados numéricos e gráficos.

Conclusão: De acordo com os resultados do Teste 22 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

Teste 23

Processar estudos com base no caso de garantia física, PMO ou PLD, verificando se a distribuição das vazões naturais afluentes ao posto 288 é distribuído corretamente entre os postos de vazões afluentes à Belo Monte e à Pimental.

Para a realização deste teste foi utilizado o caso PLD de janeiro de 2016, convertido e executado com a versão 11.4 do modelo SUIISHI. A análise foi realizada para todo o histórico de vazões, tendo sido verificada a correta repartição das vazões afluentes ao posto 288 entre os postos 292 (Belo Monte) e 302 (Pimental), obedecendo ao atendimento ao hidrograma do trecho de vazão reduzida.

Conclusão: De acordo com os resultados do Teste 23 esta funcionalidade foi considerada validada pelo GT7/CPAMP.

5 Conclusões

Este relatório apresenta os resultados do processo de validação das novas funcionalidades do modelo SUIHI, versões 10.1 à 11.4, pelo Grupo de Trabalho “Questões Metodológicas Associadas aos Modelos Computacionais para a Expansão e Operação do Setor Elétrico Brasileiro - 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 dos diferentes modos de simulação da atual versão desse modelo em estudos de planejamento da expansão e da operação, e em estudos oficiais que requeiram autorização do poder concedente, incluindo 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.

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 de simulações para cálculo de energia firme, de simulações hidrotérmicas, e de simulações para cálculo de energia garantida, as duas últimas 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 no dia 24 de novembro de 2016, durante a 54ª reunião do GT7/CPAMP, sendo finalizado no dia 21 de dezembro de 2016, durante a sua 57ª reunião. O processo de validação do modo de cálculo de energia garantida foi iniciado e deve prosseguir nas próximas reuniões do GT7/CPAMP.

O GT7/CPAMP, com base nos resultados obtidos, concluiu em reunião do dia 21 de dezembro de 2016, pela validação do *modo de simulação hidrotérmica* da versão 11.4 do modelo SUIHI, em complemento à validação prévia do seu *modo de simulação para cálculo de energia firme*, passando o modelo 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, incluindo 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, com as versões 10.1 a 11.4, concluiu-se que as novas funcionalidades e adequações realizadas funcionam de acordo com o esperado. A versão 11.4 passará a ser denominada versão 12.0.

6 Recomendações

O GT7/CPAMP recomenda a utilização dos diferentes modos de simulação da versão 12.0 do modelo SUIHI para os estudos de planejamento da expansão, e em estudos oficiais que requeiram autorização do poder concedente, incluindo 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. O GT7/CPAMP recomenda também que se aprofundem os testes com configurações de PDE nesta versão 12.0 do modelo SUIHI, e que se dê continuidade aos testes com o objetivo de validar o modo de cálculo de energia garantida, assim como que o CEPEL continue aprimorando metodologicamente o modelo SUIHI, e o grupo acompanhe e teste os novos desenvolvimentos.

7 Bibliografia

- [1] Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, “Relatório de Validação do Modelo SUISHI-O”, Janeiro de 2010.
- [2] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, Despacho nº 2.518, 27 de Agosto de 2010.
- [3] Comissão Permanente para Análise de Metodologias e Programas Computacionais do Setor Elétrico – CPAMP, “Relatório de Validação do Programa SUISHI – Modelo de Simulação a Usinas Individualizadas de Sistemas Hidrotérmicos Interligados”, Julho de 2015.
- [4] Comissão Permanente para Análise de Metodologias e Programas Computacionais do Setor Elétrico – CPAMP, “Relatório de Validação do Programa SUISHI – Modelo de Simulação a Usinas Individualizadas de Sistemas Hidrotérmicos Interligados – Modo Simulação Hidrotérmica”, Novembro de 2015.
- [5] Comissão Permanente para Análise de Metodologias e Programas Computacionais do Setor Elétrico – CPAMP, “Relatório de Validação do Programa SUISHI – Modelo de Simulação a Usinas Individualizadas de Sistemas Hidrotérmicos Interligados”, Março de 2016.
- [6] Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL, “Manual de Referência do Modelo SUISHI”, Março de 2016