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

Grupo de Trabalho Metodologia

Relatório Técnico

"Relatório de Validação da Versão 15 do Programa SUISHI – Modelo de Simulação a Usinas Individualizadas de Sistemas Hidrotérmicos Interligados"

Membros:
MME
ANEEL
EPE
ONS
CCEE
(Assessoria Técnica) **CEPEL**

26 de abril de 2021

Sumário

1 INTRODUÇÃO 3

2 DESCRIÇÃO DO MODELO SUISHI 6

2.1 PROGRAMA CONVERSOR DE DADOS 7
2.2 INTERFACE GRÁFICA NA PLATAFORMA ENCAD 7
2.3 MÓDULO DE OTIMIZAÇÃO DO BALANÇO HIDROTÉRMICO ENTRE SUBSISTEMAS EQUIVALENTES 7
2.4 MÓDULO DE SIMULAÇÃO A USINAS INDIVIDUALIZADAS 9
2.5 MÓDULO DE DIVISÃO DA GERAÇÃO HIDRÁULICA INDIVIDUALIZADA POR PATAMAR DE CARGA 9

3 PROCESSO DE VALIDAÇÃO 11

3.1. NOVAS FUNCIONALIDADES DO MODELO SUISHI 12
3.2. TESTES REALIZADOS E RESULTADOS OBTIDOS 17

4 CONCLUSÕES 55

5 RECOMENDAÇÕES 56

6 BIBLIOGRAFIA 57

1 Introdução

O modelo SUISHI - 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 SUISHI 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 de 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 SUISHI já foi objeto de oito 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 SUISHI (FT-SUISHI), que contou com a participação de 27 empresas do setor elétrico brasileiro. Em agosto de 2010, após a conclusão dos trabalhos da FT-SUISHI, 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 SUISHI 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 SUISHI versão 8.2.24.

- 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, dando origem a **versão 9.0**.

- Em 16 de março de 2016, foi concluído o relatório de validação do modelo SUISHI 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.

- Em 28 de outubro de 2016, foi concluído o relatório de validação do modo de simulação para cálculo de energia firme do modelo SUISHI 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.
- Em 21 dezembro de 2016, foi concluído o processo de validação do modo de simulação hidrotérmica, no âmbito do GT7/CPAMP, tendo como produto final a disponibilização da **versão 12** do modelo SUISHI e relatório de validação dos modos de simulação hidrotérmica e para cálculo de energia firme. Naquele momento, restaram ajustes a serem realizados no modo de simulação para cálculo de energia garantida.
- Em 22 de maio de 2017, foi concluído, no âmbito do GT Metodologia/CPAMP, o processo de validação do modo de simulação hidrotérmica e para cálculo de energia garantida com séries históricas de vazões e do modo para cálculo de energia firme da versão 12.4.2 do modelo SUISHI, posteriormente denominada **versão 13**. Esta versão passou a possibilitar a aplicação de curvas-guia de operação para até 5 usinas hidrelétricas e empregar adequadamente até 5 polinômios vazão-nível de jusante conforme variação do nível de montante do reservatório a jusante. O relatório informa que o processo de validação dos modos de simulação hidrotérmica e de cálculo de energia garantida utilizando séries sintéticas de vazões não está finalizado.
- Em 16 de abril de 2020, foi concluído, no âmbito do GT Metodologia/CPAMP, o processo de validação do modo para cálculo de energia firme da versão 13.8.4 do modelo SUISHI, posteriormente denominada **versão 14**. Esta versão passou a possibilitar a representação de cotas de montante iguais ao longo da simulação para duas usinas com regularização mensal e a aplicação de curvas vazão nível de jusante compostas por até 5 famílias de até 5 polinômios para cálculo dos níveis de canal de fuga. O relatório informa que a funcionalidade “Considera Regras de Operação do Rio São Francisco” carece de aprimoramentos e que as

funcionalidades criadas após a versão 13 não foram validadas nos modos de *simulação hidrotérmica e para cálculo de energia garantida*.

Após a validação da versão 14, destacam-se dois fatos que justificaram a implementação de novas funcionalidades no modelo:

i. A necessidade de aprimoramento da funcionalidade “Considera Regras de Operação do Rio São Francisco”; e

ii. O surgimento de restrições que condicionam a vazão defluente máxima de uma usina à cota de seu reservatório.

Adicionalmente, o modelo passou a considerar explicitamente o desligamento da segunda casa de força de Tucuruí através da funcionalidade potência máxima x cota.

Estas funcionalidades foram implementadas e aperfeiçoadas nas versões 14.1, 14.2, 14.3, 14.4, 14.4.1, 14.5, 14.5.3, 14.5.4 e 14.5.5, as quais também incluem outros ajustes e correções no modelo e na sua interface gráfica.

Tendo em vista as funcionalidades implementadas a partir da versão 14, e contidas na versão 14.5.5 do modelo SUISHI, este relatório apresenta os principais resultados do processo de validação do **modo de simulação para cálculo de energia firme**, a qual passará a ser denominada versão 15.

2 Descrição do Modelo SUISHI

O modelo SUISHI 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 SUISHI 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 SUISHI 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 Resolução CNPE nº 9, de 28 de julho de 2008, ou seja, custo marginal de operação igual ao custo marginal de expansão, com o risco de déficit limitado a 5%. Os novos critérios de garantia de suprimento definidos pela Resolução CNPE nº 29, de 12 de dezembro de 2019, ainda não são considerados.

O modelo SUISHI 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 SUISHI é proveniente de um caso do modelo NEWAVE. O programa CONVERSOR lê e converte os dados de entrada do modelo NEWAVE para o formato de leitura do modelo SUISHI. Adicionalmente, o programa também inclui dados específicos necessários ao processamento do modelo SUISHI, os quais não estão disponíveis no caso original do NEWAVE. São exemplos de dados adicionais: o número de faixas operativas dos reservatórios das usinas hidrelétricas, 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 SUISHI mais amigáveis para o usuário, a plataforma ENCAD é responsável por importar os arquivos de dados de entrada do modelo SUISHI, 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 SUISHI 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 SUISHI 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 SUISHI 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 SUISHI 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 SUISHI. 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 SUISHI 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 SUISHI 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 SUISHI. 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.

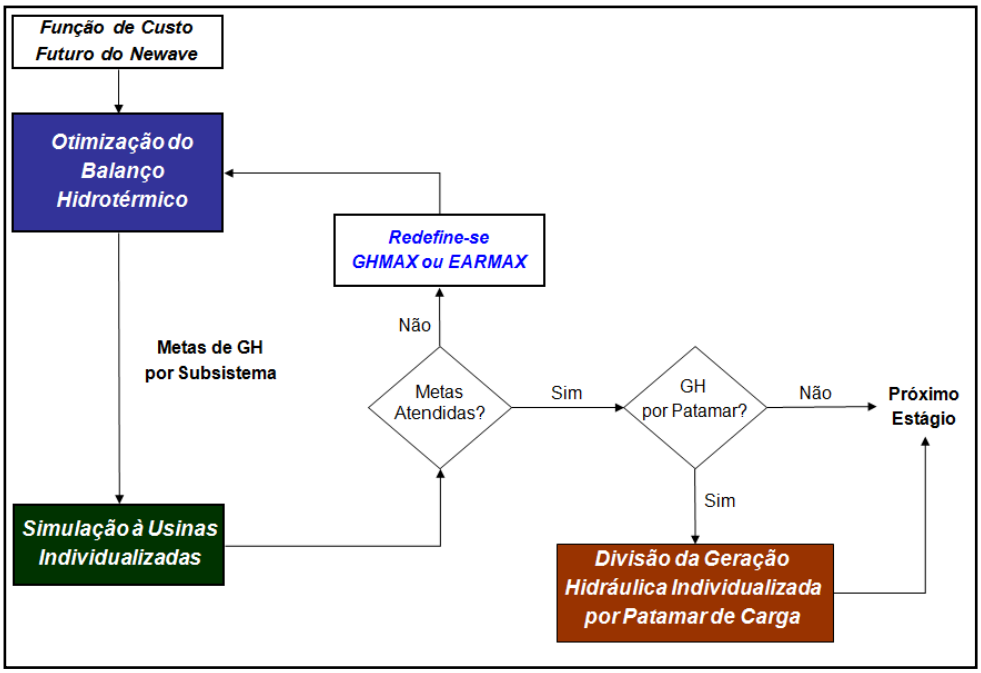


Figura 1- Fluxograma de funcionamento do modelo SUISHI

2.4 Módulo de Simulação a Usinas Individualizadas

Dentre outros fatores, o processo de simulação da operação a usinas individualizadas do modelo SUISHI 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 produtibilidade acumulada possuem prioridade de esvaziamento frente às usinas com baixa produtibilidade acumulada. Por outro lado, as usinas com baixa produtibilidade acumulada possuem prioridade de enchimento frente às usinas com alta produtibilidade acumulada. Opcionalmente, é possível definir as prioridades de enchimento e esvaziamento dos reservatórios por meio de uma função pré-definida que relaciona a produtibilidade acumulada, com a derivada do polinômio volume x cota, com o volume armazenado e com a vazão afluente.

Em resumo, o processo de simulação da operação do modelo SUISHI 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 SUISHI 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 SUISHI 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 SUISHI 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 SUISHI 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 ou outros usos, além de operar usinas que estão sujeitas a regras especiais de operação, como as localizadas nas bacias dos rios Paraíba do Sul e Tietê, e as localizadas no rio São Francisco;
- 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 para cálculo de energia firme* do modelo SUISHI, no âmbito da CPAMP, foi motivado pelas novas funcionalidades disponíveis a partir da versão 14, destacando-se a aplicação de regras de operação especiais para o Rio São Francisco e as funcionalidades que permitem definir defluências máximas e potências máximas em função da cota de montante das usinas.

Este processo de validação teve início no dia 14 de outubro de 2020, durante a 1ª reunião do Subgrupo SUISHI do GT Metodologia/CPAMP, sendo finalizado no dia 26 de abril de 2021, durante a sua 10ª reunião, na qual o grupo, com base nos resultados obtidos, concluiu que o *modo de simulação para cálculo de energia firme* da versão 14.5.5 do modelo SUISHI está apto a ser utilizado.

Durante este processo de validação, não foram realizados testes visando a validação dos *modos de simulação hidrotérmica e de cálculo de energia garantida*, cujo processo de validação deverá ser realizado em futuras reuniões deste grupo.

O cronograma de trabalho incluiu a realização de dez reuniões do grupo de trabalho (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 GT Metodologias/CPAMP Relativas à Validação das Novas Funcionalidades do Modelo SUISHI

Data	Reunião	Instituições Participantes
14/10/2020	1ª	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
19/10/2020	2ª	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
18/11/2020	3ª	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
03/12/2020	4ª	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
17/12/2020	5ª	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
04/02/2021	6ª	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
05/03/2021	7ª	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
23/03/2021	8ª	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
13/04/2021	9ª	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
26/04/2021	10ª	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL

A descrição de cada funcionalidade, a versão do modelo em que 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 SUISHI

A seguir são descritas as novas funcionalidades disponíveis no modelo SUISHI, organizadas por versão do modelo em que cada nova funcionalidade foi implementada.

SUISHI versão 14.1.0

SUISHI

 Nas simulações hidrotérmicas, incorporação da funcionalidade de penalização, no mês de referência, pela máxima violação (VMINOP) da curva de segurança;

 Nas simulações hidrotérmicas que possuem período PRÉ, possibilidade de se considerar a sazonalização das variáveis VMAXT, VMINT, CFUGA, CMONT e VMINP no arquivo de expansão.

CONVERSOR

 Adaptações do programa conversor em função da incorporação da penalização pela máxima violação (VMINOP) no modelo SUISHI, por exemplo, sendo incorporadas as linhas do período PRÉ no arquivo CURVA.DAT;

 Correção da numeração dos REEs no arquivo CURVA.DAT. Até a versão anterior o número escrito era o mesmo número do arquivo de entrada de dados do NEWAVE, que não necessariamente condiz com a numeração adotada pelo modelo SUISHI;

 Adaptações na escrita do arquivo EXPANSAO.DAT para que, nos casos em que haja período PRÉ, possa ser considerada a sazonalização das variáveis VMAXT, VMINT, CFUGA, CMONT e VMINP;

ENCAD

 Adaptações na interface gráfica para a exibição das informações associadas à funcionalidade de penalização pela máxima violação;

 Adaptações na interface gráfica para a exibição e edição das informações associadas à funcionalidade de sazonalização das variáveis VMAXT, VMINT, CFUGA, CMONT e VMINP durante o período PRÉ.

SUISHI versão 14.2.0

SUISHI

 Nas simulações hidrotérmicas e para cálculo de energia firme, sempre que consideradas as regras especiais de operação das usinas do rio São Francisco, as UHEs Retiro Baixo, Queimado, Três Marias, Sobradinho e Itaparica, ou seja, os reservatórios que se encontram a jusante e a montante dos reservatórios que possuem regras de operação ativas, passaram a ter prioridade de deplecionamento reduzida em relação às outras usinas do sistema;

 O arquivo de entrada de dados REGRASF.DAT foi modificado de modo a incluir as usinas cuja prioridade de deplecionamento deve ser alterada em caso de uso das regras do São Francisco.

SUISHI versão 14.3.0

SUISHI

 Nas simulações hidrotérmicas que utilizam séries sintéticas de vazões, foi feita a atualização do modelo GEVAZP para a versão 8.0, possibilitando a escolha entre a correlação espacial “mensal” ou “anual”.

ENCAD

 Adaptação da interface gráfica para permitir que, nas simulações hidrotérmicas com séries sintéticas de vazões, o usuário possa escolher entre a correlação espacial “mensal” ou “anual”;

 Nas simulações para cálculo de energia firme com período crítico definido, e que consideram o hidrograma bianual da UHE Belo Monte, correção da escrita do arquivo hidrograma.dat.

SUISHI versão 14.4.0

SUISHI

 Nas análises em que são consideradas as “Regras do Posto de Belo Monte”, foi realizado um ajuste para que a cota do canal de fuga da UHE Belo Monte seja calculada com base na vazão defluente da UHE Pimental somada à vazão do posto intermediário, quando considerado. Até a versão 14.3, apenas esta última parcela era considerada;

 A utilização dos polinômios “Vazão x Nível de Jusante” das UHEs, sempre que obtidos do arquivo de cadastro HIDR.DAT, passou a ser objeto de interpolação quando a cota de montante do reservatório de jusante estiver entre dois valores de referência;

 Para os casos executados com o recurso do processamento distribuído e com a consideração da “Curva Guia de Operação” para reservatórios fio d’água, correção da impressão do Volume Final do reservatório em questão nos arquivos de resultados do modelo;

 Alteração do formato de leitura da Potência Total de usinas térmicas;

CONVERSOR

 Correção da consideração das restrições de VMAXT e VMINT durante o período PRE, quando tais restrições não são existentes desde o primeiro mês do horizonte de planejamento;

 Alteração do formato de leitura e escrita da Potência Total de usinas térmicas;

ENCAD

 Correção da exibição de valores nas telas do menu “Usinas Hidráulicas/Expansão”;

SUISHI versão 14.4.1

SUISHI

 Correção das execuções do modelo SUISHI realizadas com o recurso do processamento distribuído. Na versão 14.4, os resultados do modelo eram distintos sempre que gerados com diferentes números de processadores;

CONVERSOR

 Na escrita do arquivo EXPANSAO.DAT, correção da evolução temporal do TEIF das usinas térmicas e do VMINP e do CMONT das usinas hidrelétricas;

ENCAD

 Melhoria da eficiência do processo de Conversão/Importação de casos SUISHI com vistas à redução do seu tempo de execução;

 Correção da importação dos valores de Cargas Adicionais nos casos em que há um período PRÉ;

 Exibição dos valores da Curva Guia de Operação (Mecanismo de Aversão ao Risco) referentes ao período PRÉ do caso considerado;

 Correção da exibição do IP das UTEs na tela “Usinas Térmicas/Cadastro”;

 Correção da exibição do VMINP na tela “Usina Hidráulica/Expansão”;

SUISHI versão 14.5.0

SUISHI

 Inclusão das Regras Operativas que relacionam a Cota de Montante de um Reservatório com a Potência Máxima Disponível da usina;

 Inclusão das Regras Operativas que relacionam a Cota de Montante de um Reservatório com a Defluência Máxima da usina;

 Confecção de relatório para a exibição das violações ao Volume Mínimo Operativo (VMINP) dos Reservatórios Equivalentes de Energia;

 Correção da mensagem de erro associada à funcionalidade “Igualar Cotas de Montante dos Reservatórios”.

ENCAD

 Construção das telas da interface referentes às Regras Operativas que relacionam a Cota de Montante de um Reservatório à Potência Máxima Disponível da usina;

 Construção das telas da interface referentes às Regras Operativas que relacionam a Cota de Montante de um Reservatório com a Defluência Máxima da usina;

 Nas simulações hidrotérmicas, correção da importação dos valores referentes às penalidades de violação do volume mínimo operativo;

 Nas simulações hidrotérmicas, exibição dos resultados dos intercâmbios para os nós fictícios;

 Correção da rotina de retirada de usinas fictícias nas simulações para cálculo de energia firme;

 Ajuste na funcionalidade que permite a duplicação de casos via ENCAD;

 Nas simulações que envolvem a utilização de séries sintéticas de vazões, inclusão de mensagem e *tooltip* com exemplos dos comandos para a criação das regras na tela de Postos Nulos e Artificiais;

 Compatibilização da escrita do arquivo REGRAS.DAT com o formato utilizado pelo Gevazp 8.0.

SUISHI versão 14.5.3

SUISHI

 Correção na aplicação das regras que relacionam a Cota de Montante do Reservatório da UHE com a sua Potência Máxima. Sempre que a cota de montante calculada pelo modelo SUISHI era inferior ao menor valor informado pelo usuário, adotava-se o máximo valor de potência;

 Ajuste na verificação do valor da potência das UHEs estipulada no uso das regras Cota de Montante x Potência Máxima. Os valores comparados foram arredondados para 2 casas decimais para evitar incompatibilidades entre os valores informados pelo usuário e os lidos no arquivo HIDR.DAT;

 Correção na aplicação das regras que relacionam a Cota de Montante do Reservatório da UHE com a sua Defluência Máxima. Sempre que a cota de montante calculada pelo modelo SUISHI era inferior ao menor valor informado pelo usuário, adotava-se zero como defluência máxima;

 Foi corrigido o cálculo da Cota de Montante de Fim de Mês das usinas hidrelétricas. Este valor estava recebendo o mesmo valor da Cota Média do Mês;

 A escrita dos relatórios COTAREG.REL e COTAPOT.REL foram desvinculados da escrita do relatório SUISHI.REL. Em particular para as simulações de cálculo de Energia Firme, apenas os resultados da simulação final passaram a ser escritos;

 Correção da exibição da mensagem de erro quando se utiliza, simultaneamente, as regras Cota de Montante do Reservatório x Defluência Máxima e as regras do São Francisco;

 Correção do cálculo da cota do canal de fuga da UHE Belo Monte sempre que utilizadas as regras automáticas de separação da vazão afluente, entre Belo Monte e Pimental, e as regras especiais de operação das usinas do rio Paraíba do Sul;

 Confecção do arquivo de resultados SIN.CSV, que contém os resultados agregados para o sistema;

 Nas simulações hidrotérmicas, escrita do arquivo de resultados ATENDE_DEMANDA.CSV, que facilita a visualização dos termos para fechamento da equação de atendimento à demanda dos submercados, nas versões Windows e Linux do modelo SUISHI;

 Nos arquivos de resultados com extensão CSV, inclusão de colunas adicionais informando a numeração dos REEs e dos Submercados utilizada pelo modelo NEWAVE. O modelo SUISHI utiliza numeração interna para identificar os REEs e Submercados;

 Inclusão da Vazão Evaporada entre os resultados escritos nos arquivos USIHID.CSV;

ENCAD

 Adaptação da interface gráfica para importação e exibição do arquivo de resultados SIN.CSV;

 Adaptação da interface gráfica em função da inclusão de colunas adicionais, nos arquivos CSVs, informando a numeração dos REEs e dos Submercados dada pelo modelo NEWAVE. O modelo SUISHI utiliza numeração interna para identificar os REEs e Submercados;

 Adaptação da interface gráfica para importação e exibição da Vazão Evaporada entre os resultados escritos nos arquivos USIHID.CSV;

SUISHI versão 14.5.4

ENCAD

 Inclusão de validação de dados nulos na importação do arquivo HIDROGRAMA.DAT, referente ao hidrograma da UHE Belo Monte;

 Validação de dados compreendidos dentro do período de estudo na importação do arquivo HIDROGRAMA.DAT, referente ao hidrograma da UHE Belo Monte;

CONVERSOR

 Nas simulações hidrotérmica, ajuste da lógica para exclusão das usinas térmicas que constam como NC nos arquivos de entrada de dados do NEWAVE.

SUISHI versão 14.5.5

SUISHI

 Nas simulações para cálculo de energia firme que consideram o período de ponta e fora da ponta no cálculo da altura de queda, assim como no cálculo da Potência Disponível Modulada, correção do cálculo da altura de queda quando utilizadas as regras de Belo Monte para repartição da vazão afluente entre as UHEs Belo Monte e Pimental.

ENCAD

 No processo de duplicação de casos, alteração da interface para aceitar nomes de casos que possuam strings entre parênteses;

 Correção da importação do arquivo HIDROGRAMA.DAT nos casos de energia firme com busca de período crítico.

3.2. Testes Realizados e Resultados Obtidos

Nesta seção serão apresentados os testes de 1 a 11, referentes apenas ao modo de simulação para cálculo de energia firme.

Teste 1

Em um caso de energia firme, ativar o flag “Considera Regras de Operação do Rio São Francisco” na janela Dados do Caso, aba Flags de Controle.

Fazer o teste com duas datas limite diferentes para aplicação das regras:

a. Usar a data limite *default* para casos de energia firme: o último período do histórico;

b. Alterar para uma data limite no meio do histórico.

Executar o caso e verificar o atendimento das regras de operação durante todo o horizonte de simulação (caso a) ou até a data limite estipulada (caso b) através dos arquivos USIHID das usinas do Rio São Francisco. Devem ser examinados vazão mínima e máxima em Três Marias, vazão mínima em Sobradinho, vazão mínima e máxima em Xingó e volume mínimo em Itaparica.

Devem ser observadas as seguintes regras auxiliares: (i) a curva de segurança selecionada é aquela coincidente com o armazenamento observado ou imediatamente abaixo dele; e (ii) a vazão mínima tem prioridade em relação à vazão máxima no São Francisco.

EPE

Essa funcionalidade tem por objetivo permitir a representação das regras de operação do Rio São Francisco definidas na Resolução ANA nº 2081/2017, esquematizada resumidamente nas duas figuras a seguir.

		DEFLUÊNCIA MÁXIMA	DEFLUÊNCIA MÍNIMA
	NORMAL	sem restrição	150 m³/s
60% VU			
30% VU	ATENÇÃO	definida pelas curvas de segurança	150 m³/s
	RESTRIÇÃO	definida por ANA/ONS	100 m³/s

	FAIXA DE OPERAÇÃO	DEFLUÊNCIA MÍNIMA EM SOBRADINHO	DEFLUÊNCIA MÍNIMA EM XINGÓ	DEFLUÊNCIA MÁXIMA EM XINGÓ	VOLUME MÍNIMO EM ITAPARICA
	NORMAL	800 m³/s	1100 m³/s	sem restrição	30% VU
60% VU					
20% VU	ATENÇÃO	800 m³/s	800 m³/s	definida pelas curvas de segurança (limitada a 1000 m³/s no período seco)	30% VU
	RESTRIÇÃO	700 m³/s	700 m³/s	900 m³/s	sem restrição

Primeiramente, é importante lembrar que, no processo de validação da versão 14.0, apesar de ter sido verificado que as regras operativas para as usinas do São Francisco já estavam sendo consideradas corretamente, foi observada uma redução acentuada do mercado de convergência e aumento expressivo do número de iterações em casos que consideram as regras de operação do São Francisco. Concluiu-se que a consideração das regras de operação das usinas do São Francisco ainda requeria aprimoramentos e testes adicionais.

Em função disso, na versão 14.2, foi criada a abordagem “prioridade zero”. Na definição da ordem de prioridade de deplecionamento das usinas, Retiro Baixo, Queimado, Três Marias, Sobradinho e Itaparica recebem 0,0001 como valor para suas produtibilidades, quando considerada a função prioridade com base na produtibilidade acumulada das usinas, ou zero como valor para as suas funções prioridade, quando considerada a função prioridade adaptativa. Vale lembrar que o primeiro objetivo do modelo é manter todas as usinas na mesma faixa de operação, a ordem de prioridades só é usada quando isso não é possível.

Para a realização deste teste adotou-se o Caso Base do Leilão de Energia Nova A-3 e A-4/2021, disponibilizado no *site* da EPE. Adicionalmente, foram consideradas as regras de operação do São Francisco (arquivo *default* da versão 14.5.5, que contém as curvas de segurança do ano hidrológico 2020/2021) até o fim do histórico. O caso SUISHI foi rodado na versão 14.5.5 (ENCAD 5.6.27).

Foi verificado, no relatório de saída suishi.rel do caso, que a variável STVAL assume valores nulos para as usinas Retiro Baixo, Queimado, Três Marias, Sobradinho e Itaparica em todos os períodos, considerando a impressão com três casas decimais, conforme esperado. Observa-se ainda que as UHEs Xingó e Paulo Afonso Moxotó apresentam STVAL igual a zero, mesmo não tendo este valor zerado pela abordagem, pois, como são usinas a fio d'água, o termo relativo à derivada do polinômio cota x volume recebe valor zero. Como exemplo, a tabela abaixo mostra os valores impressos para janeiro/1931.

```
PAT SERIE SBM    ANO  MES
  1   1931   1   1931    1
  NUS  JUS PRD  STVAL        USINA

  155  156 106     0.000 RETIRO BAIXO
  156  169 107     0.000 TRES MARIAS
  162  169 108     0.000 QUEIMADO
  169  172 118     0.000 SOBRADINHO
  172  176  97     0.000 ITAPARICA
  176  178 102     0.000 COMP PAF-MOX
  178    0 125     0.000 XINGO
```

Nesse período, há 82 usinas com STVAL maior que zero e 65 usinas com STVAL igual a zero. Portanto, as usinas do São Francisco têm ordem de prioridade nesse período maior ou igual a 83.

O atendimento às restrições foi verificado para todos os meses do histórico, de 01/1931 a 12/2019, totalizando 1068 períodos. Como resultado, verificaram-se as seguintes quantidades de violações:

Restrição	Períodos com violação
Vazão mínima em Três Marias	0
Vazão máxima em Três Marias	0
Vazão mínima em Sobradinho	5
Volume mínimo em Itaparica	0
Vazão máxima em Xingó	1
Vazão mínima em Xingó	456

A tabela a seguir apresenta o detalhamento dos períodos em que houve violação da vazão mínima em Sobradinho. Observa-se que os volumes em Sobradinho estão bastante reduzidos, de modo que a restrição não pode ser atendida.

Ano	Mês	Qaflu (m^3/s)	Qturb (m^3/s)	Qvert (m^3/s)	Qdefl (m^3/s)	Volume inicial (%)	Faixa	Qmin (m^3/s)	Verifica_Qmin
2017	8	289.32	613.35	0	**613.35**	3.9	restricao	700	VIOLACAO
2017	9	267.89	166.08	0	**166.08**	0.0	restricao	700	VIOLACAO
2017	10	366.11	253.69	0	**253.69**	0.0	restricao	700	VIOLACAO
2017	11	435.61	329.02	0	**329.02**	0.0	restricao	700	VIOLACAO
2018	10	507.72	530.37	0	**530.37**	1.3	restricao	700	VIOLACAO

A tabela a seguir apresenta o detalhamento do período em que houve violação da vazão máxima em Xingó.

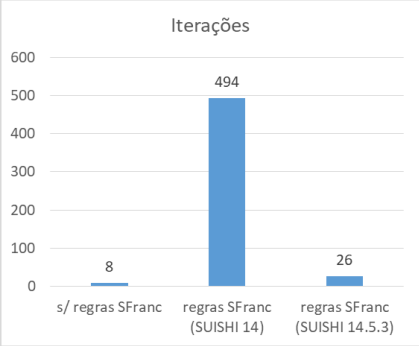
Ano	Mês	Sobradinho		Itaparica			Xingó	
		Qdefl (m^3/s)	Qmin (m^3/s)	Qaflu (m^3/s)	Qdefl (m^3/s)	Volume final (pu)	Qdefl (m^3/s)	Qmax (m^3/s)
2016	2	800	800	946.8	800	0.383	**834.62**	800

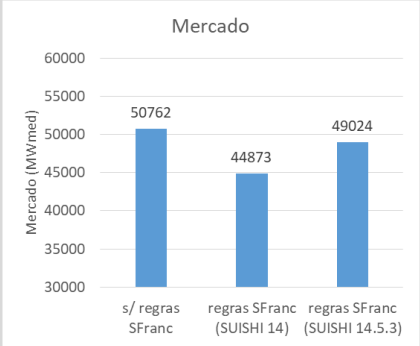
Observa-se que, no mesmo período, a vazão mínima de Sobradinho foi atendida, assim como a vazão mínima de Itaparica, vinda do arquivo modif. Neste ponto cabe esclarecer que as restrições impostas pelas regras do São Francisco sobrescrevem as mesmas restrições vindas do arquivo modif. No caso de Itaparica, como não existe vazão mínima nas regras, a vazão mínima do modif permanece válida. Conclui-se então que houve violação de vazão mínima em Xingó pois não é possível atender todas as restrições das três usinas ao mesmo tempo.

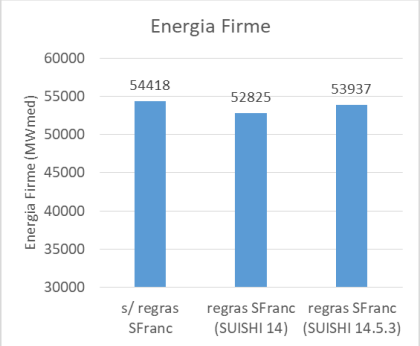
Quanto ao atendimento da vazão mínima em Xingó, destaca-se que, por ser uma usina a fio d'água, Xingó não tem capacidade de atender a restrição por si mesma, assim como as demais usinas do sistema. Sugere-se, como aprimoramento futuro, que seja avaliada uma solução para atendimento de vazão mínima em usinas a fio d'água.

Quanto ao tempo de execução, quando aplicadas as regras de operação do São Francisco, verificou-se um aumento de 72 segundos para 125 segundos, devido ao aumento do número de iterações, de 8 para 26. Esse aumento é bastante inferior é bastante inferior ao aumento que era observado na versão 14.0, na qual foram observados tempos de execução superiores a 600 segundos.

Com a nova abordagem presente na versão 14.5.3, o modelo conseguiu atingir em menos iterações um mercado de convergência mais alto que o obtido na versão 14.0. Há redução do mercado de convergência, conforme esperado, visto que a operação está mais restrita, mas não tão acentuado quanto o obtido na versão 14.0.







Caso com função prioridade com base na produtibilidade acumulada

A funcionalidade também foi testada para a função prioridade com base na produtibilidade acumulada. Foi considerando o mesmo caso verificado acima, apenas alterando a função prioridades de adaptativa para produtibilidade acumulada.

Foi verificado, no relatório de saída suishi.rel do caso, que a variável STVAL assume valores iguais para as usinas Retiro Baixo, Queimado, Três Marias, Sobradinho e Itaparica na maioria dos períodos, considerando três casas decimais. Em alguns períodos observa-se uma diferença máxima de 0,001 entre os valores de STVAL dessas usinas. Esse resultado é esperado, visto que a produtibilidade local atribuída a cada uma dessas usinas é igual a 0,0001, que somadas podem chegar a apresentar diferença de 0,001 na produtibilidade acumulada.

Como primeiro exemplo, a tabela abaixo mostra os valores impressos para janeiro/1931, que apresenta um aumento de 0,001 no valor de STVAL de Retiro Baixo em relação a Três Marias, imediatamente a jusante.

```
PAT SERIE SBM    ANO  MES
1   1931   1   1931    1
NUS  JUS PRD STVAL     USINA
           MWmes/m3/s
155  156 115 0.001 RETIRO BAIXO
156  169 122 0.000 TRES MARIAS
162  169 116 0.000 QUEIMADO
169  172 125 0.000 SOBRADINHO
172  176 129 0.000 ITAPARICA
176  178 136 0.000 COMP PAF-MOX
178    0 139 0.000 XINGO
```

Como segundo exemplo, a tabela abaixo mostra os valores impressos para junho/1931, em que Xingó e Complexo Paulo Afonso Moxotó têm produtibilidade diferente de zero, sendo somada na produtibilidade acumulada das usinas a montante.

```
PAT SERIE SBM    ANO  MES
  1   1931   1   1931    6
  NUS  JUS PRD STVAL     USINA
             MWmes/m3/s
  155  156  60 2.111 RETIRO BAIXO
  156  169  62 2.111 TRES MARIAS
  162  169  61 2.111 QUEIMADO
  169  172  63 2.111 SOBRADINHO
  172  176  64 2.111 ITAPARICA
  176  178  65 2.111 COMP PAF-MOX
  178    0  93 1.091 XINGO
```

Em ambos os períodos, as ordens de prioridade em relação às demais usinas do sistema estão coerentes com os valores de STVAL.

Foram verificadas as seguintes quantidades de violações no histórico, de 01/1931 a 12/2019 (1068 períodos):

Restrição	Períodos com violação
Vazão mínima em Três Marias	0
Vazão máxima em Três Marias	0
Vazão mínima em Sobradinho	5
Volume mínimo em Itaparica	0
Vazão máxima em Xingó	2
Vazão mínima em Xingó	452

Observa-se que há pouca diferença na frequência de violação das restrições nos casos com função adaptativa e por produtibilidade acumulada.

Caso com regras de operação apenas até novembro/1956

Foi realizado um teste adicional com a aplicação das regras de operação do São Francisco apenas até novembro de 1956. Com base no primeiro caso apresentado neste teste, o período final de aplicação foi alterado de dezembro/2019 (último mês do histórico) para novembro/1956.

O atendimento às restrições foi verificado para todos os meses do histórico, de 01/1931 a 11/1956, totalizando 311 períodos. Foram observadas apenas violações de vazão mínima em Xingó, que, conforme explicado anteriormente, por ser uma usina a fio d'água, é incapaz de atender a restrição por si mesma.

Restrição	Violações no período de aplicação das regras	"Violações" fora do período de aplicação das regras
Vazão mínima em Três Marias	0	0
Vazão máxima em Três Marias	0	33
Vazão mínima em Sobradinho	0	10
Volume mínimo em Itaparica	0	140
Vazão máxima em Xingó	0	54
Vazão mínima em Xingó	99	309

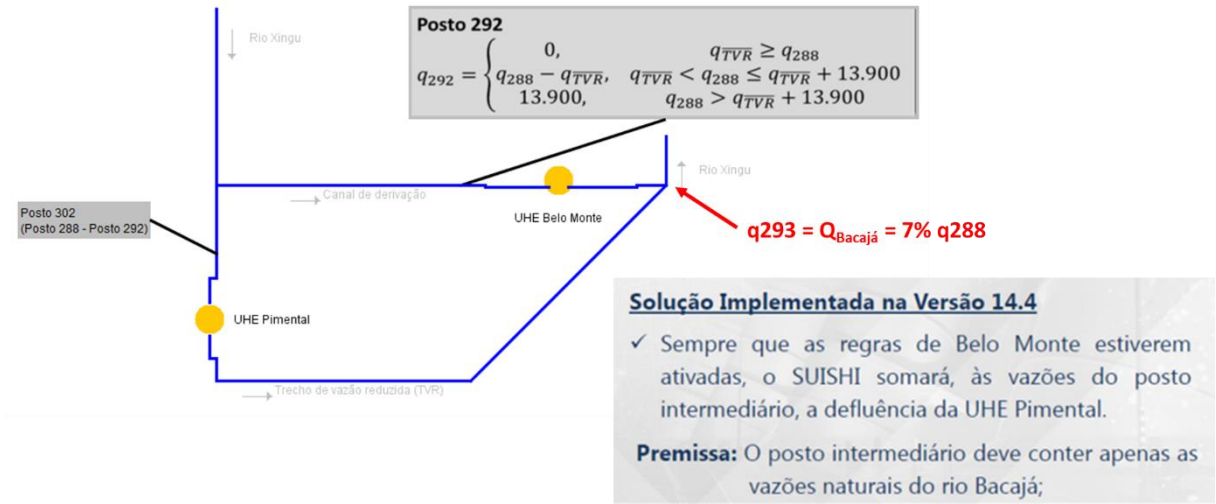
Quanto ao período compreendido entre dezembro/1956 e dezembro/2019 (757 meses), pela grande quantidade de períodos com valores simulados de vazão e volume fora do estabelecido nas regras de operação, verifica-se que a funcionalidade, conforme informado nos dados de entrada, foi aplicada corretamente apenas até novembro/1956.

Teste 2

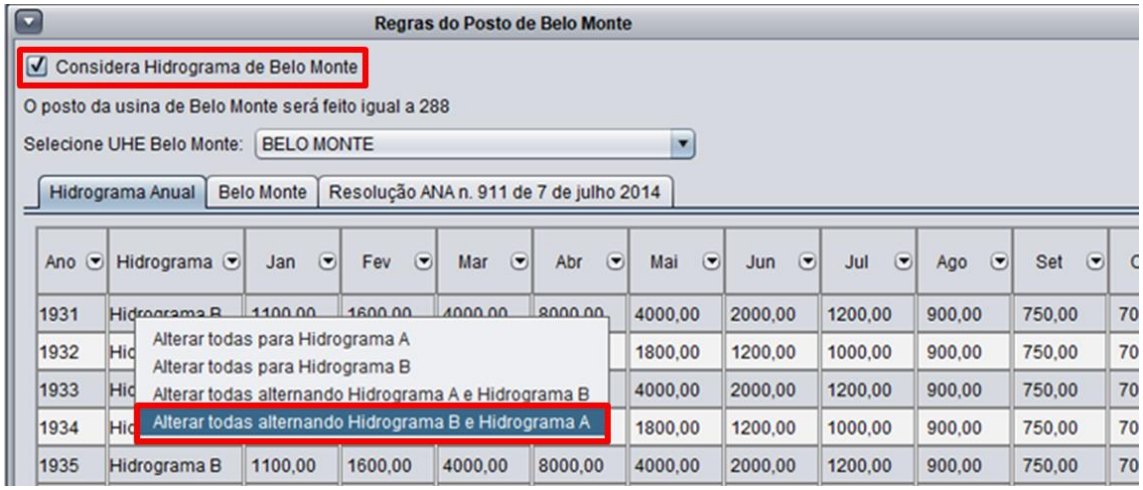
Em um caso de energia firme, ativar as "Regras do Posto de Belo Monte", executar o caso e verificar através dos arquivos USIHID se a divisão das vazões afluentes entre Belo Monte e Pimental respeita as regras e os hidrogramas propostos durante todo o horizonte de simulação.

EPE

A figura a seguir resume o cálculo das vazões afluentes às UHEs Belo Monte (posto 292) e Pimental (posto 302) ao considerar as "Regras do Posto de Belo Monte". Na versão 14.4 do SUISHI foi feita uma correção no cálculo da vazão a ser considerada na definição do canal de fuga da UHE Belo Monte. Para que este cálculo fosse considerado de forma correta pelo modelo, foi necessário fazer um ajuste no posto intermediário (posto 293) considerado pela EPE para que considerasse somente a vazão referente ao rio Bacajá (7% da vazão natural de Belo Monte, representada pelo posto 288).



Para a realização deste teste adotou-se o Caso Base do Leilão de Energia Nova A-3 e A-4/2021, disponibilizado no site da EPE. Adicionalmente, foram consideradas as “Regras do Posto de Belo Monte” com a alternância do hidrograma A e B, conforme definido na figura a seguir:



Para alterar a consideração dos hidrogramas, na janela “Hidrograma Anual”, clicar com o botão direito do mouse em cima da tabela e escolher a opção “Alterar todas alternando hidrograma B e hidrograma A”.

Verificamos através dos arquivos USIHID que a divisão das vazões afluentes entre Belo Monte e Pimental respeita as regras e os hidrogramas propostos durante todo o horizonte de simulação.

No entanto, observamos uma diferença nos valores de energia firme da usina de Belo Monte principal ao comparar o caso com as regras de operação de Belo Monte e com a

representação atualmente utilizada pela EPE, na qual o cálculo das vazões artificiais é externa ao modelo.

Usina	Energia Firme (MWmed)		
	Representação atual	Regras de Belo Monte	Diferença
Belo Monte	4.232,236	4.249,918	17,682
Pimental	145,915	145,915	0,000

A diferença na geração hidráulica está relacionada à definição do nível do canal de fuga da usina de Belo Monte principal. Para facilitar a verificação do cálculo do nível do canal de fuga, utilizamos um caso sem considerar a geração na ponta.

Desta forma, o nível do canal de fuga é calculado aplicando no polinômio de jusante a vazão defluente resultante da soma das vazões defluentes de Belo Monte e de Pimental (BMC), além do posto intermediário (293).

A tabela abaixo apresenta as diferenças encontradas:

ANO	MES	QTUR_BM	QVERT_BM	QTUR_BMC	QVERT_BMC	NW293_rev	Qdefl	CFUGA calculado	CFUGA usihid	dif
1931	1	5609	0	1100	0	470	7179	4.00	4.00	0.00
1931	2	13258	632	1703	0	1092	16685	5.95	5.61	**0.34**
1931	3	11016	0	1953	2047	1052	16068	5.83	5.01	**0.82**
1931	4	13491	402	2237	12240	1986	30355	8.15	8.15	0.00
1931	5	13286	607	2172	5313	1497	22875	7.08	5.80	**1.28**
1931	6	9150	0	1808	192	781	11931	4.98	4.98	0.00
1931	7	1999	0	1200	0	224	3423	3.32	3.32	0.00
1931	8	710	0	900	0	113	1723	3.06	2.95	**0.11**
1931	9	305	0	750	0	74	1129	2.98	2.90	**0.08**
1931	10	820	0	700	0	107	1627	3.04	2.95	**0.09**
1931	11	1599	0	800	0	169	2568	3.18	3.07	**0.11**
1931	12	3495	0	900	0	309	4704	3.53	3.38	**0.15**
1932	1	7177	0	1100	0	580	8857	4.34	4.12	**0.22**

Ao utilizar a versão 14.5.5 do modelo, que incorpora algumas atualizações referentes a esta funcionalidade, não foram observadas diferenças nos valores de canal de fuga e de geração hidráulica das UHEs Belo Monte e Pimental ao comparar o caso com a representação utilizada atualmente pela EPE e com a consideração das regras do posto de Belo Monte, tanto para os casos com e sem consideração da ponta.

As tabelas a seguir apresentam a comparação de geração hidráulica e canal de fuga entre os casos que consideram a ponta:

UHE Belo Monte

		representação atual		regras de Belo Monte			
ANO	MES	GHID	CFUGA	GHID	CFUGA	dif GHID	dif CFUGA
1931	1	4584.18	4.32	4584.18	4.32	0.00	0.00
1931	2	10679.13	5.95	10679.13	5.95	0.00	0.00
1931	3	8849.89	5.84	8849.89	5.84	0.00	0.00
1931	4	10555.41	8.15	10555.41	8.15	0.00	0.00
1931	5	10679.13	7.08	10679.13	7.08	0.00	0.00
1931	6	7418.19	5.03	7418.19	5.03	0.00	0.00
1931	7	1618.79	5.12	1618.79	5.12	0.00	0.00
1931	8	586.27	3.32	586.27	3.32	0.00	0.00
1931	9	252.9	2.98	252.9	2.98	0.00	0.00
1931	10	676.47	3.42	676.47	3.42	0.00	0.00
1931	11	1302.44	4.6	1302.44	4.6	0.00	0.00
1931	12	2855.91	4.34	2855.91	4.34	0.00	0.00
1932	1	5854.11	4.49	5854.11	4.49	0.00	0.00

UHE Pimental

		representação atual		regras de Belo Monte			
ANO	MES	GHID	CFUGA	GHID	CFUGA	dif GHID	dif CFUGA
1931	1	136.6	82.69	136.6	82.69	0.00	0.00
1931	2	206.45	83.03	206.45	83.03	0.00	0.00
1931	3	216.39	84.21	216.39	84.21	0.00	0.00
1931	4	189.47	87.19	189.47	87.19	0.00	0.00
1931	5	216.39	85.49	216.39	85.49	0.00	0.00
1931	6	216.39	83.2	216.39	83.2	0.00	0.00
1931	7	148.48	82.74	148.48	82.74	0.00	0.00
1931	8	112.49	82.6	112.49	82.6	0.00	0.00
1931	9	94.07	82.55	94.07	82.55	0.00	0.00
1931	10	87.86	82.54	87.86	82.54	0.00	0.00
1931	11	100.24	82.56	100.24	82.56	0.00	0.00
1931	12	112.49	82.6	112.49	82.6	0.00	0.00
1932	1	136.6	82.69	136.6	82.69	0.00	0.00

Não foram verificadas diferenças ao longo de todo o período de simulação. Consequentemente, não foram observadas diferenças nos valores de energia firme ao comparar estes dois casos.

Usina	**Energia Firme (MWmed)**		
	Representação atual	**Regras de Belo Monte**	**Diferença**
Belo Monte	4.232,236	4.232,236	0,000
Pimental	145,915	145,915	0,000

Este resultado comprova a correta aplicação da funcionalidade das regras do posto de Belo Monte.

Teste 3

Converter e executar um caso de energia firme a partir de um deck NEWAVE que NÃO contenha o arquivo polinjus.dat.

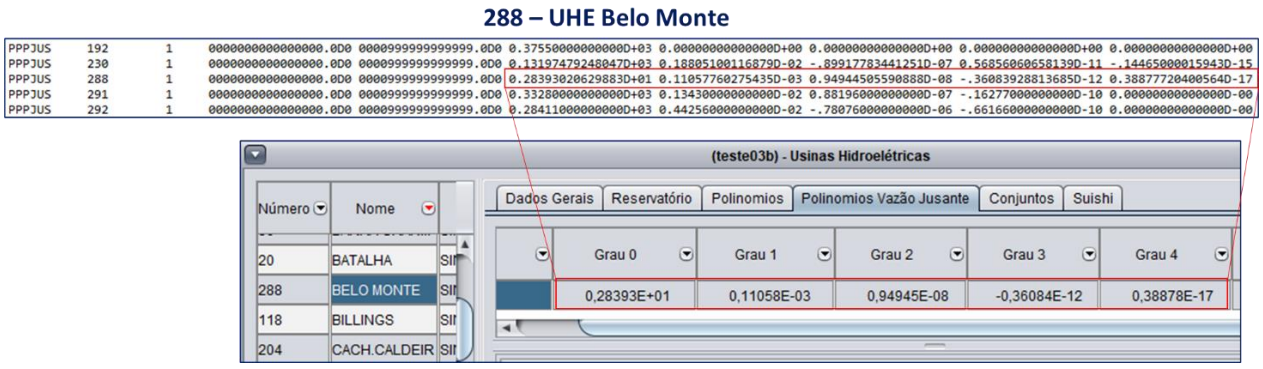
Para uma usina escolhida, calcular externamente o nível de jusante para diversos períodos com diferentes valores de vazão defluente, considerando a interpolação entre dois polinômios, quando a cota de montante da usina de jusante estiver entre dois valores de referência. Comparar com os valores impressos no arquivo USIHID.

Outra maneira de se realizar o teste é verificar se dois casos que consideram os mesmos polinômios, um sem polinjus (com polinômios do arquivo HIDR) e outro com polinjus, chegam aos mesmos resultados.

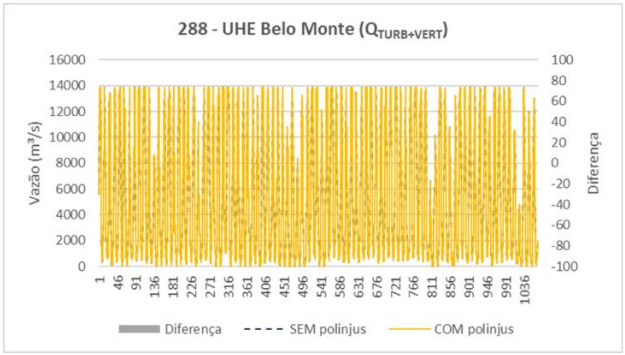
CCEE

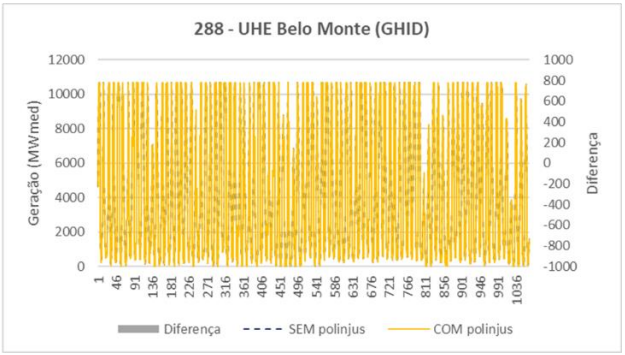
O teste foi realizado pela CCEE utilizando o caso do NEWAVE de março de 2021, nas versões 14.5.4 e 14.5.5 do SUISHI. A avaliação foi feita comparando-se os resultados dos casos com e sem o arquivo polinjus.dat, sendo avaliadas usinas com os mesmos polinômios.

Os *prints* mostrados na figura abaixo mostram os polinômios iguais para a UHE Belo Monte e na sequência é mostrada a vazão (turbinada+vertida) e a geração hidráulica (GHID) obtidas pelo caso executado na versão 14.5.4 com e sem o arquivo polinjus.



Polinômio para a UHE Belo Monte: polinjus.dat (acima); ENCAD (abaixo).



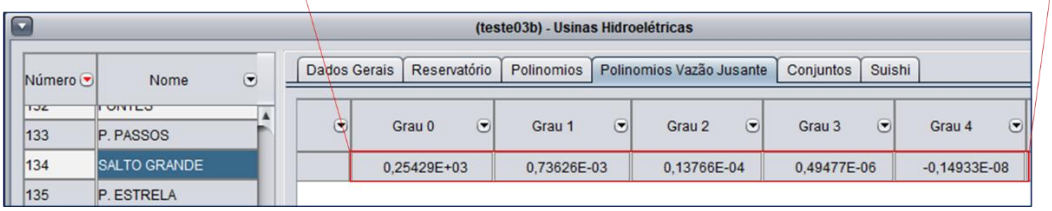


Resultados de vazão turbinada + vertida (esquerda) e GHID (direita) para UHE Belo Monte – v14.5.4.

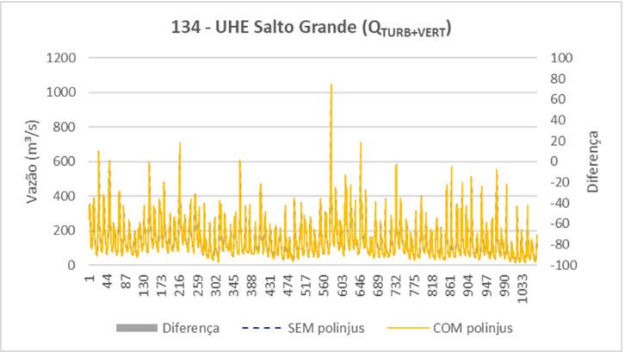
Seguindo a mesma linha do resultado anterior, a Figura abaixo mostra valores de polinômios iguais e exemplos de resultados de saída para os casos com e sem o arquivo polinjus para a UHE Salto Grande na versão 14.5.4.

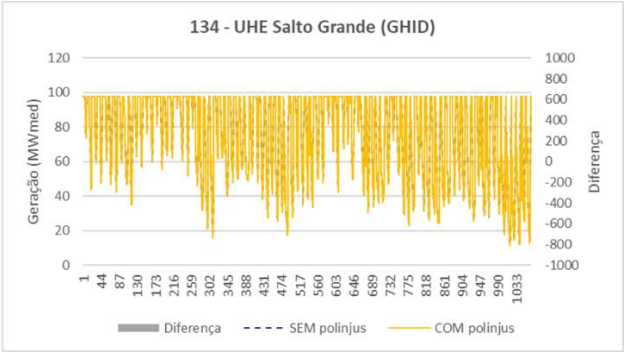
134 – Salto Grande

```
PPPJUS     55     1     0000000000000000.0D0 0000999999999999.0D0 0.70049000000000D+03 0.95463000000000D-02 -.18619000000000D-04 0.21480000000000D-07 -.92144000000000D-11
PPPJUS    134     1     0000000000000000.0D0 0000999999999999.0D0 0.25428599548340D+03 0.73626497760415D-03 0.13766300071438D-04 0.49477097263662D-06 -.14933000391792D-08
PPPJUS    124     1     0000000000000000.0D0 0000999999999999.0D0 0.90300003051758D+02 0.00000000000000D+00 0.00000000000000D+00 0.00000000000000D+00 0.00000000000000D+00
```



Polinômio para a UHE Salto Grande: polinjus.dat (acima); ENCAD (abaixo).

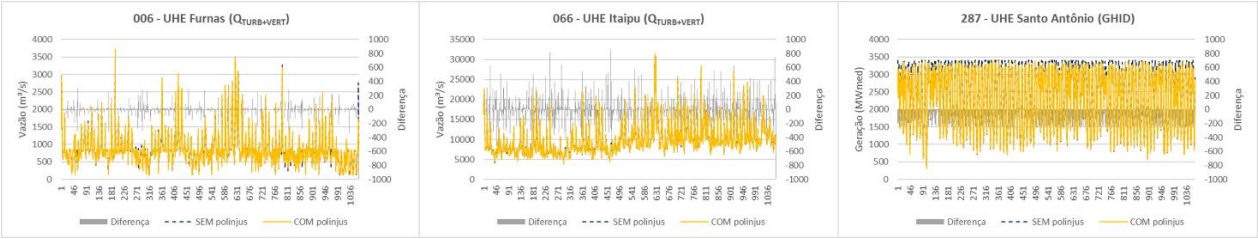




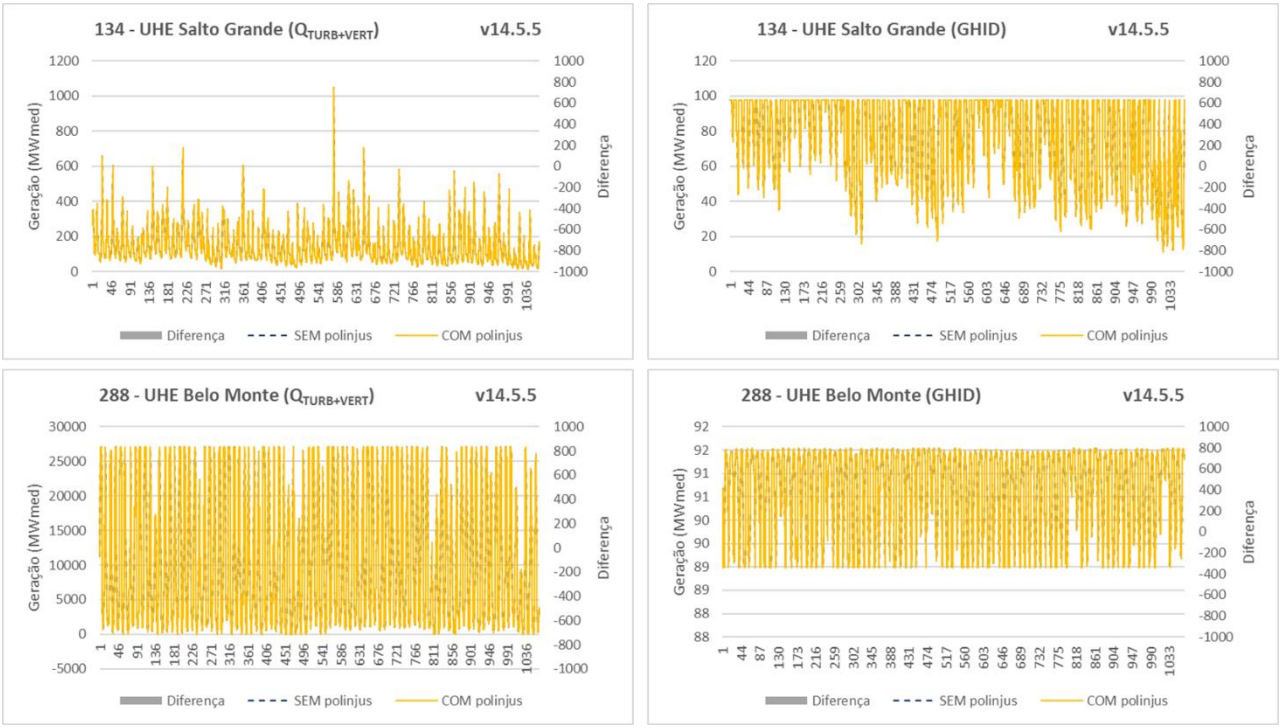
Resultados de vazão turbinada + vertida (esquerda) e GHID (direita) para UHE Salto Grande – v14.5.4.

Os resultados para as usinas com mesmos polinômios, executados com e sem o arquivo polinjus, foram os mesmos, sendo o teste aprovado.

Os gráficos abaixo mostram exemplos de saídas de casos executados com e sem o arquivo polinjus, para usinas com polinômios diferentes. Nesse caso foram evidenciados os resultados diferentes, conforme o esperado.



Foi executado o mesmo teste na versão 14.5.5, e novamente foram verificados os mesmos resultados (Figura abaixo) para as usinas com mesmos polinômios, **sendo o teste aprovado na versão 14.5.5**.



EPE

Para a realização deste teste adotou-se o Caso Base do LEE A-4 e A-5/2021 e LEN A-3 e A-4/2021 sem parametrização[1]. O caso foi rodado na versão 14.5 do SUISHI (ENCAD 5.6.21).

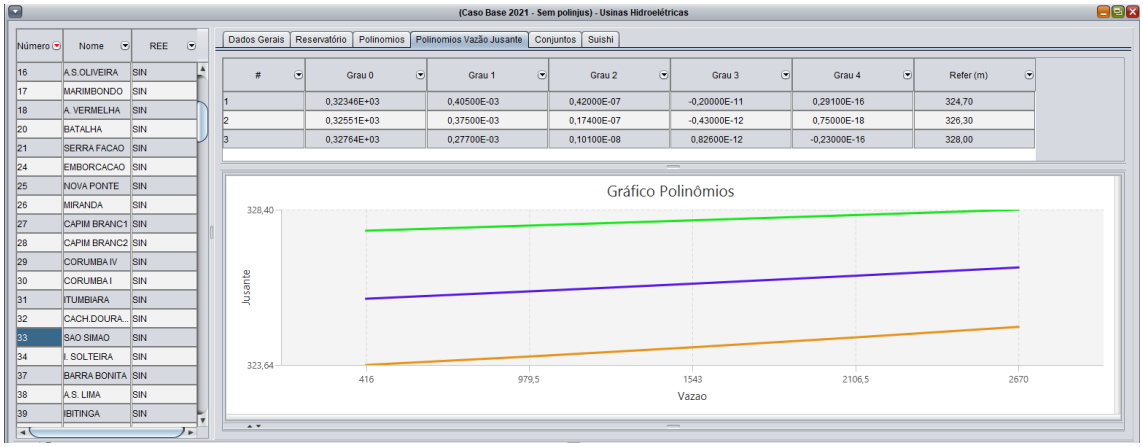
[1] O roteiro de parametrização do SUISHI para cálculo de garantia física pode ser encontrado na página https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/parametrizacao-do-suishi-para-calculo-de-garantia-fisica-de-usinas-despachadas-centralizadamente.

No caso em questão, apenas duas UHE possuem mais de uma família de polinômios (Emborcação e São Simão). Foram calculados externamente os níveis de canal de fuga da UHE São Simão para todos os períodos da seguinte forma:

1) Cálculo da vazão defluente do período (vazão turbinada, quando não há influência do vertimento no canal de fuga, ou vazão turbinada mais vazão vertida, quando há influência);
2) Escolha dos polinômios com HjusRef imediatamente inferior e imediatamente superior ao nível de montante da usina de jusante;
3) Para cada um dos dois polinômios, cálculo do canal de fuga utilizando a vazão defluente correspondente;
4) Interpolação dos canais de fuga obtidos pelos dois polinômios (caso o nível de montante da usina de jusante seja superior ao maior HjusRef ou inferior ao menor HjusRef, não há interpolação);
5) Limitação pela cota de montante da usina de jusante.

A UHE São Simão possui 3 polinômios cadastrados no arquivo hidr.dat. E o vertimento não influencia no canal de fuga.

A usina a jusante de São Simão é Ilha Solteira. Portanto, o polinômio a ser utilizado para o cálculo da altura do canal de fuga dependerá da cota de montante da UHE Ilha Solteira. A figura abaixo ilustra os 3 polinômios da UHE São Simão:



Através de uma planilha, calculou-se externamente os valores de canal de fuga, comparando-os com os valores impressos pelo SUISHI.

NUMUHE	ANO	MES	SERIE	CFUGA	COTAM - I	QDEFL	CFUGA 1	CFUGA 2	CFUGA 3	CFUGA Calc	Diferença
33	1931	1	1931	328.32	328.01	2385.1	324.64	326.50	328.32	328.32	0.00
33	1931	2	1931	328.32	328.01	2385.1	324.64	326.50	328.32	328.32	0.00
33	1931	3	1931	328.32	328.01	2385.1	324.64	326.50	328.32	328.32	0.00
33	1931	4	1931	328.32	328.01	2385.1	324.64	326.50	328.32	328.32	0.00
33	1931	5	1931	328.32	328.01	2385.1	324.64	326.50	328.32	328.32	0.00
33	1931	6	1931	328.13	328.01	1730.34	324.28	326.21	328.13	328.13	0.00
33	1931	7	1931	328.07	328.01	1543.65	324.18	326.13	328.07	328.07	0.00
33	1931	8	1931	328.17	327.9	2263.7	324.57	326.44	328.28	328.17	0.00
33	1931	9	1931	327.97	327.78	2025.25	324.44	326.34	328.21	327.97	0.00
33	1931	10	1931	327.86	327.66	2111.91	324.48	326.38	328.24	327.86	0.00
33	1931	11	1931	327.68	327.55	1920.42	324.38	326.29	328.18	327.68	0.00
33	1931	12	1931	327.66	327.66	971.51	323.89	325.89	327.91	327.66	0.00
33	1932	1	1931	328.21	327.9	2389.01	324.64	326.50	328.32	328.21	0.00
33	1932	2	1931	328.32	328.01	2385.1	324.64	326.50	328.32	328.32	0.00
33	1932	3	1931	328.32	328.01	2385.1	324.64	326.50	328.32	328.32	0.00
33	1932	4	1931	328.32	328.01	2385.1	324.64	326.50	328.32	328.32	0.00
33	1932	5	1931	328.08	328.01	1580.93	324.20	326.14	328.08	328.08	0.00
33	1932	6	1931	328.02	328.01	1350.34	324.08	326.05	328.02	328.02	0.00
33	1932	7	1931	328.17	328.01	1895.46	324.37	326.28	328.17	328.17	0.00
33	1932	8	1931	328.01	327.78	2153.66	324.51	326.39	328.25	328.01	0.00
33	1932	9	1931	327.56	327.43	1966.08	324.40	326.31	328.19	327.56	0.00
33	1932	10	1931	327.27	327.19	1888.28	324.36	326.28	328.17	327.27	0.00
33	1932	11	1931	327.09	327.07	1769.4	324.30	326.23	328.14	327.09	0.00
33	1932	12	1931	327.43	327.43	1238.91	324.02	326.00	327.99	327.43	0.00
33	1933	1	1931	328.21	327.9	2396.59	324.65	326.50	328.32	328.21	0.00
33	1933	2	1931	328.32	328.01	2385.1	324.64	326.50	328.32	328.32	0.00

Não foi encontrada diferença entre os cálculos externos e o canal de fuga impresso no USIHID, com exceção de alguns períodos com diferença de 0,01 m, considerada aceitável dada a precisão dos cálculos.

A segunda etapa do teste consistiu em verificar se 2 casos que utilizam os mesmos polinômios Vazão x Nível de Jusante, sendo um diretamente pelo arquivo HIDR e outro utilizando o arquivo polinjus, apresentam resultados idênticos.

Primeiramente, foi feita uma transformação dos dados de polinômios Vazão x Nível de Jusante do arquivo hidr para o formato do arquivo polinjus:

		DADOS DE JUSANTE																	
	CADASTRO	POLINÔMIOS																	
CodUsina	Usina	PJA0(1)	PJA1(1)	PJA2(1)	PJA3(1)	PJA4(1)	PJRM(1)	PJA0(2)	PJA1(2)	PJA2(2)	PJA3(2)	PJA4(2)	PJRM(2)	PJA0(3)	PJA1(3)	PJA2(3)	PJA3(3)	PJA4(3)	PJRM(3)
25	NOVA PONTE	6.932959E+02	1.257210E-02	-1.268820E-05	8.511947E-09	-2.142290E-12													
26	MIRANDA	6.245249E+02	1.783300E-03	-5.984140E-07	1.599400E-10	-1.986530E-14	0.00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.00
27	CAPIM BRANC1	5.646370E+02	5.551577E-03	-1.848530E-06	3.251779E-10	-2.094550E-14	0.00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.00
28	CAPIM BRANC2	5.172000E+02	4.539598E-03	-2.473699E-06	1.062400E-09	-1.874800E-13	0.00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.00
29	CORUMBA IV	7.693866E+02	1.473150E-02	-1.023646E-05	3.778412E-09	-5.258772E-13	0.00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.00
30	CORUMBA I	5.109910E+02	1.624130E-02	-1.182950E-05	3.080540E-09		0.00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.00
31	ITUMBIARA	4.330000E+02	1.595840E-03	-8.177386E-08	3.173500E-12		0.00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.00
32	CACH DOURADA	3.985759E+02	2.123750E-03	-2.682220E-07	2.291829E-11		0.00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.00
33	SAO SIMAO	3.234600E+02	4.049998E-04	4.200000E-08	-2.000000E-12	2.909999E-17	324.70	3.255098E+02	3.749998E-04	1.740000E-08	-4.299999E-13	7.500000E-19	326.30	3.276399E+02	2.769998E-04	1.010000E-09	8.260000E-13	-2.299999E-17	328.00
34	_I. SOLTEIRA	2.799539E+02	4.268529E-05	4.249710E-08	-3.101150E-12	6.556129E-17	0.00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.00

```
& Caso Base de Garantia Fisica 2021
&&&
```

Nome do Arquivo	Pasta	Resultado da comparação
re.dat		Os arquivos texto são idênticos
ree.csv		Os arquivos texto são idênticos
ree.dat		Os arquivos texto são idênticos
replaca.eas		Idênticos
RUNSTATE.DAT		Os arquivos texto são idênticos
RUNTRACE.DAT		Os arquivos texto são idênticos
sar.dat		Os arquivos texto são idênticos
selvar.dat		Os arquivos texto são idênticos
shist.eas		Os arquivos texto são idênticos
sistema.eas		Os arquivos texto são idênticos
subsis.csv		Os arquivos texto são idênticos
Suishi.html		Os arquivos texto são idênticos
suishi.rel		Os arquivos texto são diferentes
tecno.dat		Os arquivos texto são idênticos
term.eas		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_001.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_002.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_004.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_006.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_007.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_008.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_009.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_010.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_011.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_012.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_014.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_015.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_016.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_017.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_018.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_020.CSV		Os arquivos texto são idênticos

Teste 4

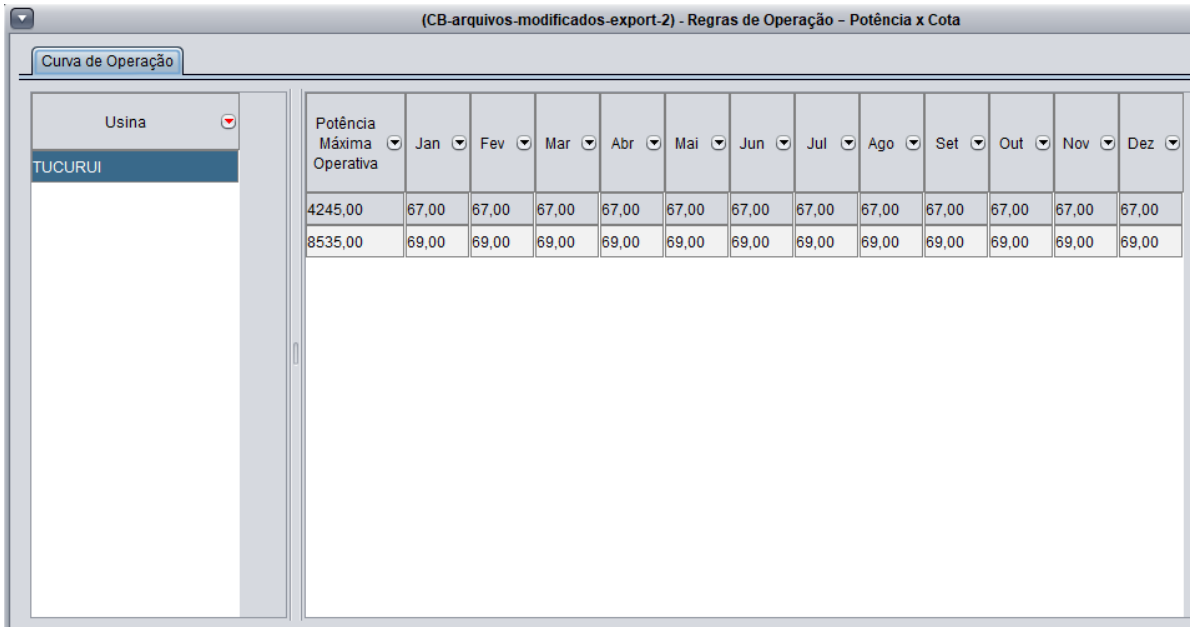
Em um caso de energia firme, ativar o flag “Considera Regras de Operação - Potência x Cota” na janela Dados do Caso, aba Flags de Controle. As regras podem ser consideradas conforme arquivo *default* ou alteradas.

Executar o caso e verificar o atendimento da restrição de potência máxima em função da cota média do período.

EPE

Teste realizado através do Caso Base do LEE A-4 e A-5/2021 e LEN A-3 e A-4/2021 sem parametrização. O caso foi rodado na versão 14.5.3 do SUISHI (ENCAD 5.6.26).

O arquivo default (cotapot.dat), exemplifica restrições de potência máxima para a UHE Tucuruí, foi utilizado para a validação. No entanto, para tornar a restrição de cota média ativa, utilizaram-se os valores indicados na figura abaixo.



Potência Máxima Operativa	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
4245,00	67,00	67,00	67,00	67,00	67,00	67,00	67,00	67,00	67,00	67,00	67,00	67,00
8535,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00

Dessa maneira, os resultados obtidos para a variável GHID atendeu o valor de potência máxima operativa, quando a cota média (COTAM) foi simulada inferior aos valores mensais especificados. Os resultados foram validados tanto pelos arquivos gerados através da interface do Encad selecionando as variáveis COTAM e GHID, como também pelo relatório gerado em arquivo texto, COTAPOT.REL.

ONS

O teste foi realizado pelo ONS utilizando como caso base o PMO de Abril/2021 e inicialmente utilizando o SUISHI na versão 14.5.0. Para sua realização, foi ativado o flag “Considera Regras de Operação – Potência x Cota” e o atendimento às regras de operação foi avaliado por meio dos dados de COTAM, PDIS, PDISPR, PDISP_QMIN e GHID.

- Caso 1: utilizando arquivos *default*

No primeiro caso, utilizou-se o arquivo *default* das regras de operação para a usina de Tucuruí, conforme imagem abaixo.

Caso 1: Regras de Operação – Potência x Cota

(Teste 4) - Regras de Operação – Potência x Cota

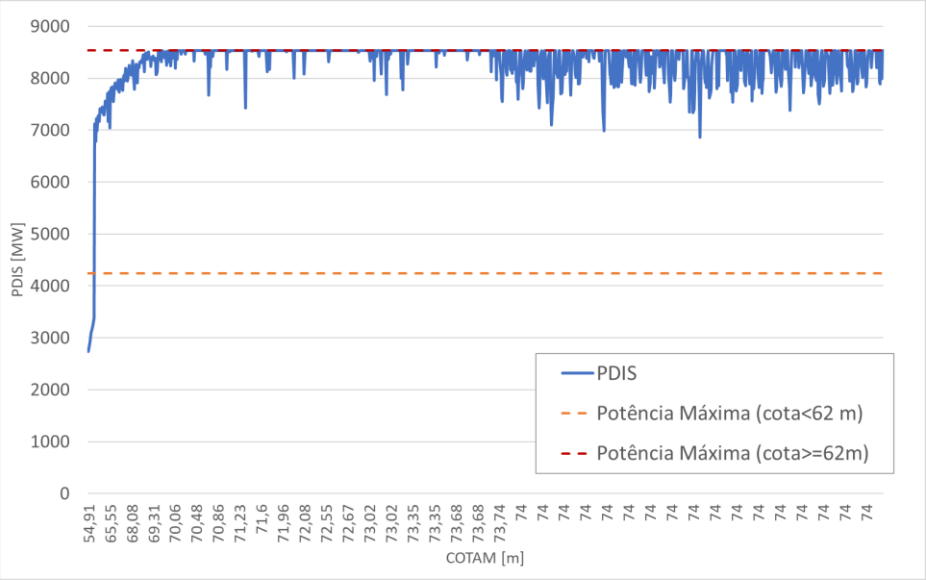
Curva de Operação

Usina: TUCURUI

Potência Máxima Operativa	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
4245,00	51,60	51,60	51,60	51,60	51,60	51,60	51,60	51,60	51,60	51,60	51,60	51,60
8535,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00

Não foram encontradas inconsistências no atendimento à restrição e o gráfico a seguir exemplifica o resultado encontrado para as variáveis PDIS e COTAM. Observa-se que as potências associadas às cotas inferiores a 62 metros encontram-se abaixo da potência de 4.245 MW, enquanto as potências associadas às cotas acima de 62 metros são limitadas ao valor de 8.535 MW.

Caso 1: Relação Potência Verificada (PDIS) x Cota (COTAM)



- Caso 2: incluindo uma nova usina – Passo Real

Neste caso, incluiu-se a usina de Passo Real no arquivo de Regras de Operação – Potência x Cota, de acordo com a figura a seguir.

Caso 2: Regras de Operação – Potência x Cota

(Teste4_passo real) - Regras de Operação – Potência x Cota

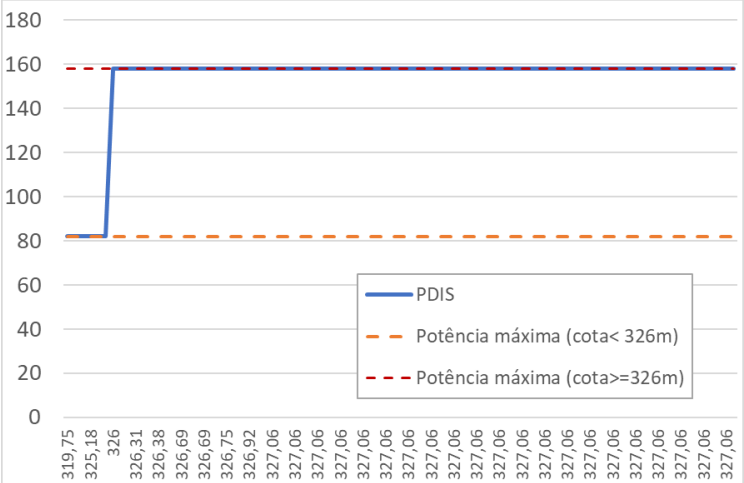
Curva de Operação

Usina: PASSO REAL, TUCURUI

Potência Máxima Operativa	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
82,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
158,00	310,00	320,00	323,00	315,00	311,00	318,00	326,00	321,00	313,00	320,00	324,00	325,00

Não foram encontradas inconsistências no atendimento à restrição e o gráfico a seguir exemplifica o resultado encontrado para as variáveis PDIS e COTAM para o mês de julho. É possível verificar a limitação da potência associada à cotas abaixo de 326 metros em 82 MW e, para cotas iguais ou superiores a 326 metros o valor foi limitado a 158 MW.

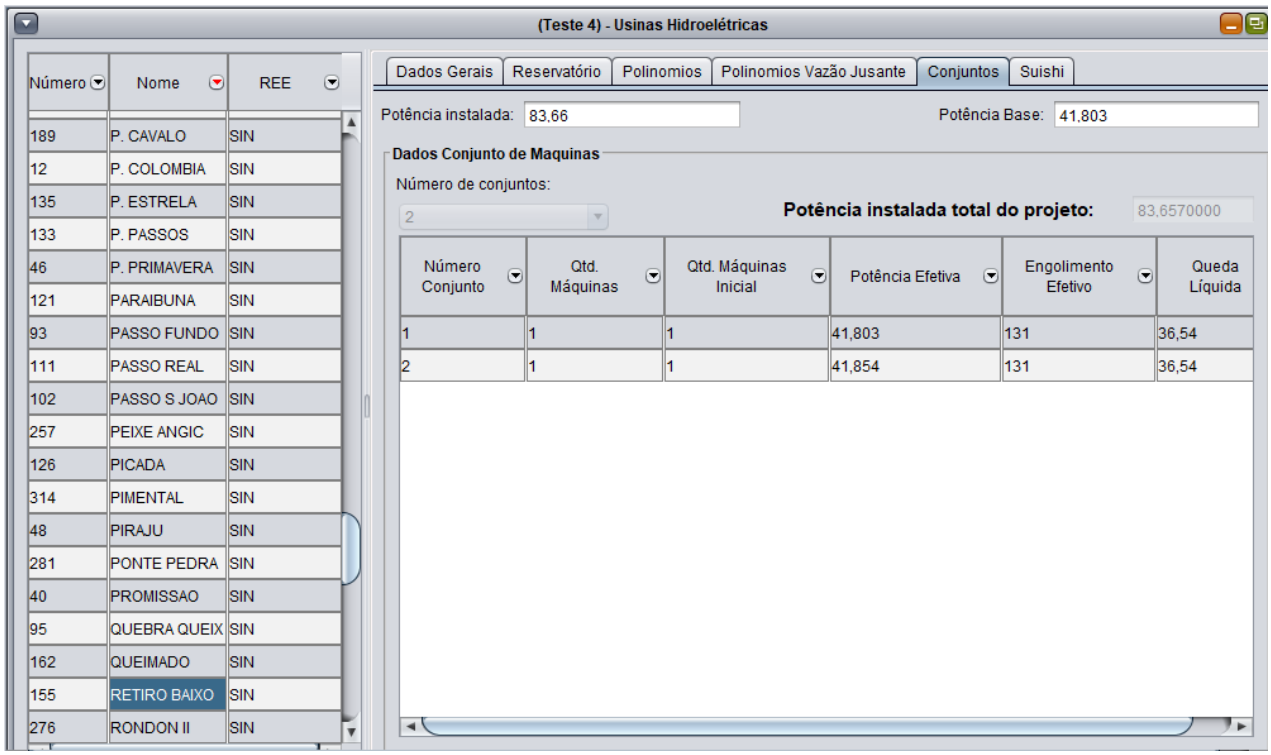
Caso 2: Relação Potência Verificada (PDIS) x Cota (COTAM)



- Caso 3: incluindo uma nova usina – Retiro Baixo

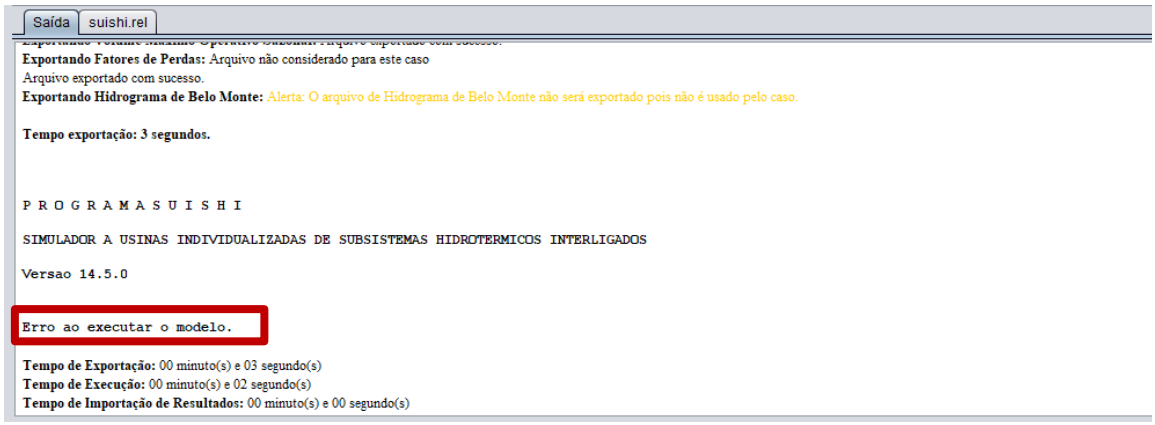
No terceiro caso estudado, ao incluir a usina de Retiro Baixo nas regras de operação Potência x Cota, não foi possível informar a potência dos conjuntos de máquinas com três casas decimais, de acordo com o cadastro da usina apresentado a seguir.

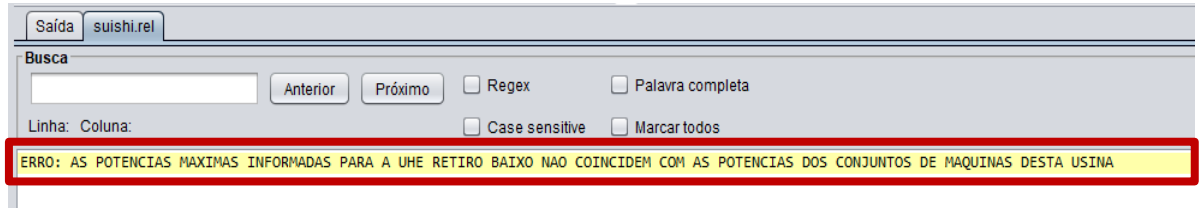
Caso 3: Dados dos conjuntos de máquinas de Retiro Baixo



Ao realizar o teste com o valor de potência com duas casas decimais, a execução do caso apresentou erro de potência informada não coincidente com a potência acumulada dos conjuntos de máquinas. Foram testadas as possibilidades de arredondamento superior e inferior, apresentando erros conforme imagens a seguir.

Caso 3: Mensagens de erro após execução





O problema detectado foi corrigido pelo CEPEL na versão 14.5.3. Nesta nova versão, os Casos 1, 2 e 3 foram executados e não foram encontradas inconsistências.

Especificamente com relação ao Caso 3, ao informar a potência máxima de operação com três casas decimais, o SUISHI realiza automaticamente o arredondamento para duas casas decimais, e a execução é realizada com sucesso.

Posteriormente, os Casos 1, 2 e 3 foram executados na versão 14.5.5 do SUISHI e também não foram encontradas inconsistências.

Conclusão: o teste foi considerado aprovado.

Teste 5

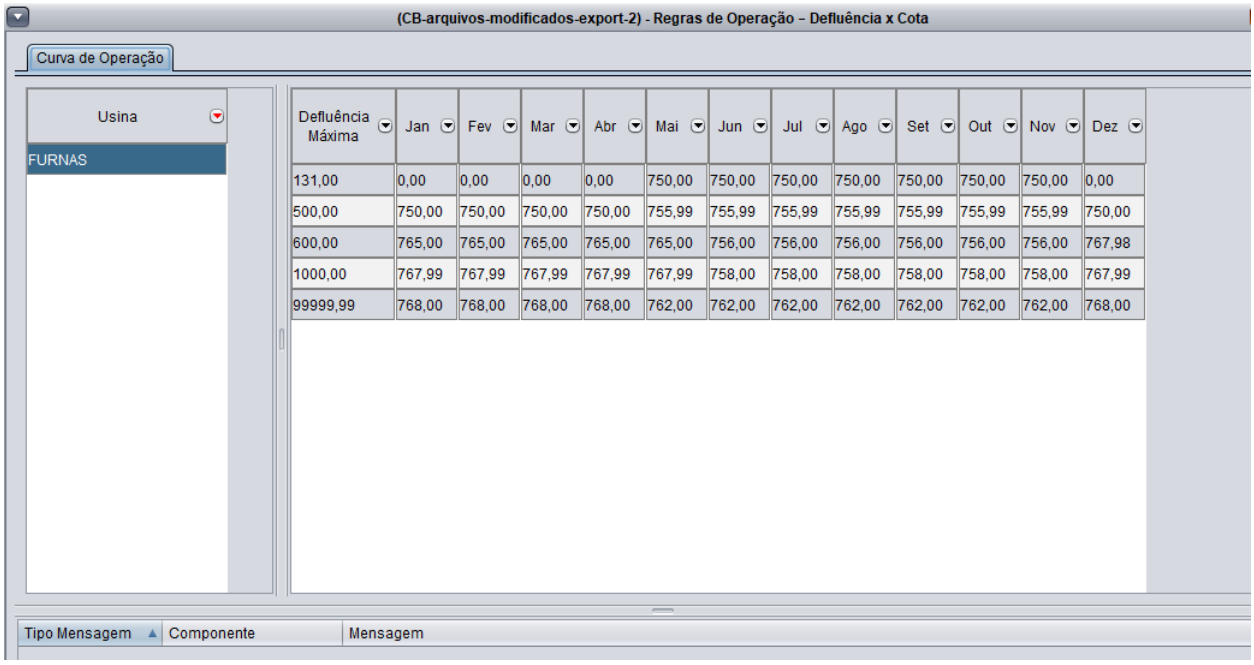
Em um caso de energia firme, ativar o flag “Considera Regras de Operação - Defluência x Cota” na janela Dados do Caso, aba Flags de Controle. As regras podem ser consideradas conforme arquivo *default* ou alteradas.

Executar o caso e verificar o atendimento da restrição de defluência máxima em função da cota média do período.

EPE

Teste realizado através do Caso Base do LEE A-4 e A-5/2021 e LEN A-3 e A-4/2021 sem parametrização. O caso foi rodado na versão 14.5.3 do SUISHI (ENCAD 5.6.26).

O arquivo default (cotareg.dat), exemplifica restrições de defluência máxima para a UHE Furnas, foi utilizado para a validação. No entanto, para tornar a restrição de cota média ativa, utilizaram-se os valores indicados na figura abaixo.



Defluência Máxima	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
131,00	0,00	0,00	0,00	0,00	750,00	750,00	750,00	750,00	750,00	750,00	750,00	0,00
500,00	750,00	750,00	750,00	750,00	755,99	755,99	755,99	755,99	755,99	755,99	755,99	750,00
600,00	765,00	765,00	765,00	765,00	765,00	756,00	756,00	756,00	756,00	756,00	756,00	767,98
1000,00	767,99	767,99	767,99	767,99	767,99	758,00	758,00	758,00	758,00	758,00	758,00	767,99
99999,99	768,00	768,00	768,00	768,00	762,00	762,00	762,00	762,00	762,00	762,00	762,00	768,00

Dessa maneira, os resultados obtidos para as variáveis QTUR e QVERT atenderam ao valor de defluência máxima, quando a cota média (COTAM) foi simulada inferior aos valores mensais especificados. Os resultados foram validados tanto pelos arquivos gerados através da interface do Encad selecionando as variáveis COTAM e QTUR e QVERT, como também pelo relatório gerado em arquivo texto, COTAREG.REL. Nas situações em que as restrições de defluência não foram atendidas, os volumes de final de etapa mensal simulados foram iguais a 100% do volume útil do reservatório da UHE.

ONS

O teste foi realizado pelo ONS utilizando como caso base o PMO de Abril/2021 e inicialmente utilizando o SUISHI na versão 14.5.0. Para sua realização, foi ativado o flag “Considera Regras de Operação – Defluência x Cota” e o atendimento às regras de operação foi avaliado por meio dos dados de defluência (QTUR + QVERT), COTAM e PUVOL.

- Caso 1: utilizando arquivos *default*

No primeiro caso, utilizou-se o arquivo *default* das regras de operação para a usina de Furnas, conforme imagem abaixo.

Caso 1: Regras de Operação – Defluência x Cota

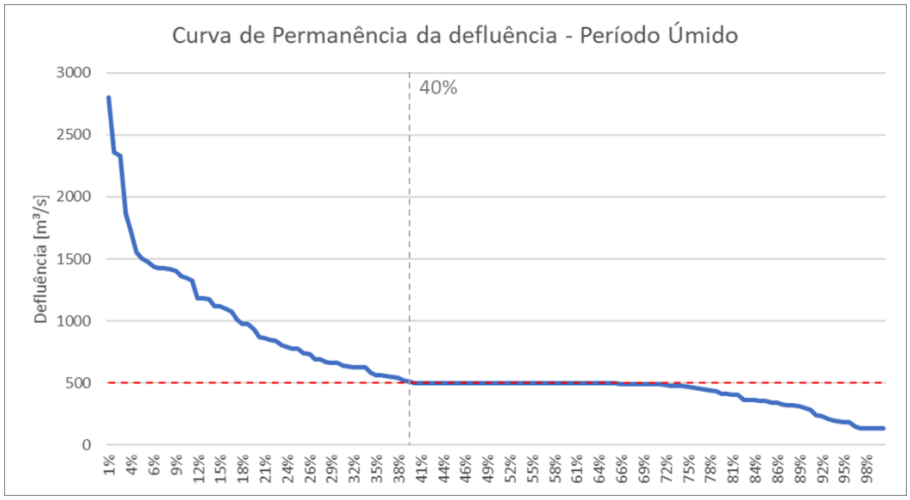
(Teste 5) - Regras de Operação – Defluência x Cota

Curva de Operação

Usina: FURNAS

Defluência Máxima	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
131,00	0,00	0,00	0,00	0,00	750,00	750,00	750,00	750,00	750,00	750,00	750,00	0,00
500,00	750,00	750,00	750,00	750,00	755,99	755,99	755,99	755,99	755,99	755,99	755,99	750,00
600,00	767,98	767,98	767,98	767,98	756,00	756,00	756,00	756,00	756,00	756,00	756,00	767,98
1000,00	767,99	767,99	767,99	767,99	758,00	758,00	758,00	758,00	758,00	758,00	758,00	767,99
99999,99	768,00	768,00	768,00	768,00	762,00	762,00	762,00	762,00	762,00	762,00	762,00	768,00

Analisando os resultados da simulação para o período úmido (dezembro a abril), verificou-se a ocorrência de defluências superiores ao limite de 500 m³/s em cerca de 40% das observações associadas a cotas não superiores a 767,98, de acordo com a curva de permanência apresentada abaixo.

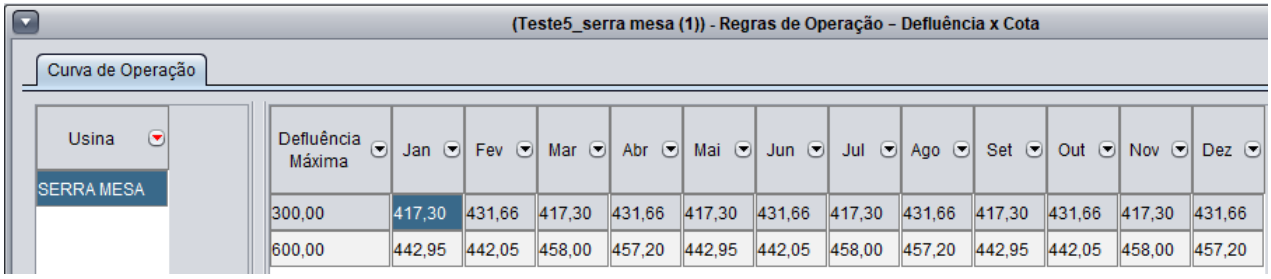


Aprofundando a análise, verificou-se que para todas as observações cuja defluência realizada foi superior ao limite estabelecido pela regra, o volume final equivale a 100% do volume útil (PUVOL = 1). Esse fato justifica a violação da regra de operação e, portanto, conclui-se que não foram encontradas inconsistências na realização do teste.

- Caso 2: incluindo uma nova usina – Serra da Mesa

Para o segundo caso, alterou-se o arquivo de regras de operação por meio da interface do programa incluindo a usina de Serra da Mesa, de acordo com a imagem a seguir.

Caso 2: Regras de Operação – Defluência x Cota



(Teste5_serra mesa (1)) - Regras de Operação – Defluência x Cota

Curva de Operação

Usina	Defluência Máxima	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
SERRA MESA	300,00	417,30	431,66	417,30	431,66	417,30	431,66	417,30	431,66	417,30	431,66	417,30	431,66
	600,00	442,95	442,05	458,00	457,20	442,95	442,05	458,00	457,20	442,95	442,05	458,00	457,20

Foram observadas defluências superiores ao limite estabelecido pela regra em 35% das observações. Entretanto, essas violações também estão associadas à ocorrência de um volume final de 100% do volume útil. Dessa maneira, não foram constatadas inconsistências na execução do caso.

Posteriormente, os Casos 1 e 2 foram executados nas versões 14.5.3 e 14.5.5 do SUISHI e não foram encontradas inconsistências.

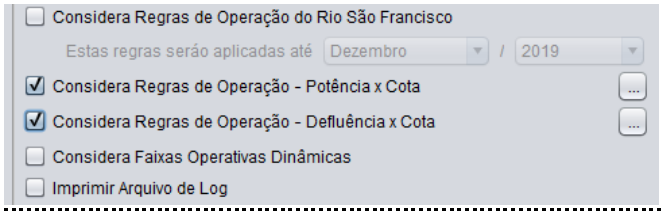
Conclusão: o teste foi considerado aprovado.

Teste 6

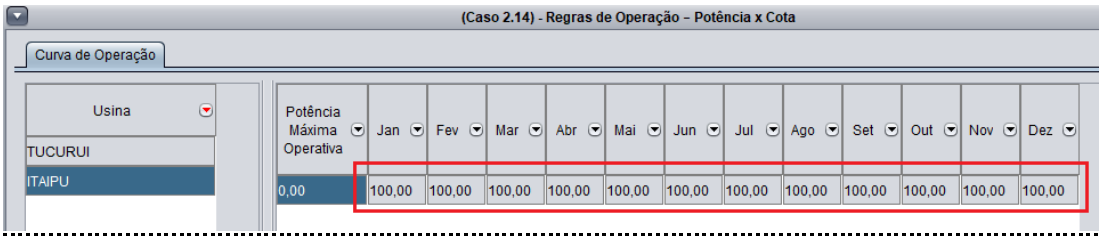
Em um caso de energia firme, usar regras de operação “Potência x Cota” e/ou “Defluência x Cota” para uma usina a fio d’água, e executar o caso. Verificar a mensagem de erro apresentada e a interrupção da execução.

CCEE

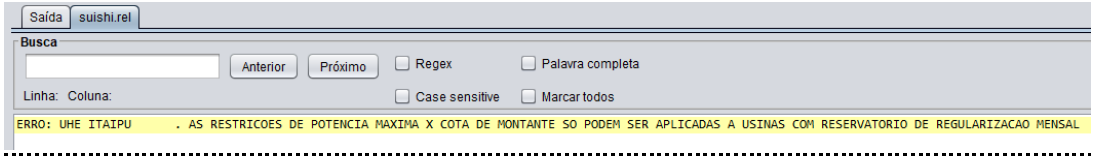
O teste foi realizado pela CCEE utilizando o caso do NEWAVE de março de 2021, na versão 14.5.5 do SUISHI, com o ENCAD na versão 5.6.27. Foi executado o caso com as regras de operação: Potência x Cota e Defluência x Cota, conforme mostrado na imagem abaixo.



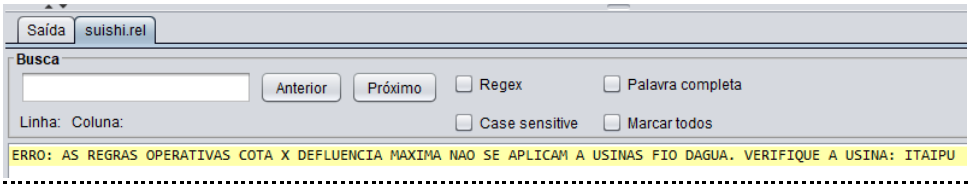
Foi incluída uma usina a fio d’água, Itaipu, sendo declarados valores arbitrários de regra de operação – Potência x Cota, indicados na figura abaixo.



Ao executar o caso foi apresentado o erro esperado no suishi.rel: “as restrições de potência máxima só podem ser aplicadas a usinas com reservatório de regularização mensal”.



Aplicando o mesmo teste, mas para Defluência x Cota, foi encontrado o erro esperado, **sendo o teste aprovado**: “As regras operativas Cota x Defluência não se aplicam a usinas a fio d’água”.

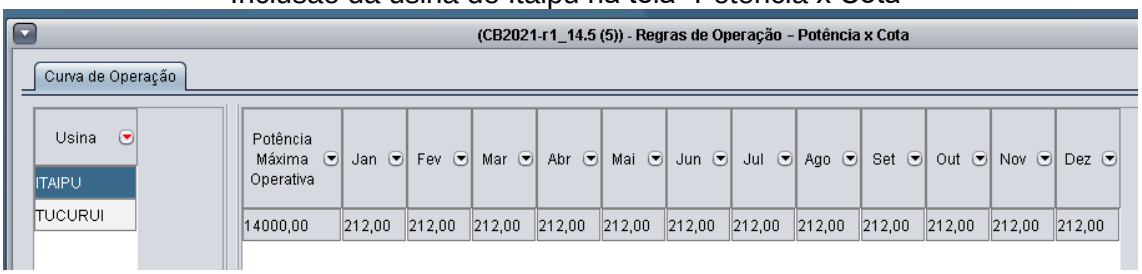


EPE

O teste foi realizado utilizando o deck do Caso Base do LEE A-4 e A-5/2021 e LEN A-3 e A-4/2021, com a parametrização para cálculo de garantia física. O caso foi rodado na versão 14.5.4 do SUISHI (ENCAD 5.6.26).

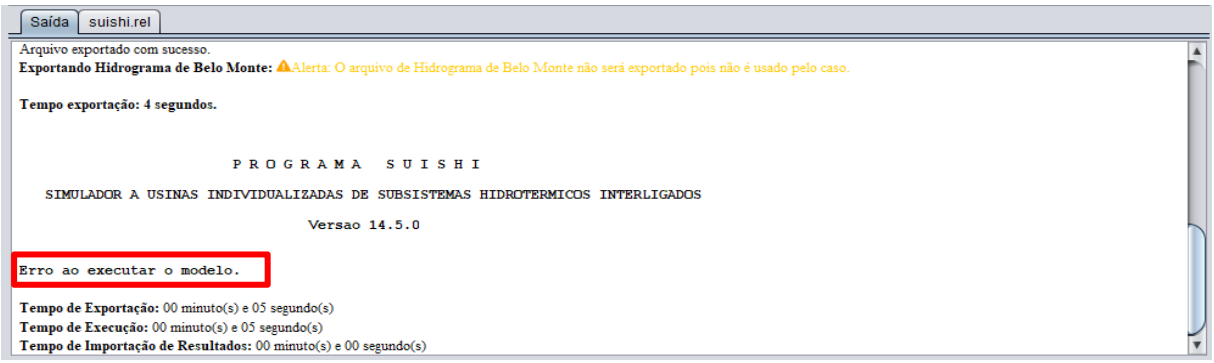
Primeiramente foi importado o arquivo de parametrização *default* das “Regras de Operação – Potência x Cota” e incluída a usina de Itaipu, a qual não possui reservatório de regularização mensal, sendo preenchidos os dados referentes a potência e a cota de montante:

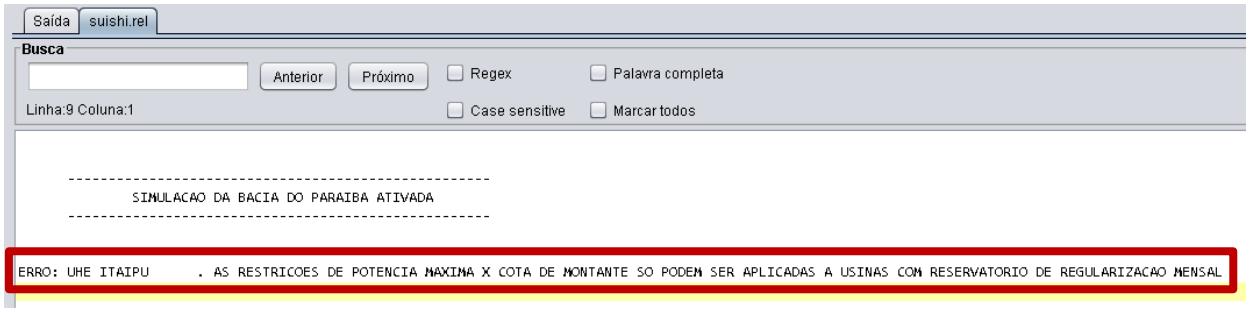
Inclusão da usina de Itaipu na tela “Potência x Cota”



Ao executar o modelo, como esperado, foram apresentadas as mensagens de erro nas abas saída e suishi.rel, conforme imagens a seguir.

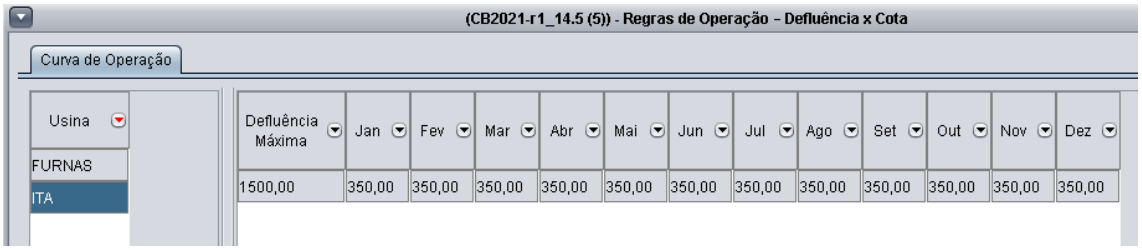
Execução do caso com regras de operação – Potência x Cota



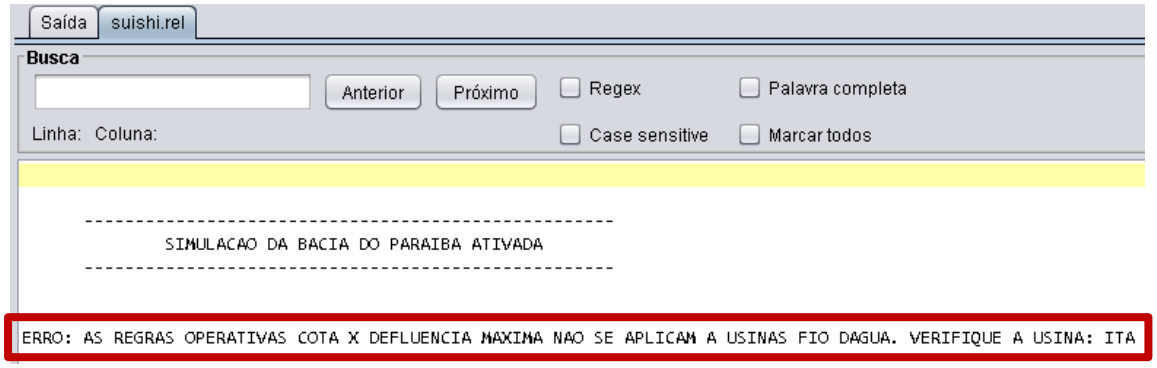


O segundo teste foi verificar a funcionalidade para as regras de operação “Defluência x Cota”. Para isso foi utilizado o mesmo caso base e parametrização, ativada a funcionalidade das “Regras de Operação – Defluência x Cota” com importação do arquivo *default*, e incluída a UHE Itá, que não possui reservatório de regularização mensal.

Inclusão da UHE Itá na tela de regras de operação – Defluência x Cota



Assim como esperado, as mensagens de erro foram devidamente apresentadas, conforme verificado para a aba de relatório suishi.rel:



Conclusão: o teste foi considerado aprovado.

Teste 7

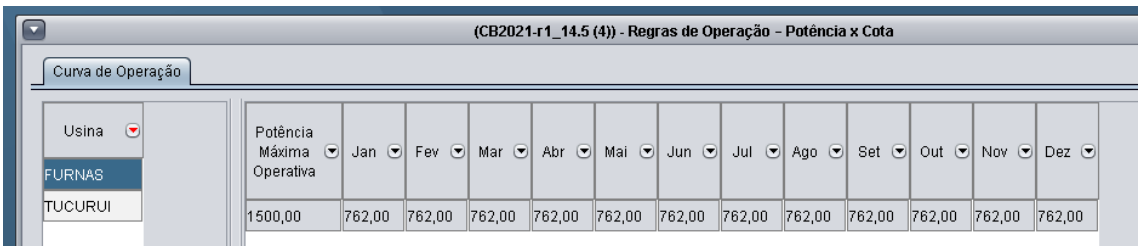
<u>Em um caso de energia firme, usar regras de operação “Potência x Cota” e informar a maior potência não coincidente com a potência instalada da usina. Executar o caso e verificar a mensagem de erro apresentada e a interrupção da execução.</u>

EPE

O teste foi realizado utilizando o deck do Caso Base do LEE A-4 e A-5/2021 e LEN A-3 e A-4/2021, com a parametrização para cálculo de garantia física. O caso foi rodado na versão 14.5.4 do SUISHI (ENCAD 5.6.26).

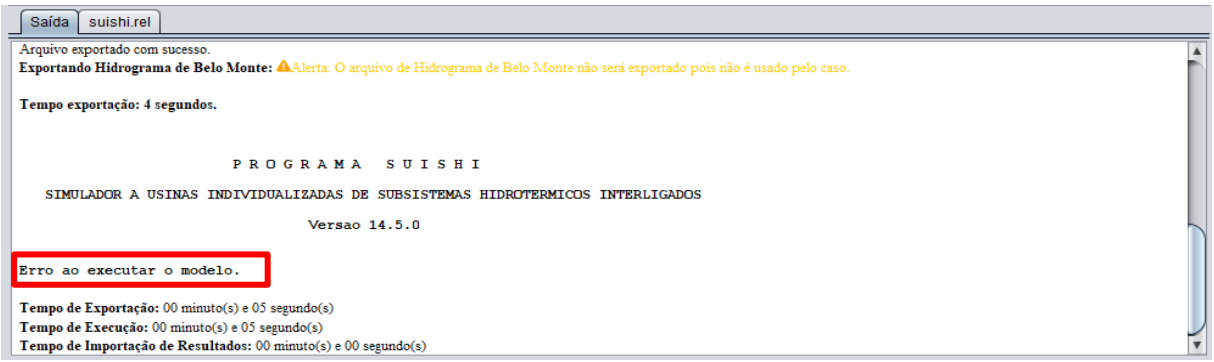
Foi ativada a funcionalidade “Regras de Operação – Potência x Cota” e importado o arquivo de parametrização *default.* Posteriormente foi incluída a usina de Furnas, e, para execução do teste, definido uma potência instalada de 1500 MW, superior a potência de 1312 MW presente no cadastro. A figura abaixo apresenta os dados considerados para a usina:

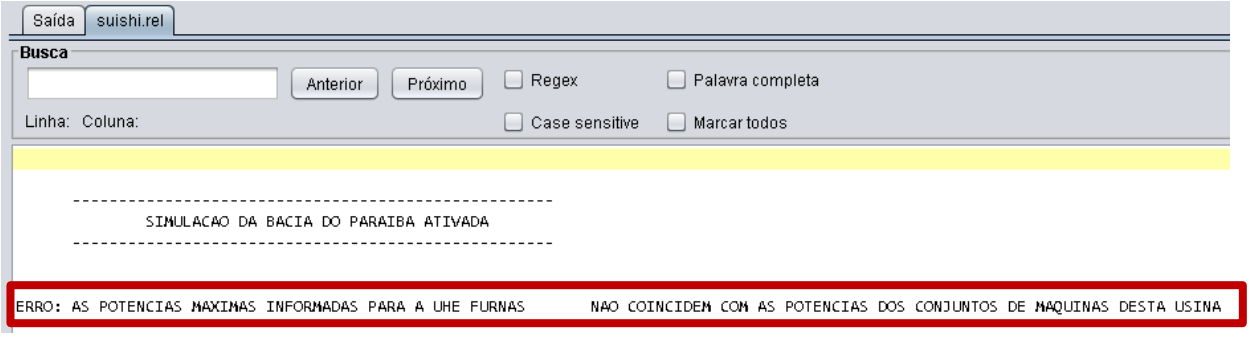
Inclusão da UHE Furnas na tela de regras de operação – Potência x Cota



Ao executar o modelo, como esperado, foram apresentadas as mensagens de erro nas abas saída e suishi.rel, conforme imagens a seguir.

Execução do caso com regras de operação – Potência x Cota





ONS

O teste foi realizado pelo ONS utilizando como caso base o PMO de Abril/2021 e inicialmente utilizando o SUISHI na versão 14.5.0. Foi ativado o flag “Considera Regras de Operação – Potência x Cota” e com base nas informações contidas no arquivo *default* das regras, foi alterada a potência máxima operativa para um valor superior à potência instalada da usina. A seguir, são apresentados dois exemplos realizados para a usina de Tucuruí, cuja potência instalada é de 8.535 MW, alterando-se a potência máxima operativa para 8.535,01 MW e 15.000 MW.

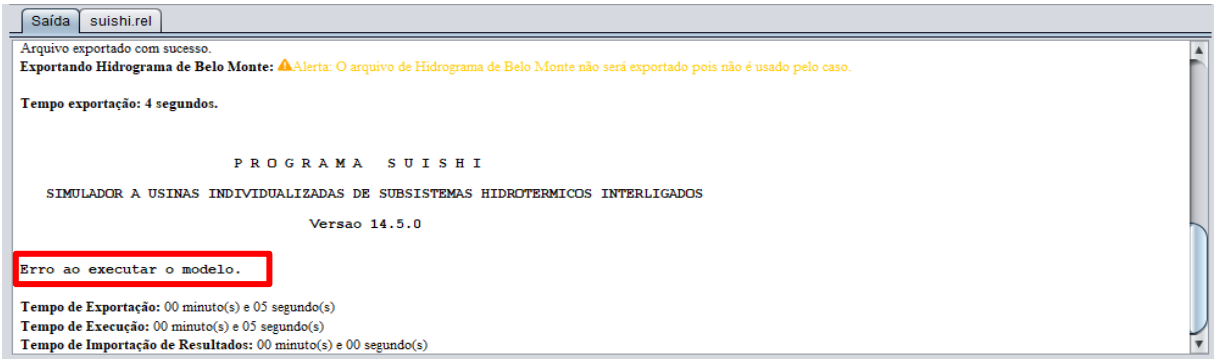
Regras de Operação – Potência x Cota modificada

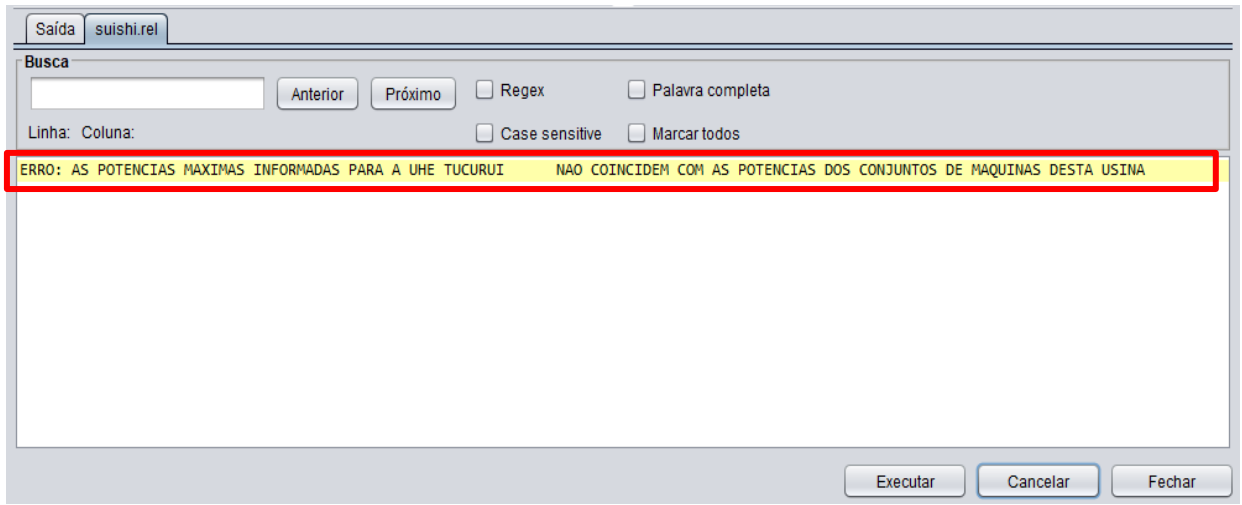
Potência Máxima Operativa	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
4245,00	51,60	51,60	51,60	51,60	51,60	51,60	51,60	51,60	51,60	51,60	51,60	51,60
8535,01	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00

Potência Máxima Operativa	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
4245,00	51,60	51,60	51,60	51,60	51,60	51,60	51,60	51,60	51,60	51,60	51,60	51,60
15000,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00

Em ambos os casos, ao executar o modelo, como esperado, são apresentadas mensagens de erro nas abas saída e suishi.rel, conforme imagens a seguir.

Regras de Operação – Potência x Cota





Adicionalmente, o teste 7 foi executado nas versões 14.5.3 e 14.5.5 do SUISHI e não foram encontradas inconsistências.

Conclusão: o teste foi considerado aprovado.

Teste 8

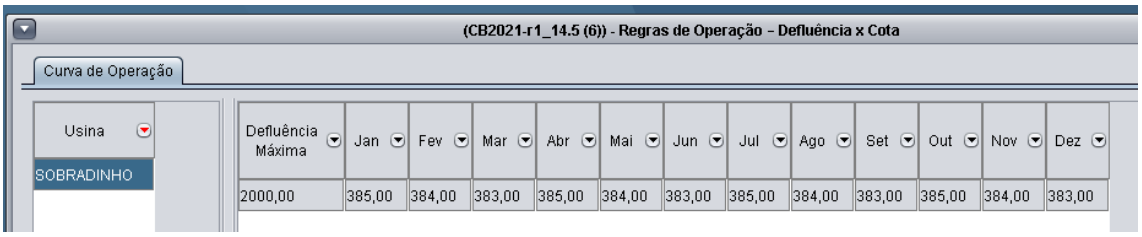
Em um caso de energia firme, usar simultaneamente as regras de operação as regras de operação do São Francisco e regras “Defluência x Cota” para uma das usinas do Rio São Francisco, e executar o caso. Verificar a mensagem de erro apresentada e a interrupção da execução.

EPE

O teste foi realizado utilizando o deck do Caso Base do LEE A-4 e A-5/2021 e LEN A-3 e A-4/2021, com a parametrização para cálculo de garantia física. O caso foi rodado na versão 14.5.4 do SUISHI (ENCAD 5.6.26).

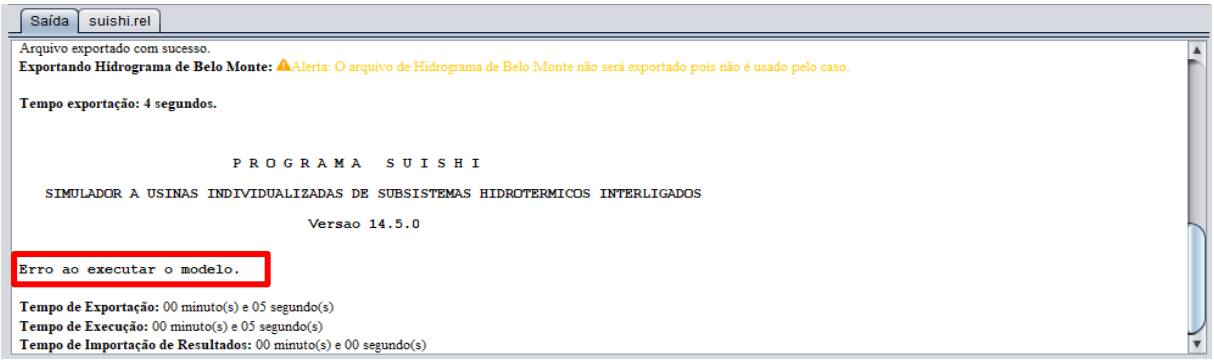
Primeiramente foi importado os arquivos de parametrização *default* das regras de operação do São Francisco e as regras de Defluência x Cota. Após isso foi adicionada a UHE Sobradinho na tela de “Regras de Operação – Defluência x Cota” e preenchidos alguns dados para a respectiva usina:

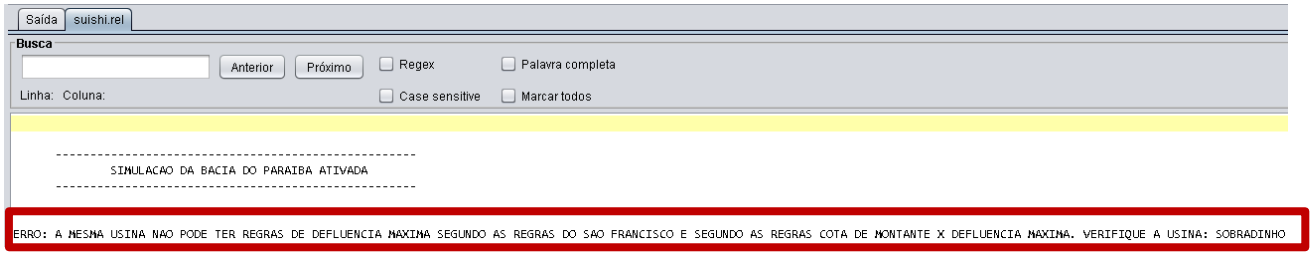
Inclusão da usina de Sobradinho na tela “Defluência x Cota”



Ao executar o modelo, como esperado, foram apresentadas as mensagens de erro nas abas saída e suishi.rel, conforme imagens a seguir.

Execução do caso com regras de operação – Defluência x Cota

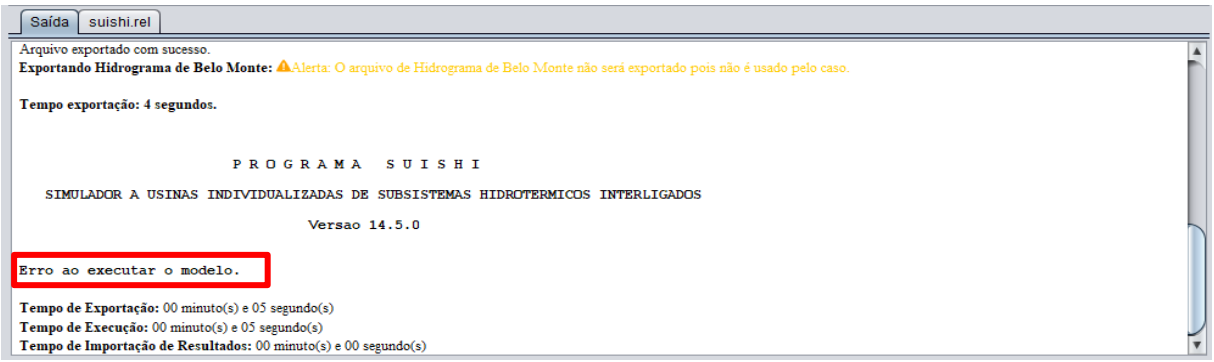


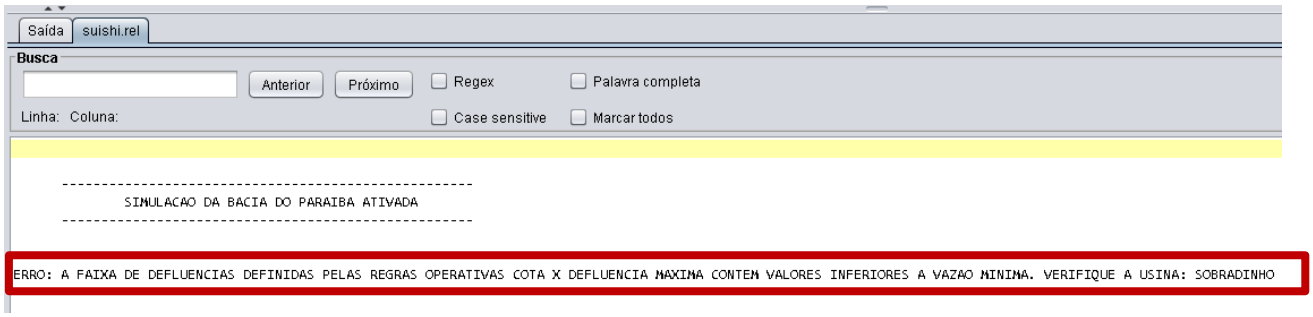


Variação 1 do teste: Alterada as vazões para valores inferiores à vazão mínima para a UHE Sobradinho

Foi executada uma variação do teste, com a entrada de uma defluência mínima inferior à vazão mínima cadastrada para a UHE Sobradinho. Todos os demais dados do caso não foram alterados. Assim como esperado foram apresentadas as seguintes mensagens de erro, na aba de execução do caso e na aba de relatório suishi.rel:

Variação 1: Execução do caso com regras de operação – Defluência x Cota

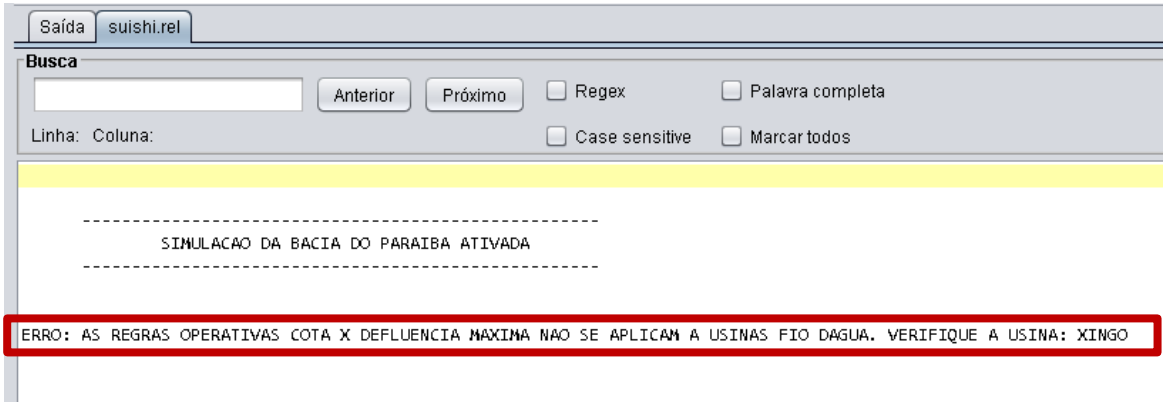




Variação 2 do teste: Inclusão de usina a fio d'água

Foi executada outra variação do teste, com a inclusão de uma usina a fio d'água. Para isso foi adicionada à tela de "Regras de Operação – Defluência x Cota" a UHE Xingó, enquanto todos os demais dados do caso não foram alterados. Assim como esperado, as mensagens de erro foram devidamente apresentadas, conforme verificado para a aba de relatório suishi.rel:

Variação 2: Suishi.rel do caso com regras de operação – Defluência x Cota



Conclusão: o teste foi considerado aprovado.

ONS

Teste 9

Converter um caso de energia firme e verificar se as usinas fictícias foram removidas.

EPE

Foi montado um caso contendo apenas com a bacia do São Francisco a partir do caso de cálculo de garantia física da UHE Gov. Bento Munhoz (Foz do Areia). Para isso, o status das usinas das demais bacias foi alterado para NC no arquivo confh do NEWAVE e, em seguida o caso foi convertido para energia firme.

A figura abaixo mostra a lista de usinas presentes no caso após a conversão no SUISHI 14.0. Observa-se que a usina fictícia de Retiro Baixo não foi removida.

Número	Nome	REE
155	RETIRO BAIXO	SIN
156	TRES MARIAS	SIN
162	QUEIMADO	SIN
169	SOBRADINHO	SIN
172	ITAPARICA	SIN
176	COMP PAF-MOX	SIN
178	XINGO	SIN
308	FIC RETIRO B	SIN

Quando a mesma conversão foi feita no SUISHI 14.5.3, todas as usinas foram corretamente removidas, como mostra a figura abaixo:

Número	Nome	REE
155	RETIRO BAIXO	SIN
156	TRES MARIAS	SIN
162	QUEIMADO	SIN
169	SOBRADINHO	SIN
172	ITAPARICA	SIN
176	COMP PAF-MOX	SIN
178	XINGO	SIN

Conclusão: o teste foi considerado aprovado.

Teste 10

Duplicar um caso de energia firme e verificar se o caso duplicado é idêntico ao caso original.

EPE

O teste foi realizado utilizando o deck do Caso Base do LEE A-4 e A-5/2021 e LEN A-3 e A-4/2021, com a parametrização para cálculo de garantia física. O caso foi rodado na versão 14.5.3 do SUISHI (ENCAD 5.6.26). Após a execução do caso original e gerado os devidos arquivos de saída, foi escolhida a opção de duplicação de caso.

O caso duplicado apresentou a cópia correta de todos os arquivos de entrada e saída originais, conforme a verificação com software visualizada na figura abaixo:

Verificação dos arquivos de saída

format.tmp	Binary files are identical
hidr.dat	Binary files are identical
mensag.tmp	Binary files are identical
pdisp.dat	Binary files are identical
PDISPMOD.DAT	Binary files are identical
PDISPR.DAT	Binary files are identical
postos.dat	Binary files are identical
vazoes.dat	Binary files are identical
adterm.dat	Text files are identical
agrint.dat	Text files are identical
arquivos.dat	Text files are identical
arquivos.eas	Text files are identical
c_adic.dat	Text files are identical
CANFUG.REL	Text files are identical
caso.dat	Text files are identical
cguiaop.dat	Text files are identical
clast.eas	Text files are identical
confh.eas	Text files are identical
conft.eas	Text files are identical
conversao.html	Text files are identical
convert.rel	Text files are identical
curva.eas	Text files are identical
cvar.dat	Text files are identical
dger.eas	Text files are identical
diretor.csv	Text files are identical
dsvagua.eas	Text files are identical
EFGA.CSV	Text files are identical

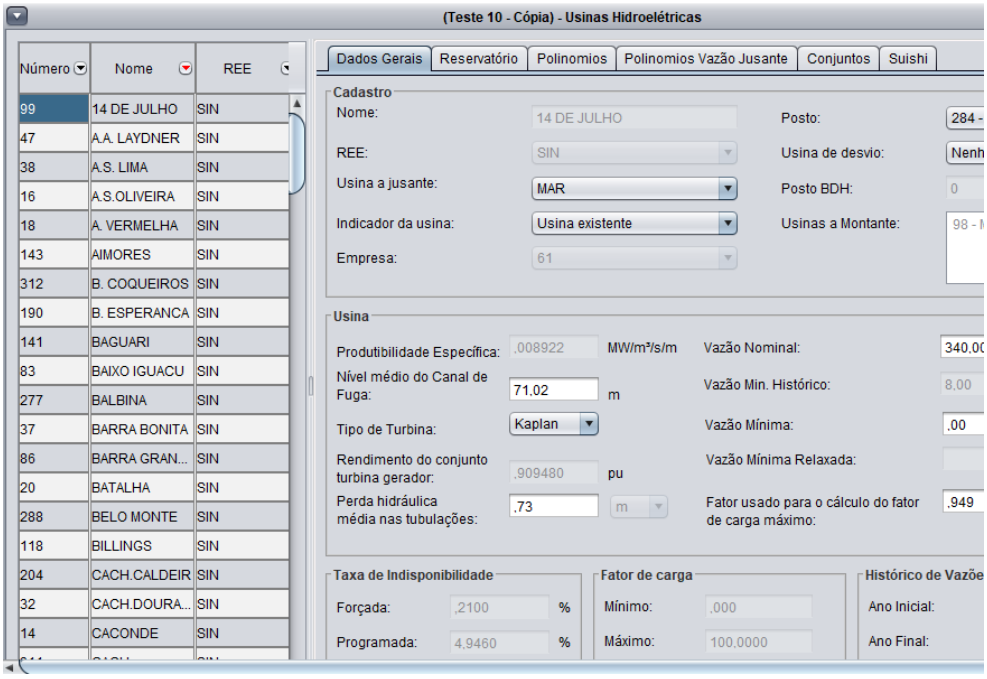
Posteriormente a funcionalidade foi testada na versão 14.5.5 do SUISHI (ENCAD 5.6.27) sendo obtidos os mesmos resultados.

ONS

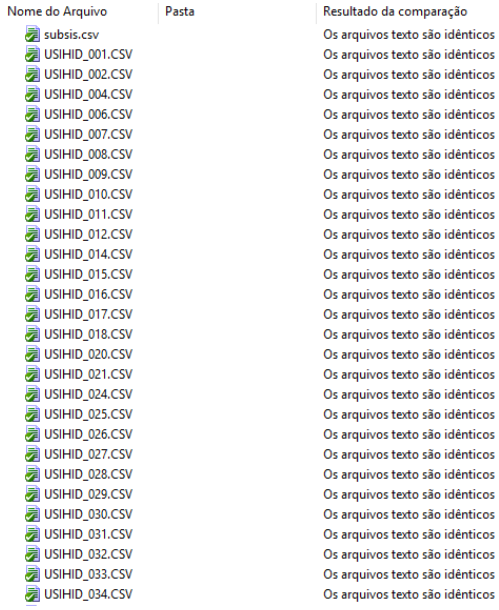
O teste foi realizado pelo ONS utilizando como caso base o PMO de Abril/2021 e inicialmente utilizando o SUISHI na versão 14.5.0. Após a execução do caso original com configurações *default* do SUISHI, realizou-se o processo de duplicação.

O caso duplicado apresentou a cópia correta das informações do caso original e, após sua execução, os arquivos de saída gerados foram iguais aos do caso original. As figuras abaixo apresentam as verificações citadas.

Exemplo de verificação dos dados copiados



Verificação dos arquivos de saída



Nome do Arquivo	Pasta	Resultado da comparação
subsis.csv		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_001.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_002.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_004.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_006.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_007.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_008.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_009.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_010.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_011.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_012.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_014.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_015.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_016.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_017.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_018.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_020.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_021.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_024.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_025.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_026.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_027.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_028.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_029.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_030.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_031.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_032.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_033.CSV		Os arquivos texto são idênticos
USIHID_034.CSV		Os arquivos texto são idênticos

Posteriormente, o teste 10 foi realizado nas versões 14.5.3 e 14.5.5 e não foram identificadas inconsistências na execução.

Conclusão: o teste foi considerado aprovado.

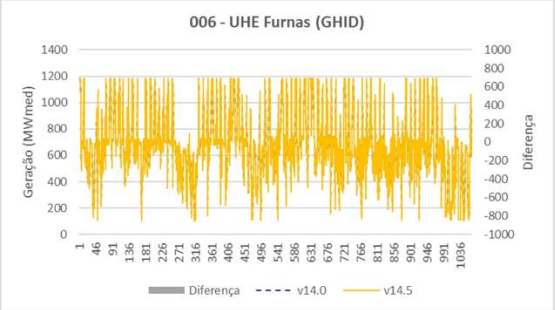
Teste 11

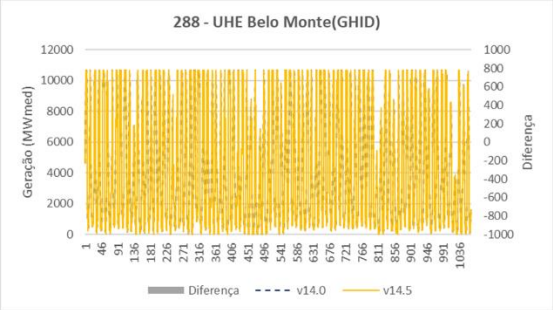
Executar um caso de energia firme com arquivo polinjus.dat e sem o uso das regras do São Francisco e de Belo Monte nas versões 14.0.0 e 14.5.0 e verificar se são obtidos os mesmos resultados.

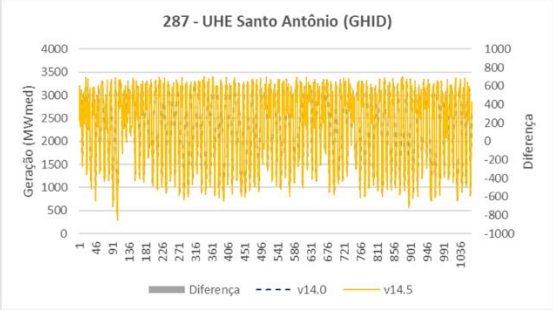
CCEE

O teste foi realizado pela CCEE utilizando o caso do NEWAVE de março de 2021, nas versões 14.0.0 e 14.5.0 do SUISHI, com o ENCAD na versão 5.6.23. A avaliação foi feita comparando-se os resultados dos casos executados nas diferentes versões do SUISHI, desconsiderando as regras do São Francisco e de Belo Monte. Avaliando os resultados nos arquivos USIHID, **foram verificados resultados iguais, sendo o teste aprovado**.

Os gráficos abaixo mostram exemplos de resultados para diferentes usinas, sendo verificados resultados iguais em casos executados nas versões 14.0.0 e 14.5.0.





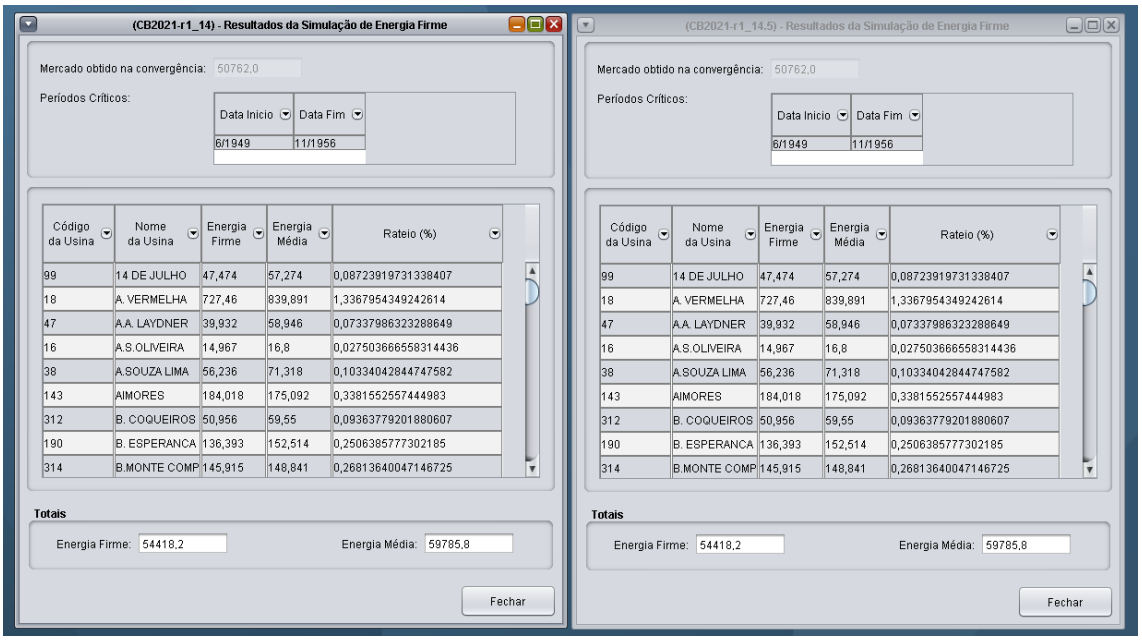


EPE

O teste foi realizado utilizando o deck do Caso Base do LEE A-4 e A-5/2021 e LEN A-3 e A-4/2021, com a parametrização para cálculo de garantia física. O caso foi primariamente rodado na versão 14 do modelo, e posteriormente foi feita a conversão de um novo caso na versão 14.5.4 do SUISHI (ENCAD 5.6.26) sem a utilização das regras do Rio São Francisco e de Belo Monte.

Foram comparados os casos e o resultado encontrado foi exatamente o mesmo para a Energia Firme/Média e o Mercado obtido na convergência, conforme figura abaixo:

Caso de Energia Firme rodado na versão 14 e versão 14.5.4



4 Conclusões

Este relatório apresenta os resultados do processo de validação das novas funcionalidades do modelo SUISHI, versões 14.1 a 14.5.5, pelo Grupo de Trabalho Metodologia/CPAMP, 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, aprove o uso do modo de simulação para cálculo de energia firme da atual versão desse modelo em 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 modelo SUISHI 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 para cálculo de energia firme do modelo SUISHI, no âmbito da CPAMP, teve início no dia 14 de outubro de 2020, durante a 1ª reunião do Subgrupo SUISHI do GT Metodologia/CPAMP, sendo finalizado no dia 26 de abril de 2021, durante a sua 10ª reunião.

O GT Metodologia/CPAMP, com base nos resultados obtidos, concluiu em reunião do dia 26 de abril de 2020, que o *modo de simulação para cálculo de energia firme* da versão 14.5.5 do modelo SUISHI está apto a ser utilizado.

Com os testes realizados, descritos na seção 3, com as versões 14.1 a 14.5.5, concluiu-se que as novas funcionalidades e adequações realizadas funcionam de acordo com o esperado.

Adicionalmente, destaca-se que o impacto das novas funcionalidades nos modos de *simulação hidrotérmica e para cálculo de energia garantida* ainda não foram validadas. O processo de validação destes *modos de simulação* deverá ser realizado em futuras reuniões do GT Metodologia/CPAMP.

A validação da nova versão do SUISHI não implica em obrigatoriedade de adoção das novas funcionalidades nos cálculos de garantia física. O uso de cada funcionalidade ainda será avaliado e definido pelo MME.

5 Recomendações

O GT Metodologia/CPAMP recomenda o uso do modo de simulação para cálculo de energia firme da versão 14.5.5 do modelo SUISHI, a ser denominada versão 15.0, 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 GT Metodologia/CPAMP recomenda também:

- que se dê continuidade aos testes com o objetivo de validar os *modos de simulação hidrotérmica e de cálculo de energia garantida* utilizando séries sintéticas de vazões, conforme recomendado no relatório de validação da versão 13 do SUISHI [9];
- que os testes relativos às implementações posteriores à versão 13 nos *modos de simulação hidrotérmica e de cálculo de energia garantida* sejam continuados com vistas às suas respectivas validações; e
- que o CEPEL continue aprimorando metodologicamente o modelo SUISHI e mantendo-o compatível com as novas versões do modelo NEWAVE, e o grupo acompanhe e teste os novos desenvolvimentos.

6 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

[7] Comissão Permanente para Análise de Metodologias e Programas Computacionais do Setor Elétrico – CPAMP, “Relatório de Validação da Versão 12 do Programa SUISHI – Modelo de Simulação a Usinas Individualizadas de Sistemas Hidrotérmicos Interligados”, Dezembro de 2016.

[8] CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - Comparação de resultados entre a versão 3.10 e a versão 5.4 do modelo GEVAZP – Mudança de compilador e garantia de reprodutibilidade de resultados Relatório Técnico nº 23953/2016.

[9] Comissão Permanente para Análise de Metodologias e Programas Computacionais do Setor Elétrico – CPAMP, “Relatório de Validação da Versão 13 do Programa SUISHI – Modelo de Simulação a Usinas Individualizadas de Sistemas Hidrotérmicos Interligados”, Maio de 2017.

[10] Comissão Permanente para Análise de Metodologias e Programas Computacionais do Setor Elétrico – CPAMP, “Relatório de Validação da Versão 14 do Programa SUISHI – Modelo de Simulação a Usinas Individualizadas de Sistemas Hidrotérmicos Interligados”, Abril de 2020.