

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

Grupo de Trabalho Metodologia

Relatório Técnico

*“Relatório de Validação da Versão 16 do
Programa SUISHI – Modelo de Simulação a
Usinas Individualizadas em Sistemas
Hidrotérmicos Interligados -
Modo para Cálculo de Energia Firme”*

Membros:

MME

ANEEL

EPE

ONS

CCEE

(Assessoria Técnica) **CEPEL**

24 de maio de 2021

Sumário

<u>1</u>	<u>INTRODUÇÃO</u>	<u>3</u>
<u>2</u>	<u>DESCRIÇÃO DO MODELO SUISHI</u>	<u>6</u>
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
<u>3</u>	<u>PROCESSO DE VALIDAÇÃO</u>	<u>11</u>
3.1.	NOVAS FUNCIONALIDADES DO MODELO SUISHI	11
3.2.	TESTES REALIZADOS E RESULTADOS OBTIDOS	14
<u>4</u>	<u>CONCLUSÕES</u>	<u>39</u>
<u>5</u>	<u>RECOMENDAÇÕES</u>	<u>41</u>
<u>6</u>	<u>BIBLIOGRAFIA</u>	<u>42</u>

1 Introdução

O modelo SUIHI - 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 SUIHI 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 SUIHI 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 SUIHI (FT-SUIHI), que contou com a participação de 27 empresas do setor elétrico brasileiro. Em agosto de 2010, após a conclusão dos trabalhos da FT-SUIHI, 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 SUIHI 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 SUIHI 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 SUIHI 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 SUIHI versão 10.6.1, posteriormente denominada **versão 11**. Esta versão passou a possibilitar a representação de mais de um reservatório equivalente de energia em cada subsistema/submercado e a possibilidade de se considerar o acoplamento hidráulico entre REEs, além de aperfeiçoamentos na interface gráfica do modelo, a qual passou a ser multiplataforma.
- 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 SUIHI 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 SUIHI, 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 SUIHI, 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*.

- Em 26 de abril de 2021, foi concluído, no âmbito do GT Metodologia/CPAMP, o processo de validação do modo para cálculo de energia firme da versão 14.5.5 do modelo SUIHI, posteriormente denominada **versão 15**. Esta versão aprimorou a aplicação de regras de operação especiais para o Rio São Francisco e incluiu as funcionalidades que permitem definir defluências máximas e potências máximas em função da cota de montante das usinas.

Após a validação da versão 15, destacam-se três fatos que justificaram a implementação de ajustes no modelo:

- i. Ao se considerar as regras especiais de operação das usinas do Paraíba do Sul, estabelecidas na Resolução Conjunta ANA/DAEE/IGAM/INEA nº 1382/2015, não é possível considerar famílias de polinômios vazão x nível de jusante para cotas de referência distintas, tal como informado no arquivo de dados polinjus.dat, para as usinas Nilo Peçanha, Pereira Passos e Fontes A e Fontes BC. No caso de Fontes A e BC, os polinômios cadastrados no arquivo polinjus.dat são ignorados, sendo utilizados os polinômios cadastrados no arquivo de cadastro HIDR.DAT.
- ii. Regra de verificação de polinômios constantes pelo SUIHI. Até a sua versão 15, para verificar a existência de um polinômio vazão x nível de jusante associado a uma determinada UHE, o modelo SUIHI verificava se o coeficiente de 1º grau (a_1) era não nulo, não verificando os outros coeficientes de maior grau. No entanto, alguns polinômios do GTDP foram ajustados com o coeficiente a_1 igual a zero.
- iii. Ajuste no cálculo da cota de montante dos reservatórios de Jordão e Três Irmãos. As cotas de montante destes reservatórios, impressos pelo modelo SUIHI nos seus relatórios, em determinados momentos se mostravam levemente distintos dos valores utilizados para a escolha da família de polinômios vazão x nível de jusante das usinas de montante.

Estes ajustes foram implementados e aperfeiçoados nas versões 15.1.1, 15.1.2 e 15.1.3 nas quais também foram incluídos outros ajustes e correções no modelo e na sua interface gráfica.

Tendo em vista os ajustes implementados a partir da versão 15, e contidos na versão 15.1.3 do modelo SUIHI, este relatório apresenta os principais resultados do processo de validação do **modo de simulação para cálculo de energia firme** desta versão, a qual passará a ser denominada versão 16.

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 SUIISHI é proveniente de um caso do modelo NEWAVE. O programa CONVERTOR lê e converte os dados de entrada do modelo NEWAVE para o formato de leitura do modelo SUIISHI. Adicionalmente, o programa também inclui dados específicos necessários ao processamento do modelo SUIISHI, os quais não estão disponíveis no caso original do NEWAVE. São exemplos de dados adicionais: o número de faixas operativas 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 SUIISHI mais amigáveis para o usuário, a plataforma ENCAD é responsável por importar os arquivos de dados de entrada do modelo SUIISHI, previamente gerados pelo programa CONVERTOR, e exibi-los em diferentes telas de acordo com a natureza do dado. Caso necessário, a edição dos dados de entrada do modelo SUIISHI também se dá pelas próprias telas do ENCAD, assim como a escolha de diferentes opções de execução e a visualização dos resultados do modelo, seja por meio de tabelas, gráficos ou relatórios texto. Alternativamente, a plataforma ENCAD também permite importar os dados de um caso SUIISHI já processado, para a utilização em um novo estudo.

2.3 Módulo de Otimização do Balanço Hidrotérmico entre Subsistemas Equivalentes

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

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

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

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

(ii) o não atendimento das metas de geração hidráulica ocasionado por um déficit na soma da geração hidráulica individualizada. Neste caso, o modelo 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.

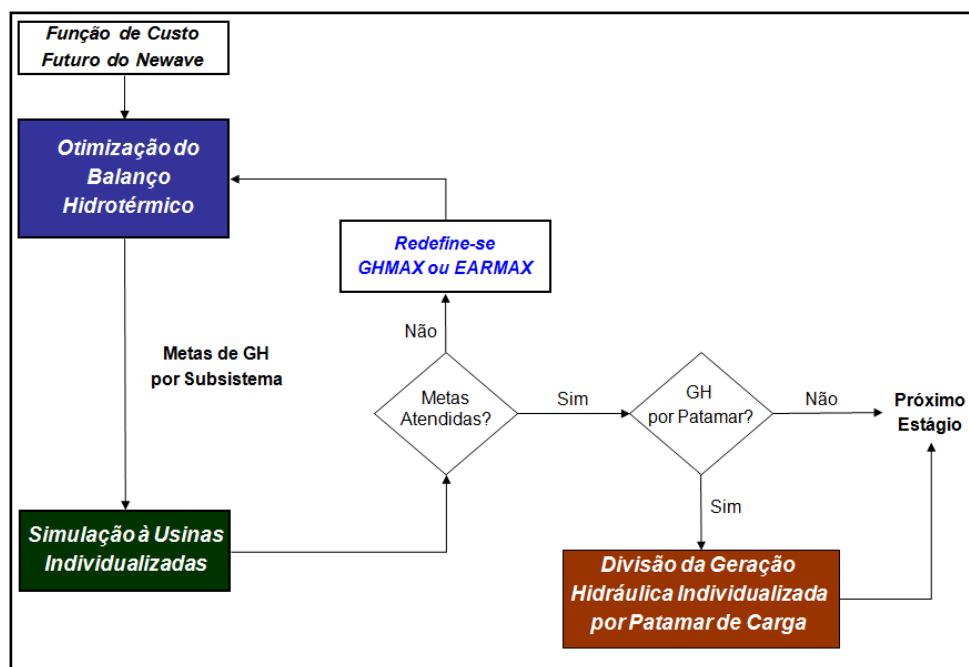


Figura 1- Fluxograma de funcionamento do modelo SUISHI

2.4 Módulo de Simulação a Usinas Individualizadas

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

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

As prioridades citadas no item (iii) são baseadas nas produtibilidades acumuladas de cada usina hidroelétrica do subsistema, sendo que as usinas com elevada produtividade acumulada possuem prioridade de esvaziamento frente às usinas com baixa produtividade acumulada. Por outro lado, as usinas com baixa produtividade acumulada possuem prioridade de enchimento frente às usinas com alta produtividade acumulada. Opcionalmente, é possível definir as prioridades de enchimento e esvaziamento dos reservatórios por meio de uma função pré-definida que relaciona a produtividade acumulada, com a derivada do polinômio volume x cota, com o volume armazenado e com a vazão afluente.

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

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

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

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

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

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

Outras características do modelo SUIHI 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 SUIHI, no âmbito da CPAMP, foi motivado pelas novas funcionalidades disponíveis a partir da versão 15, destacando-se os ajustes necessários à consideração das famílias de polinômios vazão x nível de jusante na simulação da operação individualizada das UHEs.

Este processo de validação teve início no dia 26 de abril de 2022, durante a 1ª reunião do Subgrupo SUIHI do GT Metodologia/CPAMP, sendo finalizado no dia 19 de maio de 2022, durante a sua 4ª reunião, na qual o grupo, com base nos resultados obtidos, concluiu que o *modo de simulação para cálculo de energia firme* da versão 15.1.3 do modelo SUIHI 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 quatro 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 SUIHI

Data	Reunião	Instituições Participantes
26/04/2022	1ª	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
06/05/2022	2ª	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
12/05/2022	3ª	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
19/05/2022	4ª	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 SUIHI

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

SUISHI versão 15.1.1

- Adequação da lógica de cálculo da vazão evaporada de uma UHE nas situações em que a consulta ao polinômio leva à uma área nula para o reservatório. Nas versões anteriores, este resultado (área nula do reservatório) era necessariamente associado à ausência do polinômio Cota x Área;
- Modificação da verificação de existência dos PVNs cadastrados no arquivo HIDR.DAT e POLINJUS.DAT. Até a versão anterior, caso o coeficiente de grau 1 do polinômio fosse nulo, o modelo considerava que o polinômio era inexistente, adotando o canal de fuga médio nas simulações da operação. A partir desta versão os coeficientes de grau 2 e 3 também são verificados;
- Nas simulações que consideram as regras especiais de operação das usinas do rio Paraíba do Sul, consideração das famílias de PVNs, informadas no arquivo POLINJUS.DAT, na simulação da operação energética das UHEs Lajes, Fontes A, Fontes BC, Nilo Peçanha e Pereira Passos.
- Ajuste no cálculo da cota de montante dos reservatórios de Jordão e Três Irmãos. As cotas de montante destes reservatórios, impressos pelo modelo SUISHI nos seus relatórios, em determinados momentos se mostravam levemente distintos dos valores utilizados para a escolha da família de polinômios vazão x nível de jusante das usinas de montante.
- Correção de problemas de execução quando as Regras do Posto de Belo Monte estão ativadas e o SHP não está ativado.

SUISHI versão 15.1.2

- Nas simulações para cálculo de energia firme com o módulo SHP (Simulador Hidroenergético do Paraíba do Sul) ativado, foram incluídos os resultados da UHE Fontes no arquivo CANFUG.REL. Neste caso, como as usinas simuladas foram as UHEs Fontes A e BC, utiliza-se a soma das suas respectivas defluências para se determinar a cota do canal de fuga da UHE Fontes;
- Nas simulações para cálculo de energia firme com o módulo SHP ativado, o cálculo do valor do mercado de convergência foi ajustado de modo a evitar que valores distintos sejam encontrados quando fornecidos diferentes PVNs para a UHE Fontes. Note que, com o SHP ativado, a UHE Fontes deixa a configuração do sistema para dar lugar às UHEs Fontes A e BC, logo, qualquer alteração em parâmetros daquela usina não deveria alterar os resultados do SUISHI, mesmo que nas casas decimais, como foi observado;

- Nas simulações para cálculo de energia firme, sempre que o módulo SHP se encontra ativado e o usuário não opta pela escrita do arquivo USIHID.CSV, a execução da versão 15.1.1 é interrompida. A versão 15.1.2 corrige este problema.
- Permissão de cadastro, no arquivo dger.dat, de um número máximo de iterações maior que 45.

SUISHI versão 15.1.3

- Ajuste no processo de escolha das famílias de PVNs com base na cota de montante da usina de jusante. Para as UHEs que faziam uso da funcionalidade que iguala as suas cotas de montante (UHEs Três Irmãos e Ilha Solteira), as adequações feitas na versão 15.1.1 corrigiram a escolha do PVN a ser utilizado na UHE Nova Avanhandava, entretanto, reduziu a eficiência do processo de igualar as cotas de montante de dois reservatórios. A versão 15.1.3 corrige esta perda de eficiência;
- Nas simulações que não utilizam as regras especiais de operação das usinas do Rio Paraíba do Sul, e utilizam as famílias de polinômios descritas no arquivo POLINJUS, correção de mensagem de erro ao verificar se todas as UHEs possuem polinômios cadastrados;
- Ajuste na verificação da existência do PNV para uma determinada usina hidrelétrica. Na versão 15.1.3 verifica-se todos os coeficientes do PVN informado. Caso algum seja não nulo, o PVN será considerado existente.

3.2. Testes Realizados e Resultados Obtidos

Nesta seção serão apresentados os testes de 1 ao 13, referentes apenas ao modo de simulação para cálculo de energia firme.

Para os testes foi utilizado o deck do Caso Base do LEN A-4/2022¹ considerando a parametrização do SUISHI² para cálculo de garantia física de usinas despachadas centralizadamente. Para o arquivo de polinômios de jusante (polinjus) foram utilizados na avaliação os três arquivos descritos a seguir:

- polinjus_SUISHIv15: polinômios do ciclo 2 do GTDP com os seguintes ajustes para uso na versão 15 do SUISHI:
 - UHE Capim Branco II: substituição no polinjus do coeficiente a1 zerado do 1º polinômio da 5ª família para um valor próximo de zero.
 - UHE Santa Branca: substituição no polinjus do coeficiente a1 zerado do 1º polinômio da 1ª família para um valor próximo de zero.
 - UHEs Fontes A e Fontes BC: cadastro no HIDR do polinômio mais significativo de Fontes com coeficiente a1 próximo de zero.
 - UHEs Nilo Peçanha e Pereira Passos: cadastro no polinjus do polinômio mais significativo.
- polinjus_SUISHIv15_StaBranca_CapimBrancoII: polinjus_SUISHIv15 com o polinômio originalmente ajustado no ciclo 2 do GTDP.
- polinjus_SUISHIv16: polinômios do ciclo 2 do GTDP integralmente atualizados.

Os decks Newave e SUISHI utilizados nos testes, além dos arquivos polinjus descritos anteriormente, estão disponíveis no seguinte link: <https://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/planejamento-energetico/cpamp>.

3.2.1 Teste 1

Converter e executar um caso de energia firme a partir de um deck NEWAVE e com arquivo polinjus. Ativar as regras especiais do Paraíba do Sul. Excluir do polinjus o polinômio de uma usina da configuração, considerando uma das usinas da bacia do

¹ Link: <https://www.epe.gov.br/pt/leiloes-de-energia/leiloes/leilao-de-energia-nova-a4-2022>

² Link (revisão 2): <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/parametrizacao-do-suishi-para-calculo-de-garantia-fisica-de-usinas-despachadas-centralizadamente>

Paraíba do Sul e outra de outra bacia, e verificar se o SUISHI apresenta mensagem de erro.

EPE

O teste foi realizado utilizando o deck do Caso Base do LEN A-4/2022 com o arquivo polinjus atualizado, considerando a parametrização para cálculo de garantia física. O caso foi rodado na versão 15.1.2 do SUSHI (ENCAD 5.6.37).

Foram excluídos individualmente os polinômios do arquivo polinjus para as seguintes usinas: Lajes, Fontes, Nilo Peçanha, Pereira Passos, Santa Branca (Paraíba do Sul), Porto Estrela, Candonga, Fontes A e BC e Mauá fictícia.

Para os casos sem os polinômios de Lajes, Fontes, Nilo Peçanha, Pereira Passos, Santa Branca (Paraíba do Sul), Porto Estrela e Candonga, a conversão ocorreu normalmente e foi gerada uma mensagem de erro na execução do caso.

Apenas para Fontes A e BC aparece a seguinte mensagem de erro:

```
-----  
|      | SIMULACAO DA BACIA DO PARAIBA ATIVADA  
-----  
  
ERRO: NAO HA FAMILIA DE POLINOMIOS PVNJ CADASTRADOS PARA AUSINA
```

No caso da fictícia de Mauá, não aparece mensagem de erro, o que era esperado.

A inclusão dos nomes das usinas Fontes A e BC na mensagem de erro foi feita na versão 15.1.3:

```

-----
|      | SIMULACAO DA BACIA DO PARAIBA ATIVADA
-----

ERRO: NAO HA FAMILIA DE POLINOMIOS PVNJ CADASTRADOS PARA A USINA _FONTES A

-----
|      | SIMULACAO DA BACIA DO PARAIBA ATIVADA
-----

ERRO: NAO HA FAMILIA DE POLINOMIOS PVNJ CADASTRADOS PARA A USINA  FONTES BC

```

Conclusão: Teste aprovado

3.2.2 Teste 2

Converter e executar um caso de energia firme, a partir de um deck NEWAVE, com o arquivo polinjus. Ativar as regras especiais do Paraíba do Sul.

Para as usinas Nilo Peçanha, Pereira Passos e Fontes A e BC, 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.

Como no Simulador Hidroenergético do Paraíba do Sul (SHP), para as usinas Nilo Peçanha, Pereira Passos e Fontes A e BC, não há a separação entre ponta e fora da ponta, será considerado no cálculo externo do nível de jusante o seguinte roteiro para todos os períodos da simulação:

- 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 da família de polinômios com HjusRef imediatamente inferior e imediatamente superior ao nível de montante da usina de jusante;
- 3) Para cada família de polinômios, cálculo do canal de fuga utilizando a vazão defluente correspondente para selecionar o polinômio dentro da família;
- 4) Interpolarm os canais de fuga obtidos pelos polinômios escolhidos (caso o nível de montante da usina de jusante seja superior ao maior HjusRef entre as famílias de polinômios, ou inferior ao menor HjusRef, não há interpolação);

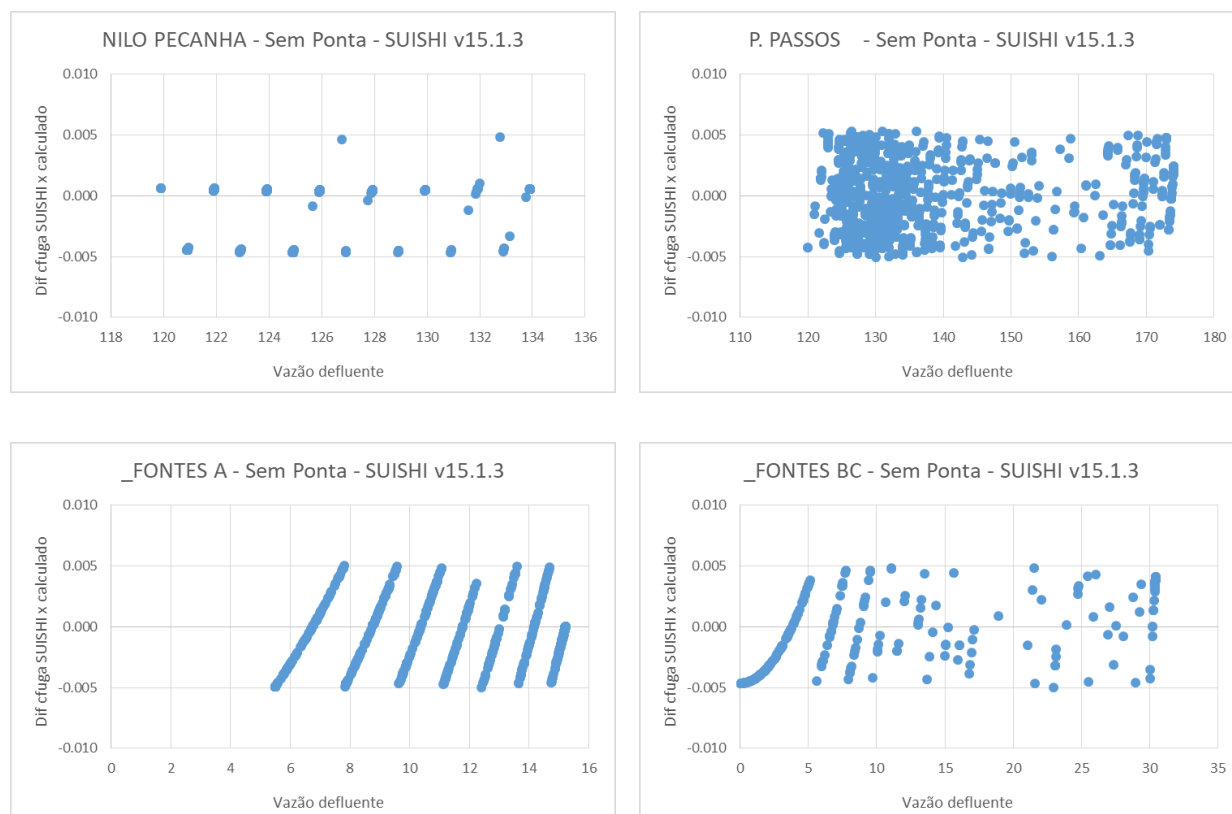
$$CFUGA = CFUGA_{FAM_M} \times \frac{HREF_{FAM_N} - COTAJ}{HREF_{FAM_N} - HREF_{FAM_M}} + CFUGA_{FAM_N} \times \frac{COTAJ - HREF_{FAM_M}}{HREF_{FAM_N} - HREF_{FAM_M}}$$

onde os índices FAM_M e FAM_N representam as famílias M e N de polinômios, COTAJ representa a cota de montante da usina de jusante, e HREF representa a altura de referência de determinada família de polinômios.

- 5) Avaliação do efeito remanso e eventual limitação pela cota de montante da usina de jusante.
- 6) Comparar com os valores impressos no arquivo USIHID da respectiva usina.

EPE

O teste foi realizado utilizando o deck do Caso Base do LEN A-4/2022 com o arquivo polinjus atualizado, considerando a parametrização para cálculo de garantia física. O caso foi rodado na versão 15.1.3 do SUIISHI (ENCAD 5.6.37).



Para o arquivo polinjus com as informações dos polinômios de jusante do ciclo 2 do GTDP, a versão 15.1.3 do SUIISHI apresentou valores muito próximos aos calculados considerando o roteiro apresentado anteriormente.

Teste 2A:

Ao comparar a faixa de vazões defluentes resultantes da simulação do caso do teste 2 com a faixa definida para cada polinômio (Q_{jusmin} e Q_{jusmax}), verificamos que o SUIISHI estava apenas aplicando um polinômio de cada família. Para que o teste validasse o uso de mais de um polinômio por família, foram alteradas no arquivo polinjus as faixas de vazões defluentes (Q_{jusmin} e Q_{jusmax}) de cada família.

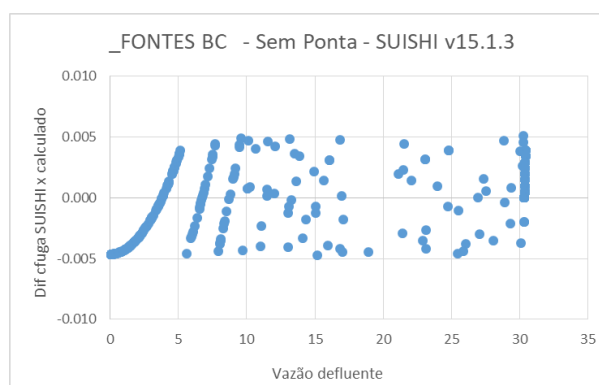
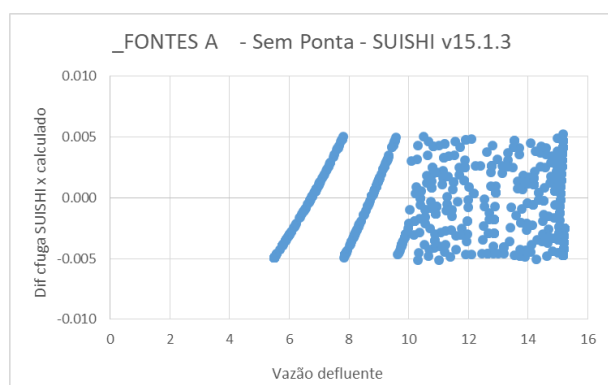
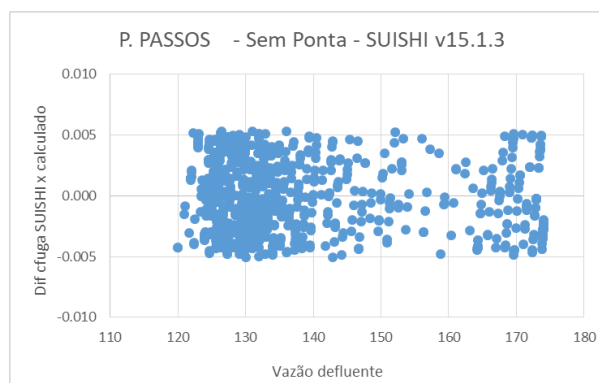
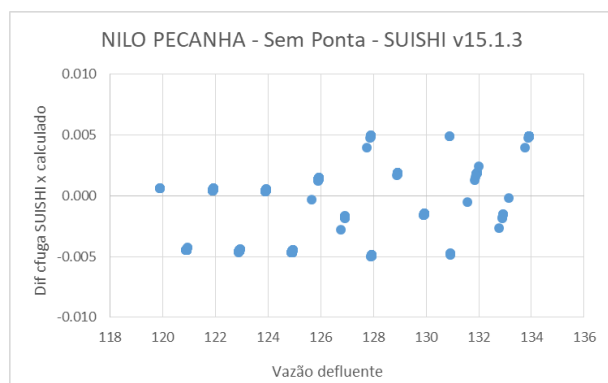
A tabela abaixo apresenta as informações de vazão defluente e das famílias de polinômios do caso original e na última coluna as alterações feitas no polinjus:

UHE	Vazão defluente simulação	Descrição da família de polinômios (Qjusmin e Qjusmax entre polinômios da mesma família)	novo Qjusmin e Qjusmax
Nilo Peçanha (131)	119.89 até 133.9	família1 - 2 pol (~170) família2 - 3 pol (~145 entre pol 1 e 2) família3 - 2 pol (~170)	125 (em todas as famílias)
Pereira Passos (133)	120 até 174.07	1família - 2 pol (~231)	150
Fontes A (183)	5.5 até 15.22	1família - 2 pol (~62)	10
Fontes BC (184)	0.07 até 30.44	1família - 2 pol (~62)	10

Observe que a faixa de vazões defluentes da simulação sempre fica abaixo do Qjusmax do 1º polinômio. Portanto, o Qjusmax foi reduzido de forma a permitir a utilização de polinômios diferentes dentro da mesma família.

Verificamos que, ao alterar a faixa de vazão defluente (Qjusmin e Qjusmax) no polinômio das UHEs Nilo Peçanha, Pereira Passos, Fontes A e BC de forma a permitir o uso de mais de um polinômio da família, os valores do cfuga do SUISHI não diferem do valor calculado externamente.

Os gráficos a seguir apresentam no eixo horizontal as vazões defluentes e no vertical a diferença entre o canal de fuga (cfuga) calculado pelo SUISHI e o calculado externamente:



Conclusão: Teste aprovado

3.2.3 Teste 3

Converter e executar um caso de energia firme a partir de um deck NEWAVE e com o arquivo polinjus. Ativar as regras especiais do Paraíba do Sul. Como as regras do Paraíba do Sul estão ativadas, a UHE Fontes não é considerada na configuração que é simulada para atender o mercado do sistema.

Alterar o polinômio da UHE Fontes no polinjus e executar novamente o caso. Verificar se os resultados destes dois casos são iguais.

EPE

O teste foi realizado utilizando o deck do Caso Base do LEN A-4/2022, com a parametrização para cálculo de garantia física. Foram rodados os casos com alteração somente no polinômio de Fontes no polinjus para as versões 15, 15.1.1 e 15.1.2 do SUIHI (ENCAD 5.6.37). Na versão 15, os valores de energia firme do SIN apresentaram uma diferença de 0,016 MWmed. Apesar de ser uma diferença muito pequena, era esperado que não houvesse nenhuma diferença entre os casos. Na versão 15.1.1, a diferença permaneceu e continuava pequena. Os casos rodados nas versões 15.1.2 e 15.1.3 não apresentaram diferença nos valores de energia firme.

Conclusão: Teste aprovado

3.2.4 Teste 4

Calcular externamente o nível de jusante de usinas cujos polinômios vazão x nível de jusante tenham alguns dos seus coeficientes iguais a zero. Recomenda-se que, ao menos as UHEs Santa Branca e Capim Branco II sejam testadas. Para facilitar o cálculo, deve-se desativar o flag “Distribuir a vazão defluente entre os patamares de carga”, constante em “Configurações gerais” → “Dados do caso” → aba “Energia firme” e seguir roteiro detalhado no teste 2.

Comparar os valores calculados com os impressos no arquivo USIHID.

EPE

O teste foi realizado utilizando o deck do Caso Base do LEN A-4/2022, com a parametrização para cálculo de garantia física, exceto o flag de distribuição da vazão

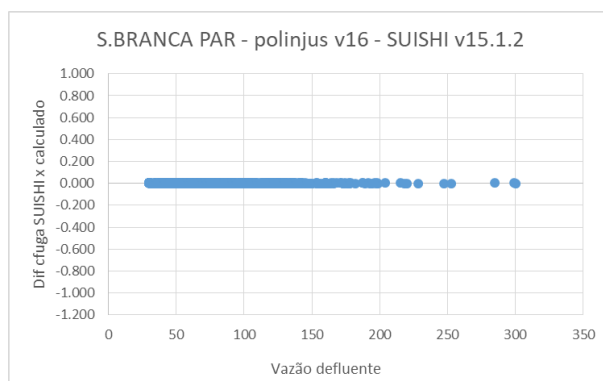
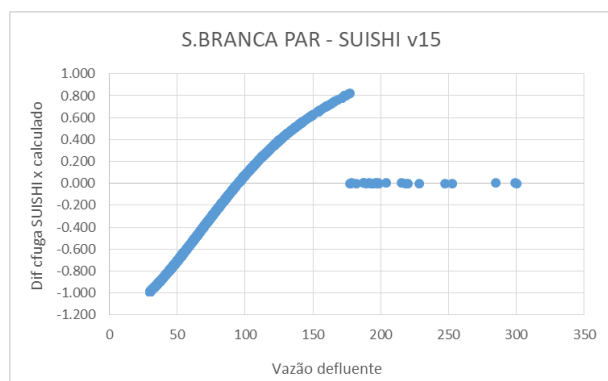
defluente entre os patamares de carga. O caso foi rodado na versão 15.1.2 do SUIHI (ENCAD 5.6.37).

Este teste tem como objetivo avaliar a implementação referente à regra de verificação de polinômios inexistentes pelo SUIHI. Portanto, inicialmente foi feita uma comparação entre os canais de fuga impressos pelo SUIHI e os calculados externamente, considerando o mesmo caso, com os polinômios com coeficientes de 1º grau zerados (a1) na versão 15 e o arquivo polinjus atualizado para a versão 15.1.2.

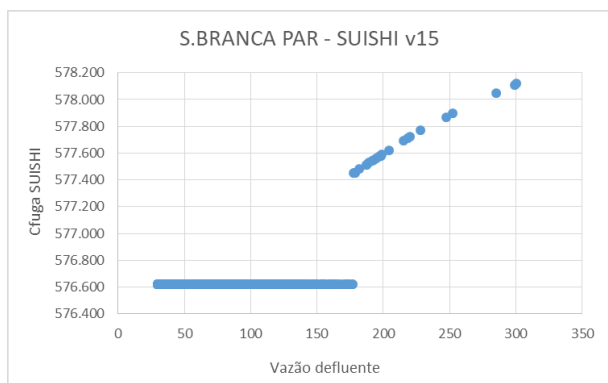
Os polinômios cadastrados no arquivo polinjus para a UHE Santa Branca em ambos os casos são apresentados a seguir:

Familia Pol	HjusRef	numPol	QjusMin	QjusMax	a0	a1	a2	a3	a4
1	575.4323	1	0	177	5.75432E+02	0.00000E+00	2.77016E-04	-1.90480E-06	3.96781E-09
1	575.4323	2	177	487	5.75472E+02	1.65321E-02	-3.89383E-05	5.29789E-08	-2.96893E-11

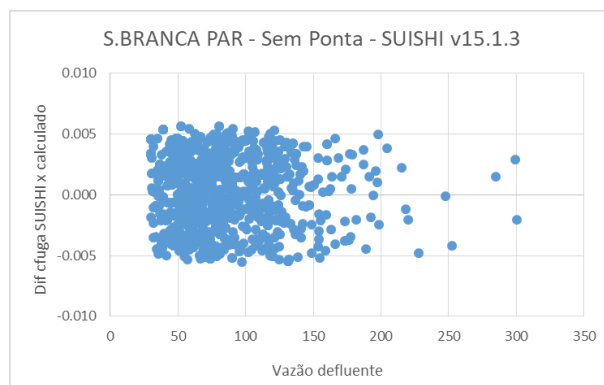
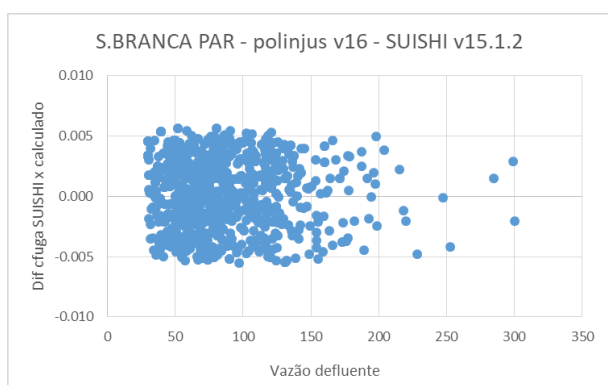
Os gráficos a seguir apresentam no eixo horizontal as vazões defluentes e no vertical a diferença entre o canal de fuga (cfuga) calculado pelo SUIHI e o calculado externamente para as versões 15 e 15.1.2, considerando a mesma escala:



Foi observada uma redução significativa nas diferenças entre os valores impressos e os calculados. As diferenças encontradas na versão 15 são justificadas pela consideração pelo SUIHI do canal de fuga médio (576,62m) para as vazões defluentes até 177 m³/s, como pode ser verificado no gráfico abaixo:

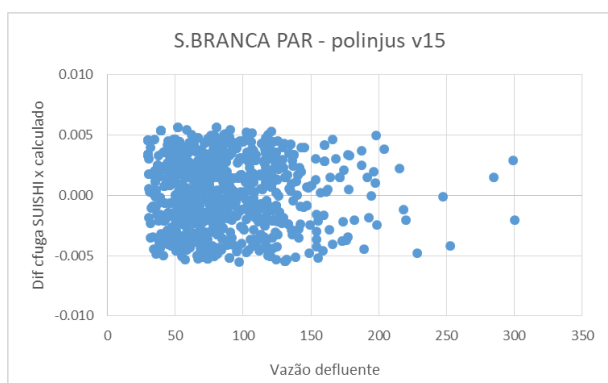


O gráfico a seguir apresenta os resultados em uma escala menor para o caso rodado nas versões 15.1.2 e 15.1.3:



Como pode ser observado, as diferenças são pequenas, provavelmente relacionadas à precisão dos dados considerados no cálculo externo.

Ao comparar com o caso com ajuste no coeficiente de 1º grau do polinômio da UHE Santa Branca na versão 15, podemos observar no gráfico abaixo que as diferenças são semelhantes ao caso rodado com o polinjus completo:

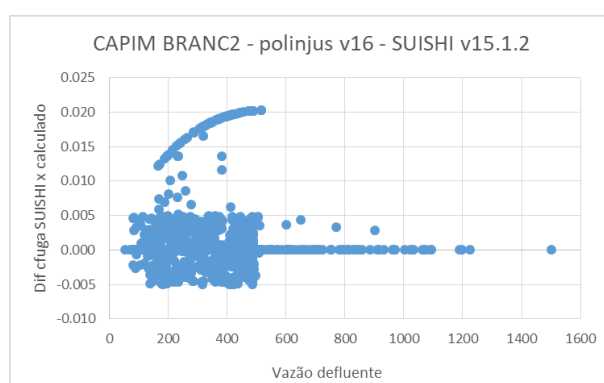
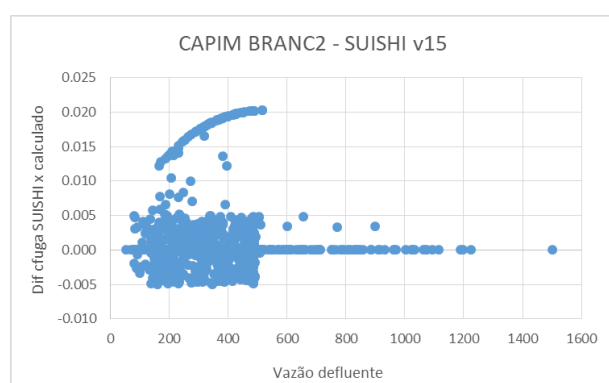


Portanto, a questão de Santa Branca foi resolvida a partir da versão 15.1.2.

Foi feita a mesma análise para a UHE Capim Branco II. Os polinômios cadastrados no arquivo polinjus para a UHE Capim Branco II são apresentados a seguir:

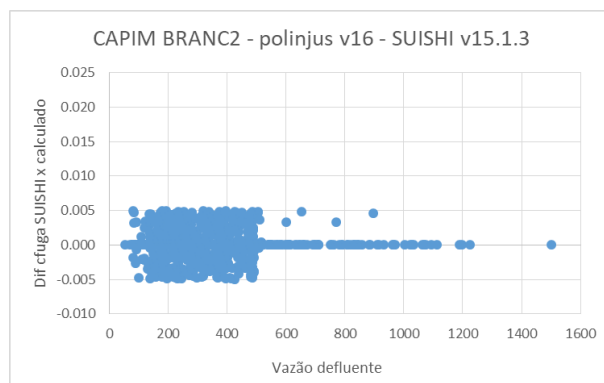
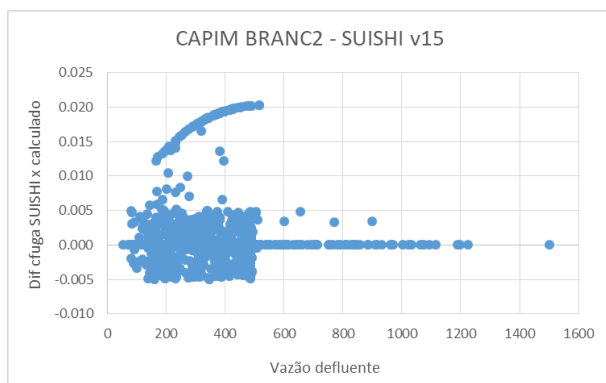
Familia Pol	HjusRef	numPol	QjusMin	QjusMax	a0	a1	a2	a3	a4
1	516.9172	1	0	779	5.16917E+02	6.03126E-03	-8.56669E-06	8.49356E-09	-3.79947E-12
1	516.9172	2	779	2646	5.18037E+02	1.64514E-03	-5.43637E-07	9.82563E-11	-6.67346E-15
2	518.9	1	0	876	5.18900E+02	5.98704E-04	-1.52157E-06	1.28900E-09	0.00000E+00
2	518.9	2	876	2646	5.18037E+02	1.64514E-03	-5.43637E-07	9.82563E-11	-6.67346E-15
3	519.2	1	0	1163	5.19200E+02	-1.25180E-16	6.71384E-07	-1.29827E-09	7.06078E-13
3	519.2	2	1163	2646	5.18037E+02	1.64514E-03	-5.43637E-07	9.82563E-11	-6.67346E-15
4	519.6	1	0	1968	5.19600E+02	1.01553E-04	-1.59401E-07	8.34004E-11	0.00000E+00
4	519.6	2	1968	2646	5.18037E+02	1.64514E-03	-5.43637E-07	9.82563E-11	-6.67346E-15
5	520	1	0	2200	5.20000E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
5	520	2	2200	2580	5.11657E+02	1.11697E-02	-5.00685E-06	7.51623E-10	0.00000E+00
5	520	3	2580	2646	5.18037E+02	1.64514E-03	-5.43637E-07	9.82563E-11	-6.67346E-15

Os gráficos a seguir apresentam no eixo horizontal as vazões defluentes e no vertical a diferença entre o canal de fuga (cfuga) calculado pelo SUISHI e o calculado externamente para as versões 15 e 15.1.2, considerando a mesma escala:

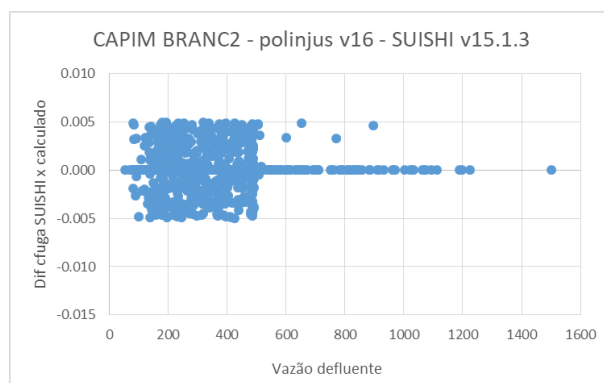
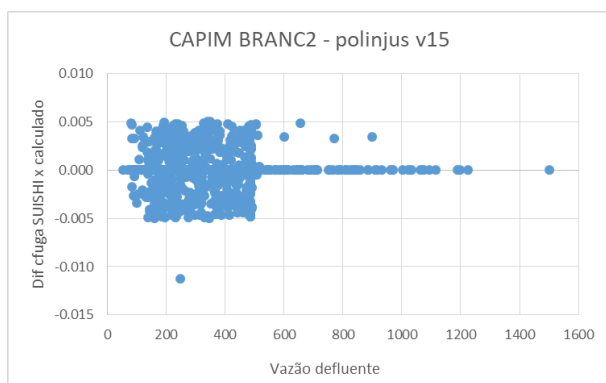


Foi verificada a necessidade de ajustar a regra de definição de polinômio existente. Na versão 15.1.3, o SUISHI passa a verificar todos os coeficientes dos polinômios cadastrados no polinjus. O polinômio somente será considerado inexistente caso todos os coeficientes sejam iguais a zero.

Os resultados na versão 15.1.3 encontram-se a seguir:



Ao comparar com o caso com ajuste no coeficiente de 1º grau do 1º polinômio da 5ª família da UHE Capim Branco II na versão 15, podemos observar no gráfico abaixo que as diferenças estão diferentes do caso rodado com o polinjus completo:



Conclusão: Teste aprovado

3.2.5 Teste 5

Calcular externamente o nível de jusante da UHE Nova Avanhandava quando a funcionalidade “Igualar Cotas de Montante” se encontra ativada para as UHEs Três Irmãos e Ilha Solteira. Para facilitar o cálculo, deve-se desativar o flag “Distribuir a vazão defluente entre os patamares de carga”, constante em “Configurações gerais” → “Dados do caso” → aba “Energia firme” e seguir roteiro detalhado no teste 2.

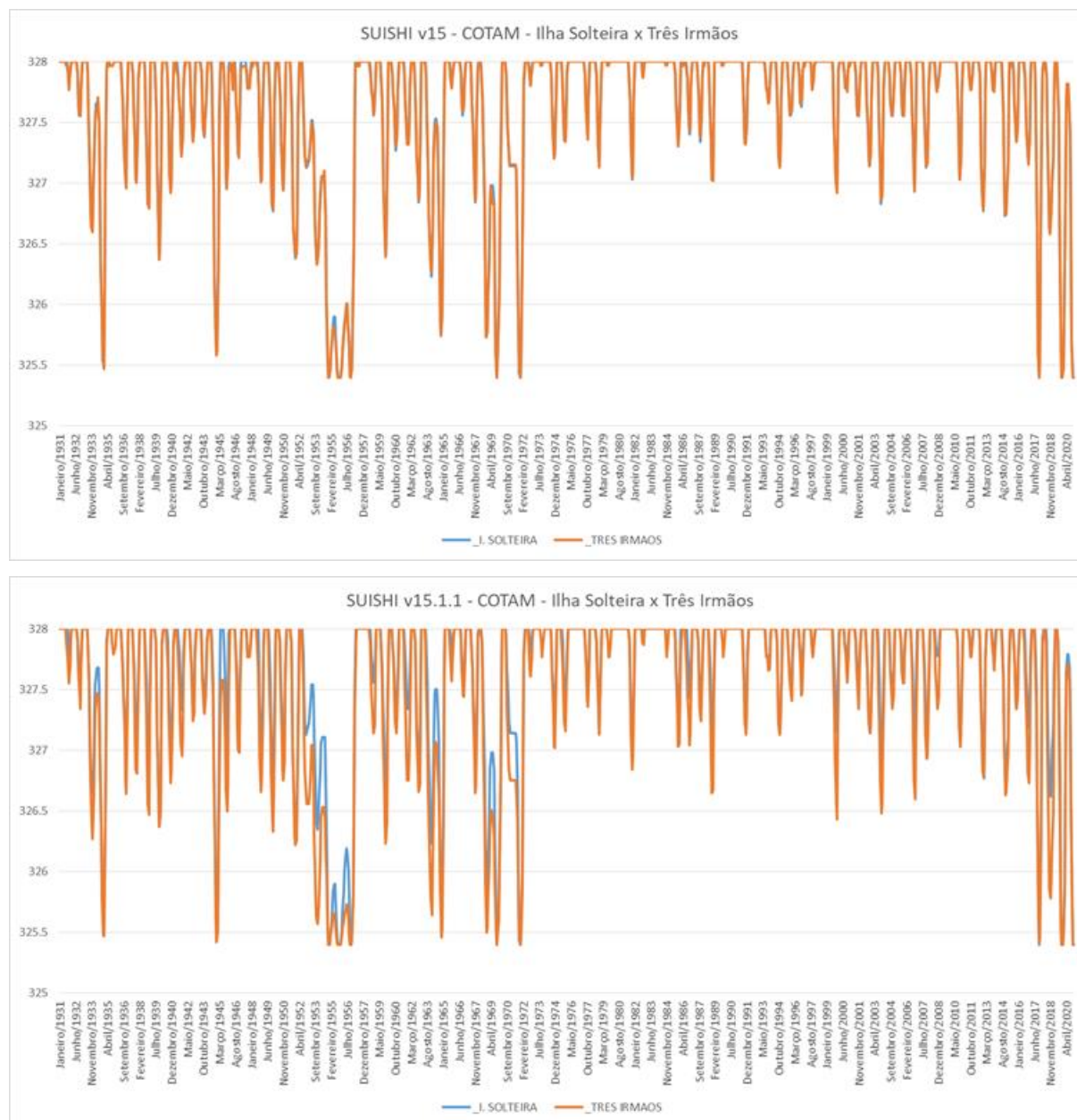
Comparar os valores calculados com os impressos no arquivo USIHID.

EPE

O teste foi realizado utilizando o deck do Caso Base do LEN A-4/2022, com a parametrização para cálculo de garantia física, exceto o flag de distribuição da vazão

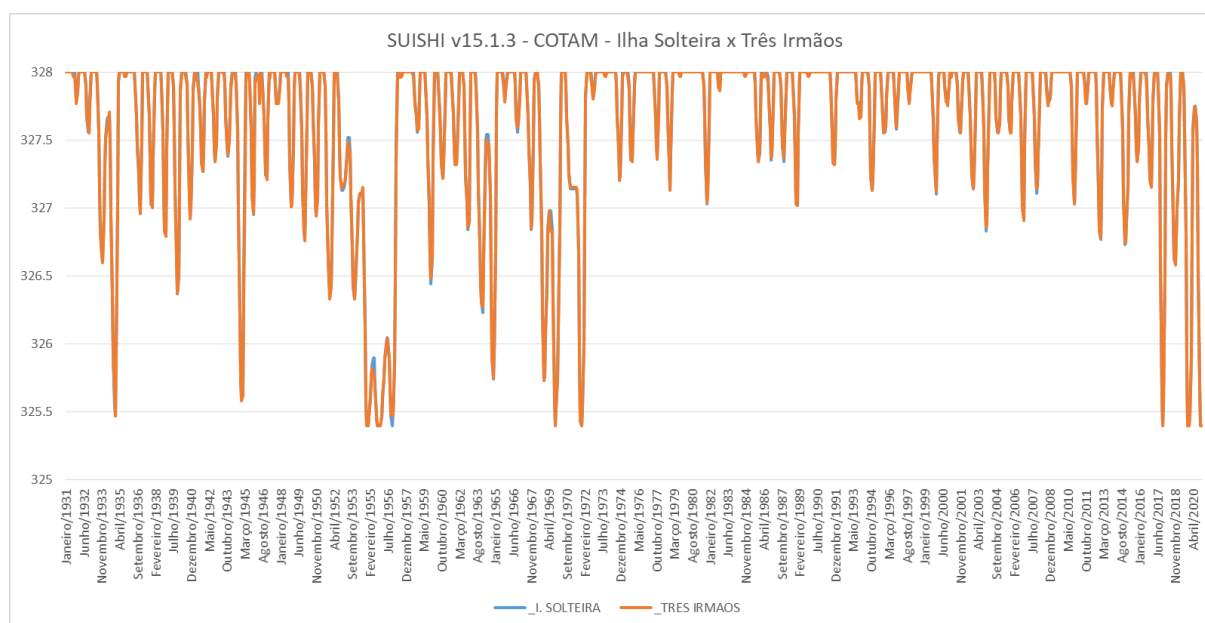
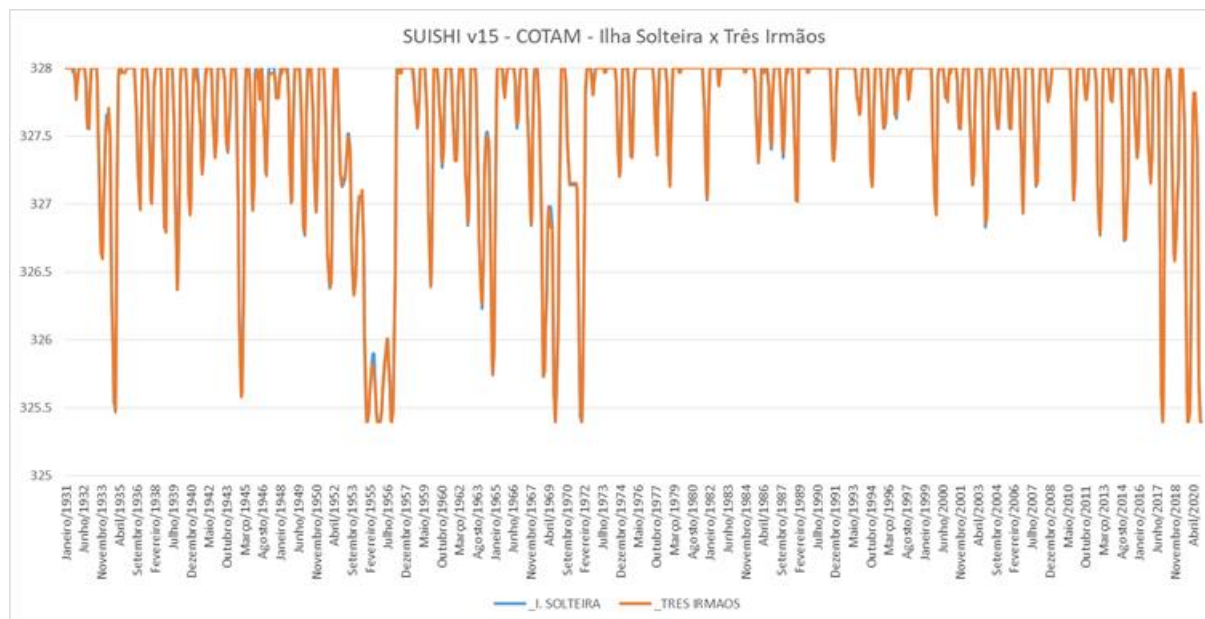
defluente entre os patamares de carga. O caso foi rodado inicialmente na versão 15.1.1 do SUISHI (ENCAD 5.6.37).

Os resultados obtidos para o canal de fuga na versão 15.1.1 foram adequadas. No entanto, verificou-se que as cotas das usinas com a funcionalidade ativa passaram a não ficar tão próximas. Os gráficos a seguir apresentam as cotas de montante das usinas de Ilha Solteira e Três Irmãos nas versões 15 e 15.1.1:

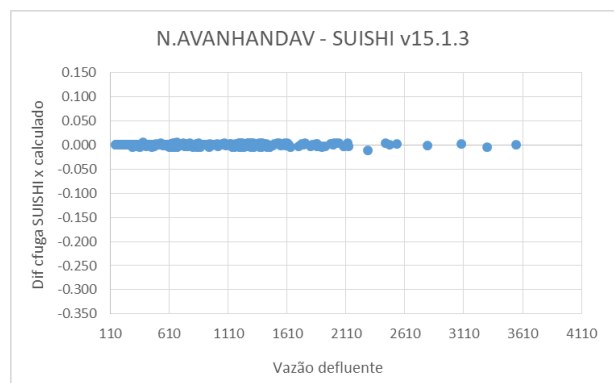
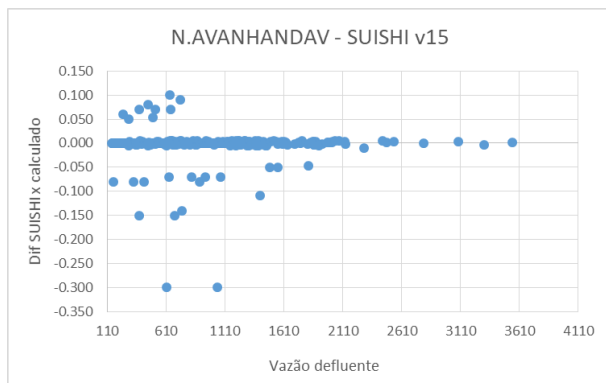


Portanto, foi feito um ajuste no processo de cálculo para igualar as cotas destas duas usinas da versão 15.1.1 para a versão 15.1.3.

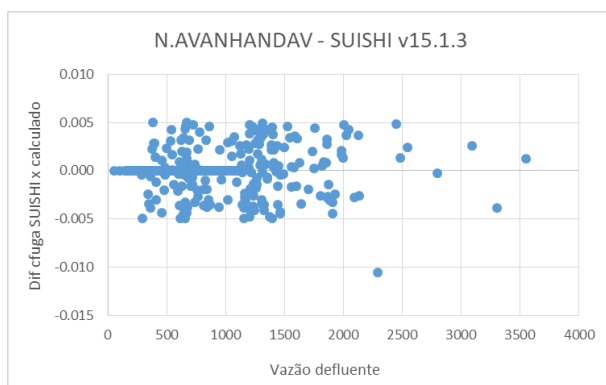
Na versão 15.1.3, as cotas destas duas usinas são novamente igualadas. Os gráficos a seguir apresentam uma comparação entre a versão 15 e a 15.1.3:



Os gráficos a seguir apresentam no eixo horizontal as vazões defluentes e no vertical a diferença entre o canal de fuga (cfuga) calculado pelo SUISHI e o calculado externamente para as versões 15 e 15.1.3, considerando a mesma escala:



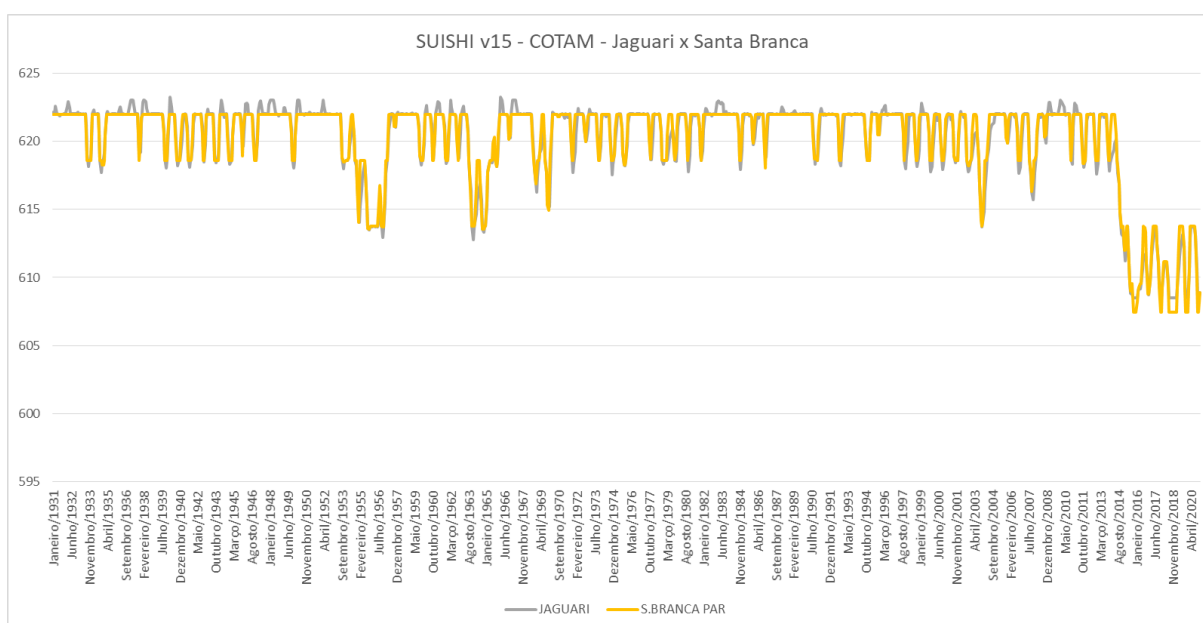
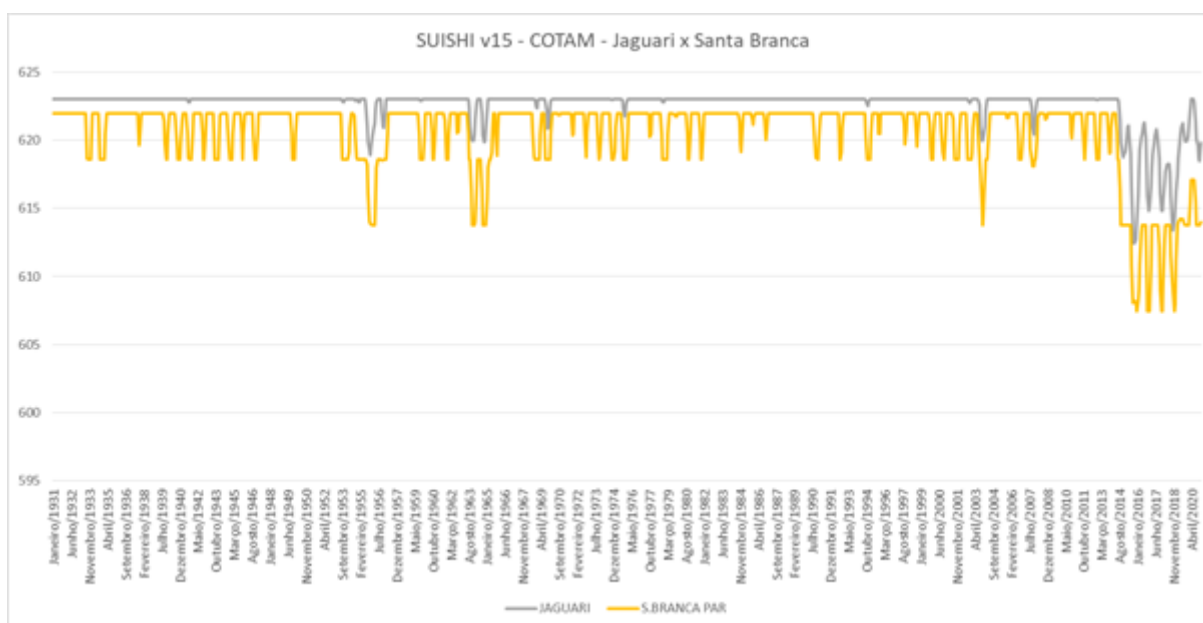
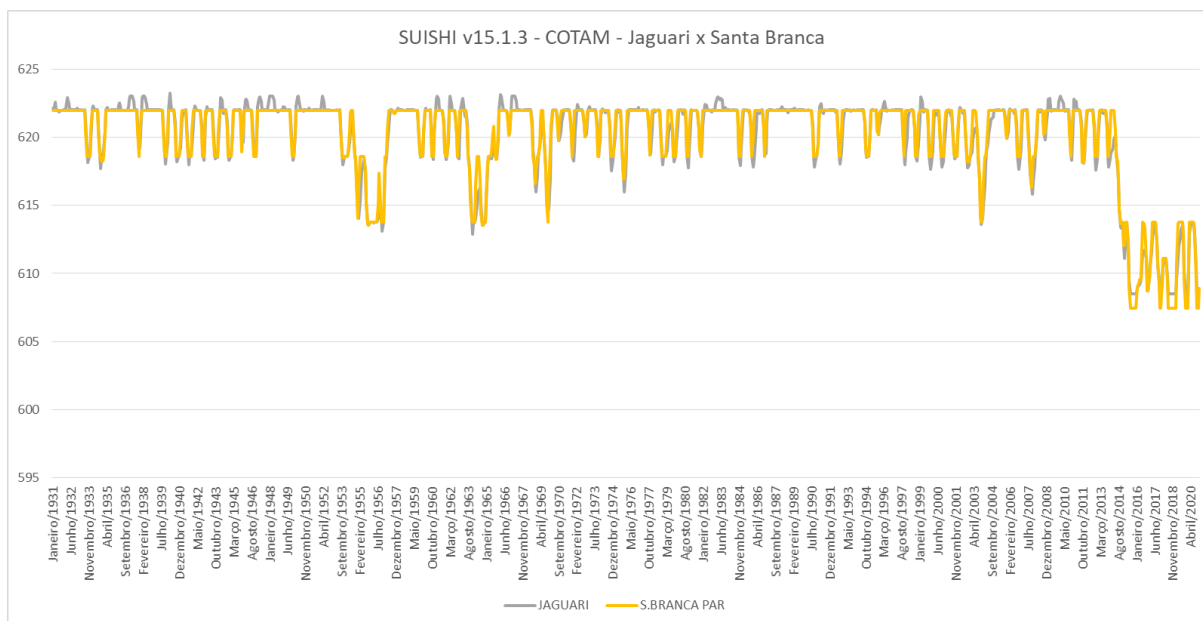
O gráfico a seguir apresenta os resultados em uma escala menor para o caso rodado na versão 15.1.3:



Teste 5A

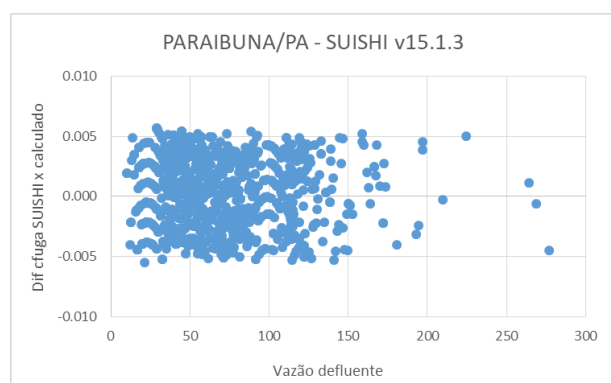
Realizar um teste semelhante considerando as UHEs Santa Branca e Jaguari com a funcionalidade “Igualar Cotas de Montante” ativa. Avaliar o canal de fuga da UHE Paraibuna.

Apesar das cotas das UHEs Santa Branca e Jaguari não ficarem tão próximas quanto as cotas de Ilha Solteira e Três Irmãos, podemos observar que ao comparar os gráficos considerando a funcionalidade desativada e ativada na versão 15, realmente as cotas destas duas usinas ficam mais próximas:



Além disso, os resultados na versão 15.1.3 são bem semelhantes aos obtidos na versão 15.

O gráfico a seguir apresenta no eixo horizontal as vazões defluentes e no vertical a diferença entre o canal de fuga (cfuga) da UHE Paraibuna calculado pelo SUISHI e o calculado externamente para a versão 15.1.3:



Conclusão: Teste aprovado

3.2.6 Teste 6

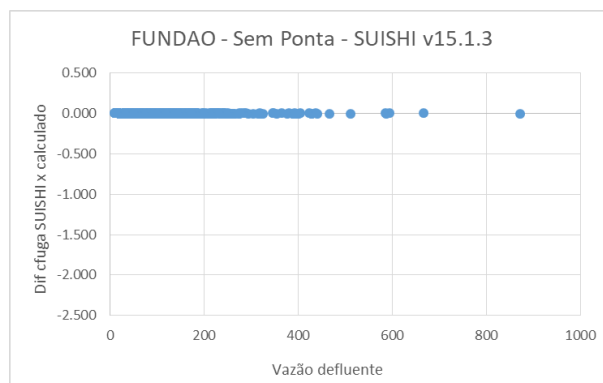
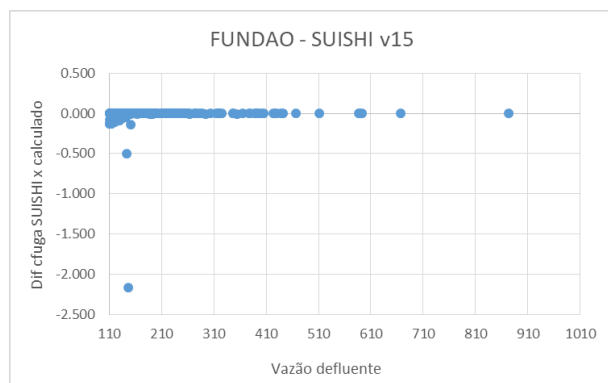
Calcular externamente o nível de jusante da UHE Fundão para todo o horizonte de simulação. Para facilitar o cálculo, deve-se desativar o flag “Distribuir a vazão defluente entre os patamares de carga”, constante em “Configurações gerais” → “Dados do caso” → aba “Energia firme” e seguir roteiro detalhado no teste 2.

Comparar os valores calculados com os impressos no arquivo USIHID.

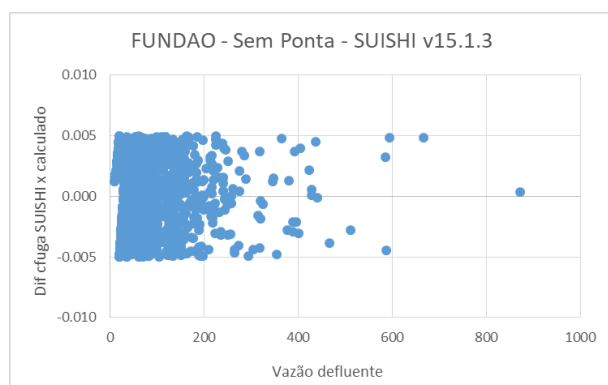
EPE

O teste foi realizado utilizando o deck do Caso Base do LEN A-4/2022, com a parametrização para cálculo de garantia física, exceto o flag de distribuição da vazão defluente entre os patamares de carga. O caso foi rodado na versão 15.1.3 do SUISHI (ENCAD 5.6.37).

Os gráficos a seguir apresentam no eixo horizontal as vazões defluentes e no vertical a diferença entre o canal de fuga (cfuga) calculado pelo SUISHI e o calculado externamente para as versões 15 e 15.1.3, considerando a mesma escala:



O gráfico a seguir apresenta os resultados em uma escala menor para o caso rodado nas versões 15.1.3:



Como pode-se observar, não foram encontradas diferenças significativas entre os canais de fuga impressos pelo SUISHI e os calculados externamente.

Conclusão: Teste aprovado

3.2.7 Teste 7

Converter e executar um caso de energia firme, a partir de um deck NEWAVE, com o arquivo polinjus e a parametrização para cálculo de garantia física e comparar a cota do canal de fuga da UHE com o calculado pelo modelo SUISHI. Ativar as regras especiais do Paraíba do Sul.

Será considerado no cálculo externo do nível de jusante o seguinte roteiro para todos os períodos da simulação, exceto para as usinas Nilo Peçanha, Pereira Passos e Fontes A e BC:

- 1) Cálculo do canal de fuga inicial (conforme roteiro do teste 2) considerando as vazões turbinada e vertida média.
- 2) Cálculo da queda líquida inicial pela diferença entre a cota de montante e o canal de fuga inicial e a perda hidráulica. Observar as usinas nas quais a perda é calculada em percentual da queda bruta.
- 3) Cálculo da queda líquida de referência conforme equação:
$$HREF = PNOM / QNOM \times PROD. ESPECÍFICA$$

Onde:

PNOM - Potência instalada (MW)

QNOM - Vazão máxima da turbina quando a queda líquida for igual à queda de referência (em m³/s)

PROD. ESPECÍFICA - produtibilidade específica do HIDR

OBS: Caso a UHE Tucuruí possua a regra operativa que relaciona potência à cota, deve-se atualizar os parâmetros relacionados PNOM e QNOM de acordo com a cota de montante.
- 4) Cálculo do engolimento máximo do conjunto turbina-gerador (QMAX):
$$QMAX = \min \{QGEN, QTU\}$$
$$QGEN = PNOM / (0.00981 \times QUED_{liq} \times REND)$$
$$QTU = QNOM \times (QUED_{liq} / HREF)^k$$

Onde:

k Fator constante igual a 0,2 para turbinas Kaplan e 0,5 para turbinas Francis ou Pelton

REND Rendimento (por unidade) do conjunto turbina gerador

(OBS: $0.00981 \times REND =$ produtibilidade específica do HIDR)
- 5) Verificação da restrição de vazão mínima defluente (VAZMIN/VAZMINT) através da consulta aos arquivos HIDR e modif.

OBS: Observar as regras de operação das usinas do São Francisco, especificamente as usinas de Sobradinho e Xingó que possuem diferentes restrições de vazão mínima dependendo do nível do reservatório de Sobradinho definido no mês anterior.

- 6) Definição da vazão turbinada na ponta inicial (QPi) considerando o atendimento da vazão mínima defluente fora da ponta:
$$Q_{Pi} = SE(Q_{VERT}=0, SE(Q_{TUR} < V_{AZMIN}, Q_{TUR}, (Q_{TUR} - V_{AZMIN} * 0.875) / 0.125), Q_{TUR})$$

Quando não há vertimento e a vazão turbinada é menor que a vazão mínima, tanto a vazão na ponta quanto fora da ponta é igual à vazão turbinada. Caso a vazão turbinada seja maior que a vazão mínima, é priorizado o atendimento à restrição de vazão mínima defluente fora da ponta.
Quando há vertimento, a vazão turbinada na ponta e fora da ponta é a mesma e igual à vazão turbinada média.
- 7) Definição da vazão turbinada na ponta (QP) considerando a limitação por engolimento máximo
$$QP = \text{Mínimo}(Q_{Pi}, Q_{MAX})$$
- 8) Cálculo do canal de fuga na ponta conforme roteiro do teste 2 (interpolação entre família de polinômios)
Cálculo da vazão defluente do período (vazão turbinada QTUR, quando não há influência do vertimento no canal de fuga, ou vazão turbinada mais vazão vertida QVERT, quando há influência);
- 9) Cálculo da queda líquida na ponta:
$$QUED_{liq_P} = COTAM - \text{perda_P} - CFUGA_P$$

Onde: A perda pode ser constante, quando cadastrada em metros, ou calculada em função da queda (que considera o respectivo canal de fuga calculado na etapa anterior), quando cadastrada em %.
OBS: Caso a queda calculada seja menor que zero, por alguma inconsistência de dados, por exemplo, o SUIISHI utiliza uma queda igual a 0,0001.
- 10) Cálculo do engolimento máximo do conjunto turbina-gerador (QMAX), conforme descrito no item 4.
- 11) Definição da vazão turbinada na ponta (QP) considerando o valor atualizado de engolimento máximo, limitado à vazão turbinada na ponta inicial (QPi).
- 12) Cálculo do canal de fuga na ponta considerando a vazão turbinada atualizada.
- 13) Cálculo da vazão defluente fora da ponta:

$$QFP = (QTUR - 0.125*QP)/0.875.$$

- 14) Cálculo do canal de fuga fora da ponta, considerando a vazão turbinada QFP.
- 15) Repetir as etapas de 8 a 14 até atingir a convergência do engolimento máximo na ponta. Verifica se houve convergência do QMAX P quando a variação percentual $(QMAX\ P - QMAX\ P\ da\ iteração\ anterior) / QMAX\ P$ for menor ou igual a 0,001 (0,1%) ou quando o número máximo de 30 iterações for atingido.
- 16) Cálculo da queda média ponderando-se a queda em cada patamar pela vazão turbinada em cada patamar.
- 17) Cálculo do canal de fuga médio para cada período pela média ponderada do canal de fuga na ponta e fora da ponta pela vazão turbinada na ponta e fora da ponta:

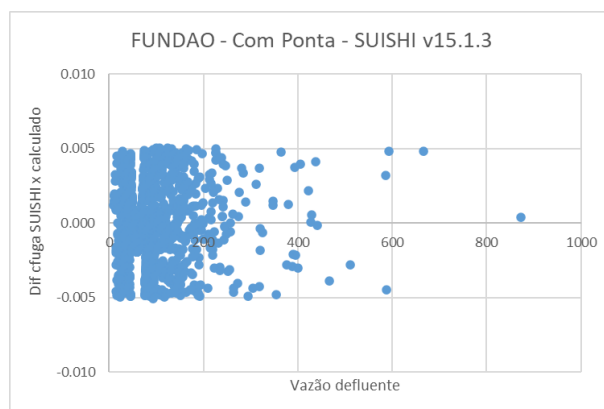
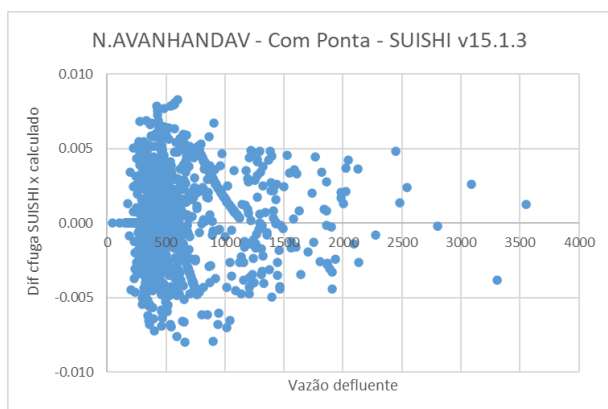
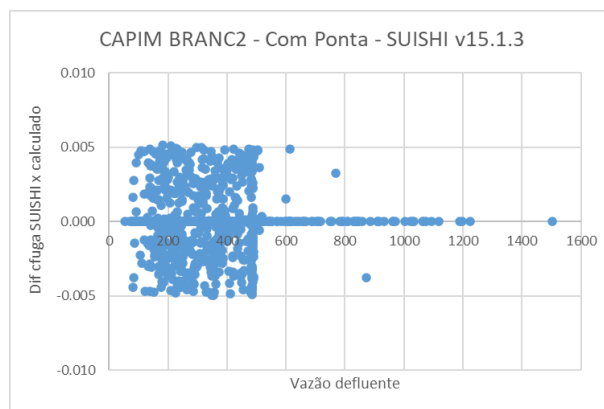
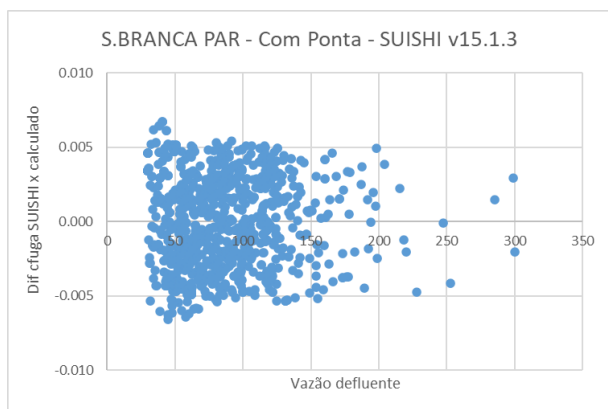
$$CFUGA = (0.125*QTUR\ P*CFUGA\ P + 0.875*QTUR\ FP*CFUGA\ FP) / (0.125*QTUR\ P + 0.875*QTUR\ FP)$$
- 18) Comparação com o CFUGA impresso pelo SUIISHI

EPE

O teste foi realizado utilizando o deck do Caso Base do LEN A-4/2022, com a parametrização para cálculo de garantia física. O caso foi rodado na versão 15.1.3 do SUIISHI (ENCAD 5.6.37).

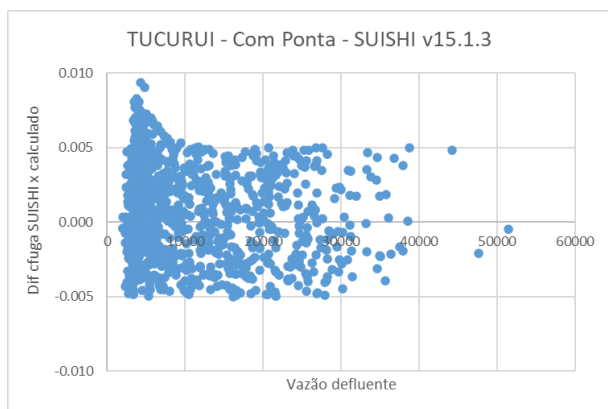
Foram verificadas todas as usinas da configuração, exceto as usinas Nilo Peçanha, Pereira Passos e Fontes A e BC, que não têm a vazão defluente dividida entre os patamares de carga. Não foram encontradas diferenças significativas entre os valores impressos pelo SUIISHI e os calculados externamente.

Para apresentação dos resultados, foram selecionadas as usinas associadas às implementações realizadas nesta versão:



Foram avaliadas usinas com características específicas como a UHE Tucuruí, que possui regra operativa que limita a sua potência de acordo com a cota do reservatório:

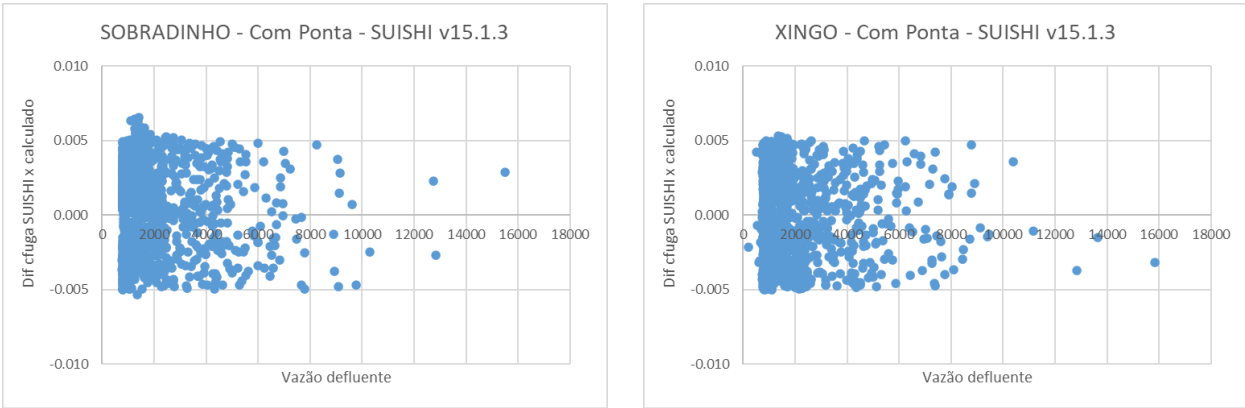
Curva de Operação													
Usina	Potência Máxima Operativa	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
TUCURUI	4245,00	51,60	51,60	51,60	51,60	51,60	51,60	51,60	51,60	51,60	51,60	51,60	51,60
	5805,00	60,50	60,50	60,50	60,50	60,50	60,50	60,50	60,50	60,50	60,50	60,50	60,50
	8535,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00



Foram avaliadas também as UHEs Sobradinho e Xingó, que possuem regras especiais de defluência mínima em função do volume do reservatório de Sobradinho, conforme definido na Resolução ANA 2081/2017.

Operação de Sobradinho

	FAIXA DE OPERAÇÃO	DEFLUÊNCIA MÍNIMA EM SOBRADINHO	DEFLUÊNCIA MÍNIMA EM XINGÓ	DEFLUÊNCIA MÁXIMA EM XINGÓ	VOLUME MÍNIMO EM ITAPARICA
60% VU	NORMAL	800 m³/s	1100 m³/s	sem restrição	30% 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



Todas as usinas apresentaram resultados satisfatórios.

Conclusão: Teste aprovado

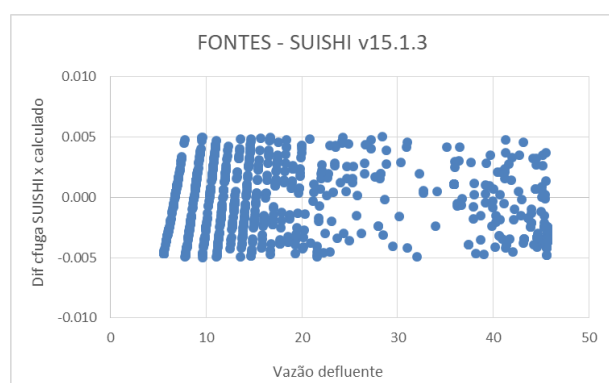
3.2.8 Teste 8

Converter e executar um caso de energia firme a partir de um deck NEWAVE e com arquivo polinjus. Verificar o cálculo do nível de jusante da UHE Fontes impresso no arquivo USIHID, considerando como vazão defluente a soma das vazões defluentes das UHEs Fontes A e BC. Calcular o canal de fuga médio ponderado para a UHE Fontes, considerando o nível de jusante ponderado pela soma da geração das UHEs Fontes A e BC. Comparar com o valor impresso no arquivo CANFUG.REL.

EPE

O teste foi realizado utilizando o deck do Caso Base do LEN A-4/2022, com a parametrização para cálculo de garantia física. O caso foi rodado na versão 15.1.3 do SUISHI (ENCAD 5.6.37).

A verificação do cálculo do canal de fuga da UHE Fontes foi feita de forma semelhante ao processo de cálculo descrito no teste 2. As diferenças encontradas são bem pequenas, como pode-se observar no gráfico a seguir:



Para o cálculo do canal de fuga médio, é feito uma média ponderada deste canal de fuga com a geração da UHE Fontes, que é a soma das gerações das UHEs Fontes A e BC para cada período de simulação. Os resultados obtidos pelo SUISHI e pelo cálculo externo são idênticos.

Conclusão: Teste aprovado

3.2.9 Teste 9

Converter/importar e executar um caso de energia firme a partir de um deck NEWAVE e com arquivo polinjus. Considerar as regras do posto de Belo Monte e desconsiderar as regras especiais do Paraíba do Sul.

Verificar se o SUISHI apresenta uma mensagem de erro.

EPE

O teste foi realizado utilizando o deck do Caso Base do LEN A-4/2022 com o arquivo polinjus atualizado, considerando a parametrização para cálculo de garantia física, excluindo as regras especiais da bacia do Paraíba do Sul e incluindo as regras do posto de Belo Monte. O caso foi rodado na versão 15.1.2 do SUISHI (ENCAD 5.6.37).

Devido a não consideração das regras especiais da bacia do Paraíba do Sul, ao executar o caso, aparece a seguinte mensagem:

ERRO: NAO HA FAMILIA DE POLINOMIOS PVNJ CADASTRADOS PARA AUSINA NUL NUL NUL NUL NUL NUL NUL NUL NUL NUL NUL NUL NUL

Ao rodar o mesmo caso com a mesma parametrização na versão 15 do SUIHI, sem o arquivo polinjus atualizado, o caso é executado normalmente.

A versão 15.1.3 não apresenta mensagem de erro e o caso é executado normalmente.

Conclusão: Teste aprovado

3.2.10 Teste 10

Converter e executar um caso de energia firme a partir de um deck NEWAVE considerando os aprimoramentos propostos pela CPAMP (ciclo 2021-2022), mais especificamente o número mínimo e máximo de iterações no arquivo dger maior do que

Verificar se o SUIHI não apresenta mensagem de erro.

EPE

O teste foi realizado utilizando o deck do Caso Base do LEN A-4/2022, com a parametrização para cálculo de garantia física. O caso foi rodado na versão 15.1.3 do SUISHI (ENCAD 5.6.37). O caso foi convertido e executado sem mensagem de erro.

Conclusão: Teste aprovado

3.2.11 **Teste 11**

Alterar no arquivo HIDR o polinômio cota x área de uma usina da configuração de forma a obter uma área nula ao aplicar as cotas mínima e máxima do reservatório. Converter e executar o caso de energia firme a partir de um deck NEWAVE com este arquivo HIDR alterado e verificar se o SUISHI roda sem mensagem de erro.

EPE

O teste foi realizado utilizando o deck do Caso Base do LEN A-4/2022 considerando um truncamento no polinômio cota x área da UHE Suíça, que impossibilita a rodada na versão

15 do SUIHI por gerar valores de área nula. O caso foi rodado na versão 15.1.3 do SUIHI (ENCAD 5.6.37). O caso foi convertido e executado sem mensagem de erro.

Conclusão: Teste aprovado

3.2.12 **Teste 12**

Converter e executar um caso de energia firme a partir de um deck NEWAVE considerando as regras especiais da bacia do Paraíba do Sul e sem optar pela escrita do arquivo USIHID.CSV. Verificar se a execução é interrompida.

EPE

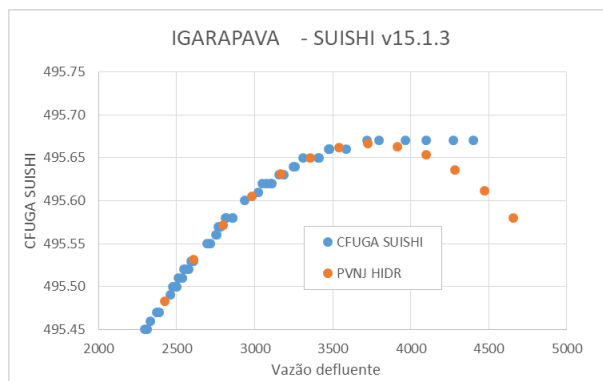
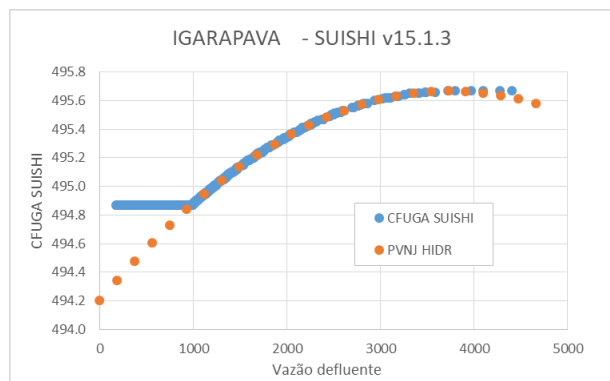
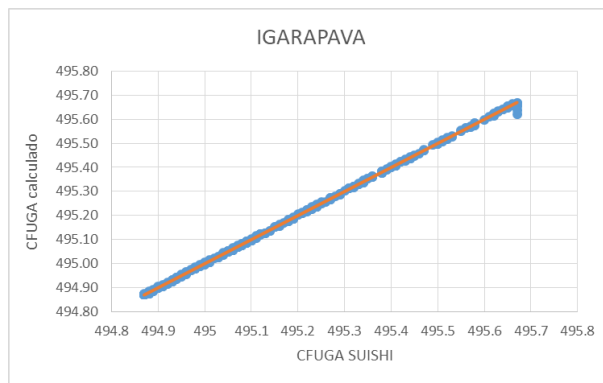
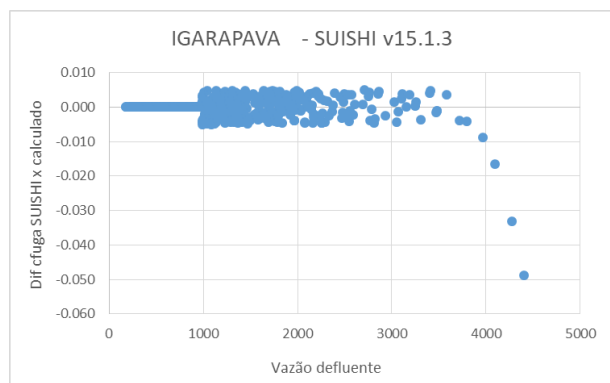
O teste foi realizado utilizando o deck do Caso Base do LEN A-4/2022, com a parametrização para cálculo de garantia física e sem optar pela escrita do arquivo USIHID.CSV. O caso foi rodado nas versões 15.1.1 e 15.1.2 do SUIHI (ENCAD 5.6.37). A execução da versão 15.1.1 é interrompida. Nas versões 15.1.2 e 15.1.3, o caso foi executado sem interrupções.

Conclusão: Teste aprovado

3.2.13 **Teste 13**

Converter e executar um caso de energia firme a partir de um deck NEWAVE sem o arquivo polinjus. Verificar se o SUIHI está considerando corretamente os polinômios de jusante do arquivo HIDR.

Inicialmente foi analisado um caso sem a distribuição da vazão defluente entre os patamares de carga. Foram observadas diferenças entre o valor de canal de fuga impresso pelo SUIHI e o calculado externamente para algumas usinas. Avaliando os resultados da UHE Igarapava:



As diferenças encontradas entre os valores de canal de fuga calculados externamente e os impressos pelo SUISHI, se concentram no trecho do polinômio que apresenta um comportamento decrescente (em laranja). Neste caso, o SUISHI mantém o valor máximo calculado no trecho crescente e o mantém no trecho decrescente (em azul).

Além de Igarapava, os polinômios das usinas listadas a seguir apresentam o mesmo comportamento:

- 121 PARAIBUNA/PA
- 130 ILHA POMBOS
- 134 SALTO GRANDE
- 169 SOBRADINHO
- 178 XINGO

No caso com a distribuição da vazão defluente entre os patamares de carga, foram observadas diferenças semelhantes ao do caso sem ponta. No entanto, é importante observar que as diferenças encontradas se devem à inconsistência dos polinômios cadastrados, e não ao cálculo do canal de fuga especificamente, que está correto em ambos os casos.

Conclusão: Teste aprovado

4 Conclusões

Este relatório apresenta os resultados do processo de validação dos ajustes implementados no modelo SUIHI, versões 15.1.1 a 15.1.3, 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 SUIHI é um modelo de simulação a usinas individualizadas em sistemas hidrotérmicos interligados aplicado, principalmente, na realização de estudos de planejamento da expansão e operação energética, permitindo a consideração de simulações para cálculo de energia firme, de simulações hidrotérmicas, e de simulações para cálculo de energia garantida, as duas últimas com base na política de operação definida pelo modelo NEWAVE (contida na função de custo futuro de cada mês).

O processo de validação do modo de simulação para cálculo de energia firme do modelo SUIHI, no âmbito da CPAMP, teve início no dia 26 de abril de 2022, durante a 1ª reunião do Subgrupo SUIHI do GT Metodologia/CPAMP, sendo finalizado no dia 19 de maio de 2022, durante a sua 4ª reunião.

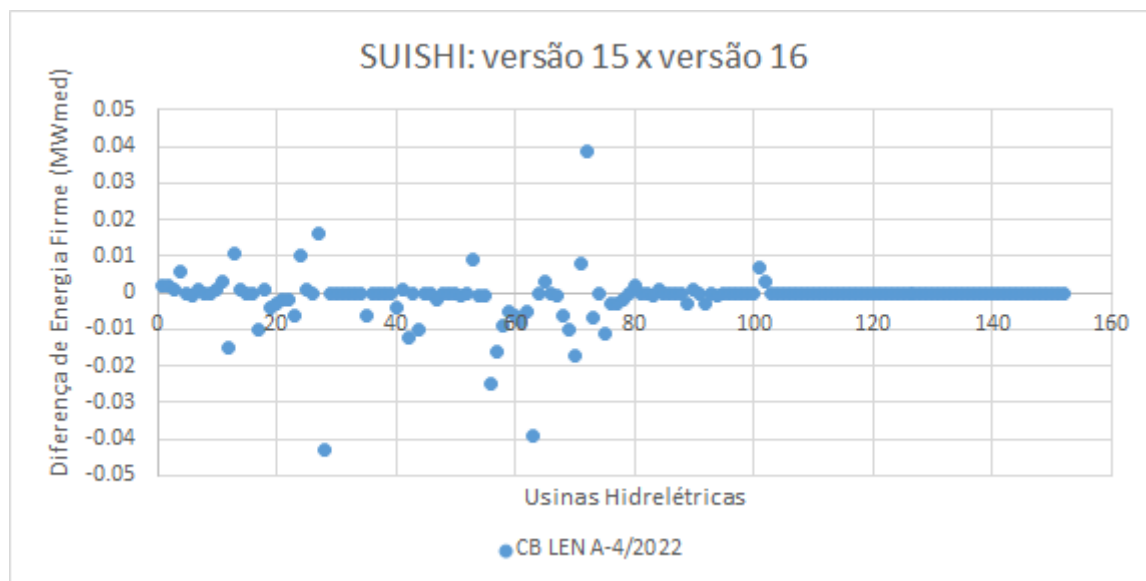
O GT Metodologia/CPAMP, com base nos resultados obtidos, concluiu em reunião do dia 19 de maio de 2022, que o *modo de simulação para cálculo de energia firme* da versão 15.1.3 do modelo SUIHI está apto a ser utilizado.

Com os testes realizados, descritos na seção 3, com as versões 15.1.1 a 15.1.3, concluiu-se que as adequações realizadas funcionam de acordo com o esperado.

Em relação ao impacto em energia firme, a tabela abaixo apresenta a diferença em energia firme no SIN do Caso Base do LEN A-4/2022 rodado nas versões 15 e na futura versão 16:

Caso	Energia Firme (MWmed)		Diferença de EF (MWmed)	Variação de EF (%)
	versão 15	versão 16		
CB LEN A-4/2022	53947.6	53947.4	-0.2	-0.0003%

Observa-se que as diferenças são marginais no SIN. O impacto em energia firme por usina também é pequeno, como pode-se observar no gráfico a seguir:



Destaca-se que o impacto das novas funcionalidades nos modos de *simulação hidrotérmica e para cálculo de energia garantida* não foram validadas.

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 15.1.3 do modelo SUISHI, a ser denominada versão 16.0, 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 o CEPEL continue aprimorando metodologicamente o modelo SUISHI e mantendo-o compatível com as novas versões do modelo NEWAVE, e que o grupo acompanhe e teste os novos desenvolvimentos.

6 Bibliografia

- [1] Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, “Relatório de Validação do Modelo SUIHI-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 SUIHI – 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 SUIHI – 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 SUIHI – 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 SUIHI”, 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 SUIHI – 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 SUIHI – 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 SUIHI – Modelo de Simulação a Usinas Individualizadas de Sistemas Hidrotérmicos Interligados”, Abril de 2020.

- [11] Comissão Permanente para Análise de Metodologias e Programas Computacionais do Setor Elétrico – CPAMP, “Relatório de Validação da Versão 15 do Programa SUISHI – Modelo de Simulação a Usinas Individualizadas de Sistemas Hidrotérmicos Interligados”, Abril de 2021.