

SDDP

Manual do Usuário

VERSÃO 17.2



PSR

Sumário

1	Notas de instalação e manipulação de dados	11
1.1	Instalação	11
1.2	Espaço requerido para a instalação	11
1.3	Acesso ao sistema	11
1.4	Dimensões do modelo	11
1.5	MPI (execução paralela).....	12
1.5.1	Configuração dos nós.....	12
1.5.2	Execução	12
1.5.3	Performance	13
2	Fluxo de Execução do Modelo	14
3	Primeiros Passos	15
3.1	Seleção de diretórios	15
3.2	Criação de um novo caso	15
4	Visão Geral	16
4.1	Organização da interface	16
4.1.1	Árvore de navegação	16
4.1.2	Lista de elementos	16
4.1.3	Painel de edição de dados	17
4.2	Navegabilidade.....	17
4.2.1	Abrir, editar e salvar dados.....	17
4.2.2	Customizando Dados complementares	18
4.3	Tabela de dados cronológicos.....	18
4.3.1	Adição e exclusão de dados.....	18
4.3.2	Manipulação de dados.....	19
5	Usinas hidroelétricas	20
5.1	Configuração	20
5.1.1	Seleção das usinas	20
5.1.2	Dados básicos das usinas hidro.....	20
5.1.3	Parâmetros das usinas – grupo gerador	20
5.1.4	Parâmetros das usinas – reservatório	22

5.1.5	Parâmetros das usinas – topologia.....	24
5.1.6	Parâmetros das usinas – tabelas.....	24
5.2	Fator de perdas de hidroelétricas.....	26
5.3	Manutenção.....	26
5.4	Expansão/Modificação.....	26
5.5	Irrigação.....	27
5.6	Volume de alerta e volume mínimo.....	27
5.7	Volume máximo operativo.....	28
5.8	Volume de espera.....	28
5.9	Turbinamento máximo.....	28
5.10	Vertimento mínimo.....	29
5.11	Vertimento máximo.....	29
5.12	Defluência total máxima.....	29
5.13	Defluência total mínima.....	29
5.14	Energia de alerta.....	29
5.15	Energia mínima.....	29
5.16	Energia de espera.....	30
5.17	Polinômio cota-volume.....	30
5.18	Parâmetros para cálculo de energia armazenada.....	30
5.19	Restrições operativas de hidrelétricas.....	31
5.20	Restrições de fluxo de água constante.....	31
6	Combustíveis.....	32
6.1	Seleção de combustíveis.....	32
6.2	Dados básicos dos combustíveis.....	32
6.3	Preço de combustíveis.....	32
6.4	Disponibilidade dos combustíveis.....	32
6.5	Custos de créditos de carbono.....	33
7	Usinas térmicas.....	34
7.1	Configuração.....	34
7.1.1	Seleção das usinas.....	34
7.1.2	Dados operativos das usinas.....	34

7.1.3	Consumo de combustível.....	36
7.1.4	Combustíveis alternativos.....	37
7.2	Manutenção.....	37
7.3	Expansão/Modificação.....	37
7.4	Geração mínima.....	38
7.5	Custo de partida.....	38
7.6	Restrições operativas de térmicas.....	38
7.7	Estado operativo do ciclo combinado.....	38
7.8	Consumo específico por bloco.....	39
8	Emissões.....	40
9	Contratos de Combustível.....	41
9.1	Seleção dos contratos.....	41
9.2	Dados básicos.....	41
9.3	Tipos de contratos de combustível.....	41
9.4	Dados de contratos de combustível do tipo Livre.....	42
9.5	Dados de contratos de combustível Por Integral.....	42
9.5.1	Make-up e carry forward.....	43
9.6	Custo do contrato variável no tempo.....	43
9.7	Máxima retirada variável no tempo.....	43
10	Reservatório Físico de Combustível.....	44
10.1	Seleção dos reservatórios.....	44
10.2	Dados básicos.....	44
10.3	Expansão/Modificação.....	44
10.4	Restrições dos reservatórios.....	44
11	Hidrologia.....	45
11.1	Registros históricos de vazões.....	45
11.1.1	Adicionar uma nova estação hidrológica.....	45
11.1.2	Seleção dos dados de vazões.....	45
11.1.3	Vazões totais ou incrementais.....	45
11.1.4	Estatísticas das vazões.....	46
11.2	Estimação dos parâmetros do modelo estocástico de vazões.....	46

11.3	Incerteza reduzida.....	48
11.4	Variável Climática.....	49
12	Sistema	50
12.1	Unidade monetária	50
12.2	Configuração do sistema.....	50
12.3	Reserva de geração	50
12.4	Reserva girante hidro.....	51
12.5	Reserva girante térmica	51
12.6	Restrições de geração	51
12.7	Restrições de gerais	52
12.8	Curva de Aversão a Risco (CAR)	52
13	Demanda.....	53
13.1	Demanda de médio / longo prazo	53
13.1.1	Obtenção da aproximação da demanda por patamares a partir de uma demanda horária.....	53
13.1.2	Duração variável dos patamares de demanda.....	54
13.1.3	Mapeamento hora-bloco	55
13.1.4	Blocos cronológicos.....	55
13.2	Múltiplas demandas por sistema	56
13.3	Demandas elástica, inelástica e mista	56
13.4	Demanda flexível.....	58
13.5	Incerteza na demanda	58
14	Transmissão	59
14.1	Modelo de fluxo de potência linearizado	59
14.1.1	Dados de barras.....	59
14.1.2	Dados de circuitos	62
14.1.3	Dados de Elos de Corrente Contínua (CC).....	63
14.1.4	Restrições na importação/exportação por áreas.....	64
14.1.5	Restrições de soma de fluxo em circuitos.....	64
14.1.6	Custos em Circuitos Internacionais	64
14.2	Modelo de intercâmbio	65

14.2.1	Interconexões.....	65
14.2.2	Restrições de soma de intercâmbios	65
14.2.3	Custos variáveis de interconexão.....	66
15	Injeções de potência.....	67
16	Sistema de Gás.....	68
16.1	Dados de Nós	68
16.1.1	Configuração	68
16.1.2	Expansão/Modificação	68
16.2	Dados de Gasodutos	68
16.2.1	Configuração	68
16.2.2	Expansão/Modificação	69
16.3	Demanda não termoelétrica.....	69
16.4	Custos de Produção de Gás.....	69
17	Fontes de Energia Renovável.....	70
17.1	Configuração	70
17.2	Expansão/Modificação.....	70
17.3	Cenários de Geração de Fontes Renováveis	70
17.4	Energia Solar Concentrada – Concentrated Solar Power (CSP)	71
17.4.1	Configuração	71
17.4.2	Seleção de CSP.....	71
17.4.3	Dados operativos de usinas CSPs	71
17.4.4	Expansão/Modificação	72
18	Time Series Lab (TSL)	73
19	Baterias.....	74
19.1	Configuração	74
19.1.1	Seleção de baterias	74
19.1.2	Dados operativos de baterias.....	74
19.2	Expansão/Modificação.....	74
20	Hidrogênio e eletrificação.....	75
20.1	Configuração dos processos e das unidades.....	75
20.2	Configuração de nó	75

20.3	Transporte.....	76
20.3.1	Configuração de transporte	76
20.3.2	Expansão/Modificação	76
20.4	Produtor	76
20.4.1	Configuração de produtor	76
20.4.2	Expansão/Modificação	77
20.5	Armazenamento	77
20.5.1	Configuração de armazenamento	77
20.5.2	Expansão/Modificação	78
20.6	Demanda.....	78
20.7	Exemplos de aplicação	79
21	Opções de Execução	81
21.1	Opções do Estudo	81
21.1.1	Título do estudo	81
21.1.2	Atividades	81
21.1.3	Vazões	81
21.1.4	Tipo de estudo.....	82
21.1.5	Séries Forward para simulação	83
21.1.6	Nível de Relatório	83
21.1.7	Parâmetros	83
21.2	Configuração do sistema.....	84
21.2.1	Parâmetros	84
21.2.2	Estágio	85
21.2.3	Configuração	85
21.2.4	Manutenção	85
21.2.5	Incerteza na demanda.....	85
21.3	Modelo de Rede.....	86
21.3.1	Rede de transmissão	86
21.3.2	Rede de gás	88
21.4	Parâmetros econômicos	88
21.4.1	Unidade monetária	88

21.4.2	Taxa de desconto	88
21.4.3	Fatores de penalização.....	88
21.4.4	Custo de racionamento de energia	89
21.5	Sistemas e modo operativo	89
21.6	Saídas em planilhas.....	89
21.7	Estratégias de solução.....	89
21.7.1	Funções de custo futuro (FCFs) e opções de “restart”	89
21.7.2	Ler e escrever uma FCF terminal.....	90
21.7.3	Restart	90
21.7.4	Despacho comercial	91
21.7.5	Vertimento não controlável	91
21.7.6	Volumes iniciais para o primeiro estágio	91
21.7.7	Volumes iniciais para a primeira backward.....	92
21.7.8	Vazões iniciais (condição inicial de hidrologia)	92
21.7.9	Representação de não-convexidades na política.....	92
21.8	Análise de sensibilidade	93
21.9	Curva de Aversão a Risco (CAR)	93
21.10	Dados cronológicos	94
22	Representação horária	95
22.1	Introdução.....	95
22.1.1	Representação por blocos.....	96
22.1.2	Motivação: representação da geração eólica e de outras fontes de geração renováveis intermitentes	98
22.1.3	Representação Horária.....	99
22.2	Primeiros passos	99
22.2.1	Definição dos dados	99
22.2.2	Mapeamento hora-bloco	100
22.2.3	Criando séries de dados horários a partir do mapeamento hora bloco	101
22.3	Dados de entrada.....	102
22.3.1	Resolução dos dados de entrada	102
22.3.2	Dados do mapeamento hora-bloco	103

22.3.3	Ferramenta integrada de clusterização	103
22.3.4	Dados de demanda horária	105
22.3.5	Cenários horários de geração renovável	105
22.3.6	Restrições operativas de usinas térmicas	105
22.3.7	Restrições operativas de usinas hidrelétricas	105
22.3.8	Opções de estudo	105
22.4	Parâmetros de execução para a rodada horária	106
22.4.1	Representação do sistema	106
22.4.2	Estratégia de solução	107
22.5	Resultados	109
22.5.1	Mapa de calor do status de execução por estágio e cenário	109
22.5.2	O módulo Gráfico	109
23	Arquivos de saída na representação horária	111
23.1	Visão geral	111
23.2	Gerando arquivos CSV a partir de saídas em formato binário	111
23.2.1	O processo de conversão via interface gráfica	112
23.2.2	O processo de conversão via linha de comando	112
23.2.3	Automatização do processo via <i>post-run hook</i>	114
24	Estratégia de horizonte rolante	117
25	Execução paralela	118
25.1	Distribuição paralela	118
25.2	Seleção do número de nós e processos	119
25.3	Configurando a execução paralela	119
25.3.1	A partir da interface gráfica	119
25.3.2	A partir da linha de comando	120
26	Execução Remota	122
27	Saídas Adicionais	126
28	Módulo Grficador	127
28.1	Introdução	127
28.2	Opções gerais	127
28.3	Seleção de etapa	128

28.4	Seleção de patamares de demanda	128
28.5	Seleção de séries	129
28.6	Título dos eixos (opcional)	129
28.7	Seleção de variáveis, agentes e macro agentes	130
28.8	O editor de macro agentes	130
28.9	Filtros	131
28.10	Nova ferramenta de visualização.....	133
29	PSRIO	134
30	Power View para resultados de estudos de transmissão	135
31	Possíveis Problemas Relacionados à Chave Física do SDDP	136
31.1	Error Code 03	136
31.2	Error Code 12	136
32	PSR Cloud	137

1 NOTAS DE INSTALAÇÃO E MANIPULAÇÃO DE DADOS

1.1 Instalação

O usuário pode instalar o SDDP baixando o *setup* do programa diretamente de nossa página web www.psr-inc.com. Para tal, basta visitar nossa página e selecionar Software > SDDP no menu que aparece no topo da página. Em seguida, vá para *Downloads relacionados* no lado direito da página onde a última versão disponível está disponível. Pressione uma vez com o *mouse* em cima do nome e proceda com a instalação. O usuário pode também guardar o arquivo no seu disco local para uma instalação posterior.

Observe que o programa deve ser instalado por um usuário com direitos de Administrador para que a instalação de todos os arquivos requeridos se realize de maneira adequada.

Ao momento da instalação uma senha é requerida. Esta senha é enviada por e-mail aos usuários licenciados ao momento do anúncio de uma nova versão.

As novidades e correções do modelo se encontram no documento chamado *SddpReadmePor.pdf*. Ao abrir a interface gráfica, este documento pode ser acessado através da barra superior selecionando no menu superior a opção "Ajuda > Leia-me". Por favor, leia atentamente este documento antes de utilizar a nova versão do modelo.

Para executar o modelo, é necessário que uma chave física – especificamente programada para identificar o usuário – esteja conectada em uma porta do computador. Esta chave é enviada ao usuário ao momento da aquisição da licença.

1.2 Espaço requerido para a instalação

São necessários 150 MB livres para instalar o sistema SDDP. As saídas em planilha geradas pelo modelo a partir da seleção do usuário podem ocupar muito espaço em disco dependendo das dimensões do caso de estudo (número de usinas, etapas, blocos e cenários de hidrologia).

1.3 Acesso ao sistema

O programa pode ser executado através de sua interface gráfica em ambiente Windows através do ícone criado no desktop ou através do menu "Iniciar > Programas > PSR > SDDP".

1.4 Dimensões do modelo

Para conhecer as dimensões máximas do modelo, basta acessar o menu "Ajuda > Dimensões" na interface gráfica. Será exibida uma tabela com as dimensões máximas permitidas pelo programa. Além disto, em "Ajuda > Sobre" é possível obter o número e nome da versão que está instalada.

Alternativamente, também é possível executar o comando **SDDP DIM**, em DOS, a partir do subdiretório \OPER. Este comando não executa o modelo, somente gera um arquivo chamado SDDP.DIM, no mesmo diretório, com as dimensões máximas.

1.5 MPI (execução paralela)

O algoritmo do SDDP pode se beneficiar de múltiplos recursos computacionais¹ para realizar seus cálculos em modo paralelo. A comunicação entre os processos do SDDP na execução paralela é realizada pela biblioteca MPICH, que é uma implementação do padrão MPI (*Message Passing Interface*) desenvolvido pelo Argonne National Laboratory.

Os computadores devem ter o SDDP instalado e o MPI configurado apropriadamente. O instalador do SDDP realiza a configuração do MPI automaticamente conforme descrito na próxima seção. Esta é a maneira mais direta de configurar o SDDP para execuções em paralelo.

1.5.1 Configuração dos nós

O processo de setup do SDDP irá instalar e configurar o MPI automaticamente. A instalação do MPI envolve os seguintes passos:

Passo 1) Instalação do MPICH (versão compatível com o SDDP).

Passo 2) Criação de um usuário chamado “sddpar” com privilégios de administrador. A senha para esse usuário é definida pela PSR.

Passo 3) Criação de um compartilhamento de disco chamado “sddpar”, apontando para o disco de instalação do SDDP. Este compartilhamento é usado para acessar os executáveis do SDDP e suas dependências a partir de todas as máquinas de processamento.

Passo 4) Criação de um compartilhamento de disco para cada um dos discos físicos do computador. Cada compartilhamento de disco é nomeado como “sddpdat_<UNIDADE_DE_DISCO>”. Para impedir acesso não autorizado, as permissões deste compartilhamento são restritas ao usuário corrente e ao usuário “sddpar”. Este compartilhamento é usado para acessar os dados do SDDP a partir de todas as máquinas de processamento.

Passos 5) Registro do usuário “sddpar” para execuções via MPI.

1.5.2 Execução

No modo paralelo, o SDDP precisa configurar o *cluster* e garantir que todos os diretórios são acessíveis por todos os nós envolvidos na execução. No início do processo, o SDDP irá realizar os seguintes passos, dependendo de como os nós e o diretório de dados foram definidos:

- 1) Se a execução envolver apenas um nó:
 - a. O diretório local será utilizado para definir o diretório de trabalho dos binários do SDDP.
 - b. O diretório de dados definido na interface será utilizado diretamente na execução.
- 2) Se a execução envolver dois ou mais nós:
 - a. Diretório UNC pré-definido `\\sddpar\PSR\<SDDP_Folder>\Oper` será utilizado para definir o diretório de trabalho dos binários do SDDP. Esse compartilhamento

¹ diversos computadores conectados por uma rede local ou um computador multi-tarefa

é criado durante o setup do SDDP em todos os nós (passo 3) e seu objetivo principal é garantir que esse diretório é visível e acessível por cada um dos nós.

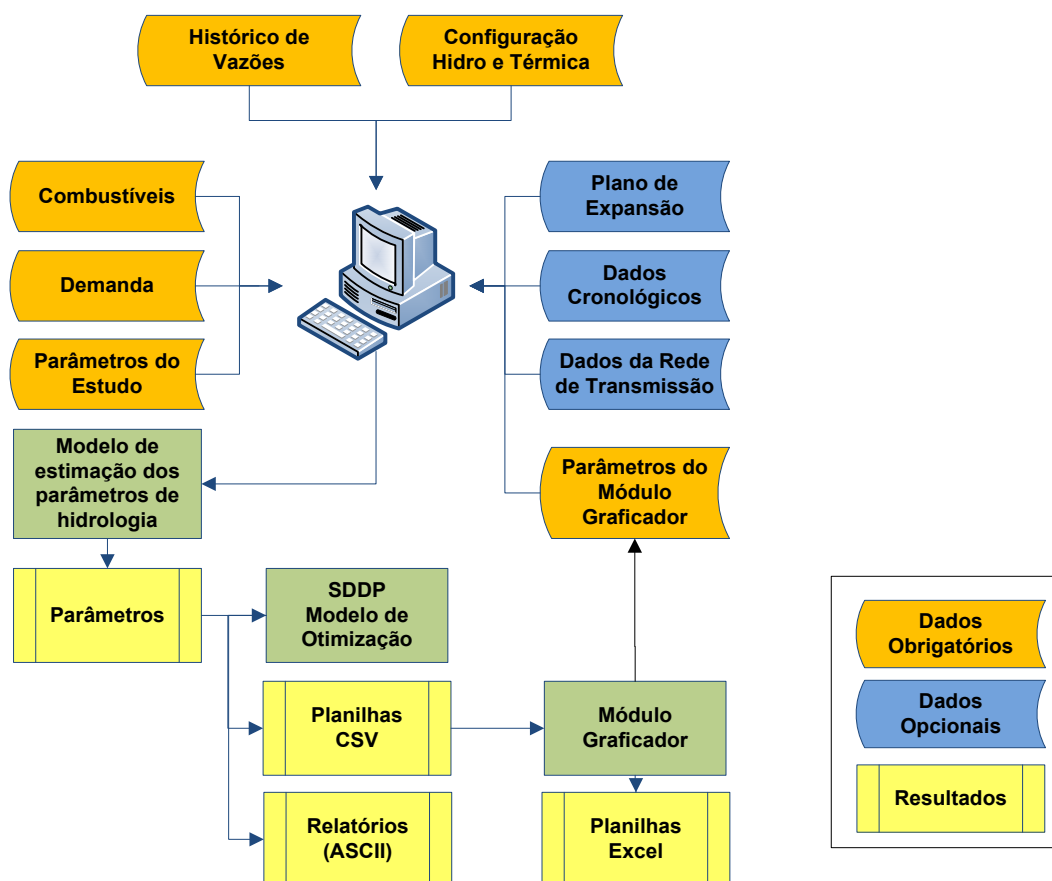
- b. Se o diretório de dados é:
 - i. Definido como diretório UNC (por exemplo, `\\node-name\path-to-data`): será utilizado diretamente na execução.
 - ii. Definido como um diretório local (por exemplo, `D:\path-to-data`): será convertido em um diretório UNC (`\\node-name\sddpdat_D\path-to-data`). Esse compartilhamento é criado durante o setup do SDDP em todos os nós (passo 4) e seu objetivo principal é garantir que esse diretório é visível e acessível por cada um dos nós.

1.5.3 Performance

Para atingir melhor performance, recomenda-se que todos os computadores tenham configuração semelhante e pertençam ao mesmo segmento de rede.

2 FLUXO DE EXECUÇÃO DO MODELO

A figura a seguir representa o fluxo de execução das atividades de planejamento operativo, os principais dados de entrada e os enlaces entre os módulos do sistema SDDP.



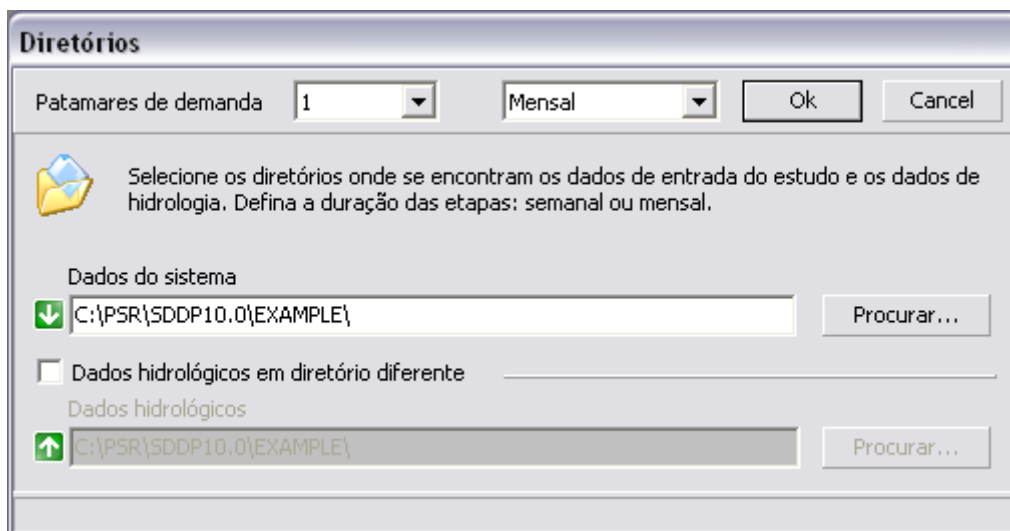
Os próximos capítulos deste documento descrevem os dados de entrada, opções de execução e análise das saídas do SDDP.



3 PRIMEIROS PASSOS

3.1 Seleção de diretórios

A primeira opção da interface é a seleção dos diretórios onde se encontram os dados de entrada do estudo e os dados de hidrologia.

O SDDP permite que o usuário mantenha, em um mesmo diretório, dados para diferentes configurações de patamares de demanda e duração da etapa. Por esta razão, também se deve definir nesta tela o número de patamares de demanda e a duração das etapas (semanal ou mensal) que se deseja utilizar. A figura abaixo ilustra esta tela



Observação: os botões  e , localizados ao lado de cada diretório de dados, têm como finalidade facilitar a especificação dos diretórios. Depois de especificado o diretório de um dos tipos de dados (Sistema ou Hidrológicos), o botão, quando pressionado, atualiza o diretório adjacente para o mesmo caminho de dados.

3.2 Criação de um novo caso

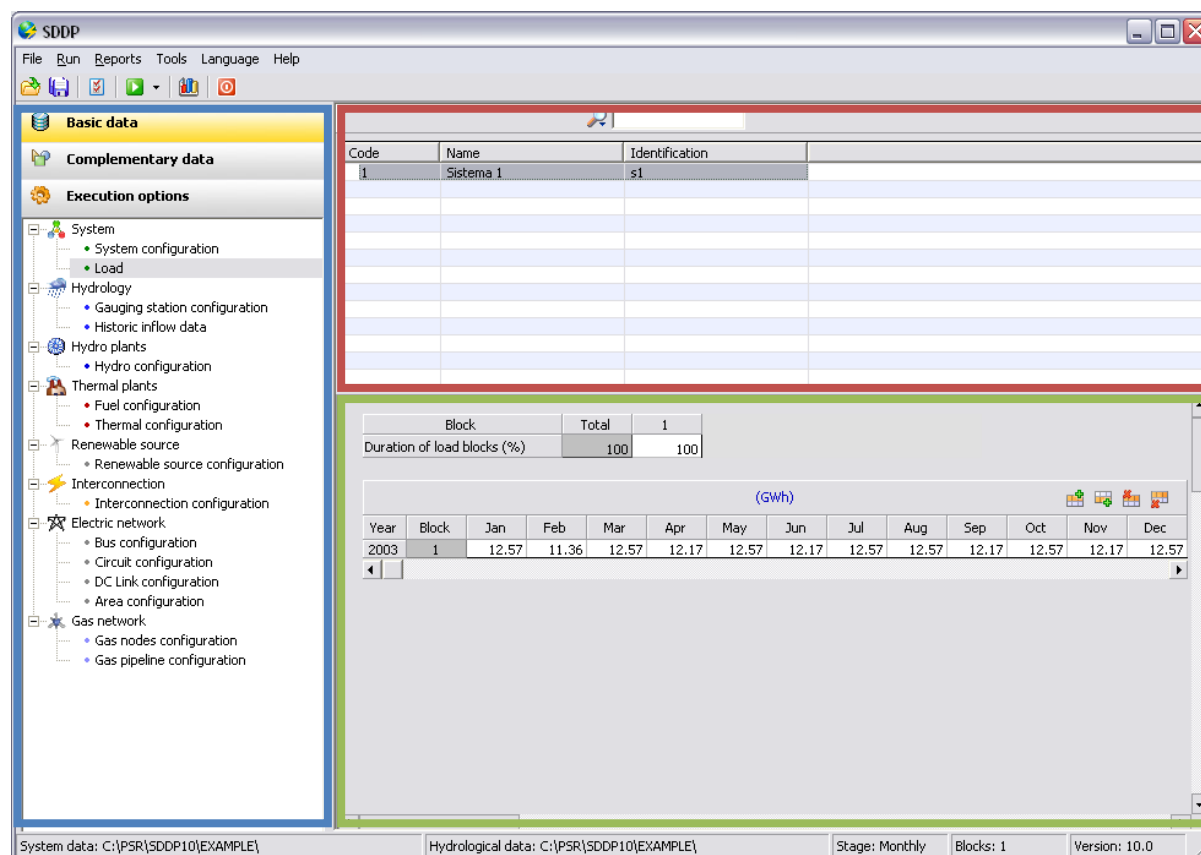
Se não existem dados do SDDP no diretório selecionado, a interface irá sugerir a criação de novos dados. Caso se deseje criar novos dados, pressione o botão Yes.

Neste caso aparecerá uma tela para a adição do primeiro sistema do estudo, onde se deve definir um código de identificação, nome e um identificador de 2 caracteres, utilizado na criação do nome dos arquivos ASCII gerados pela interface. Por exemplo, o nome do arquivo de configuração hidroelétrica é chidroxx.dat, onde xx é o identificador do sistema. Portanto, haverá um arquivo de configuração hidro para cada sistema. Esta lógica se aplica a todos os arquivos de dados exceto aos arquivos de vazões, que contém os dados de todas as estações hidrológicas. A razão é que a estação a montante e a jusante no mesmo rio podem pertencer a sistemas elétricos diferentes (por exemplo, países vizinhos). Os arquivos de dados da rede de transmissão (barras e circuitos) também contém a informação de todos os sistemas.

4 VISÃO GERAL

4.1 Organização da interface

A interface está subdividida em três seções principais, conforme ilustrado na figura abaixo:



4.1.1 Árvore de navegação

Na parte lateral esquerda, encontra-se uma árvore de navegação. Esta árvore também está dividida em três seções, de acordo com o tipo e finalidade dos dados:

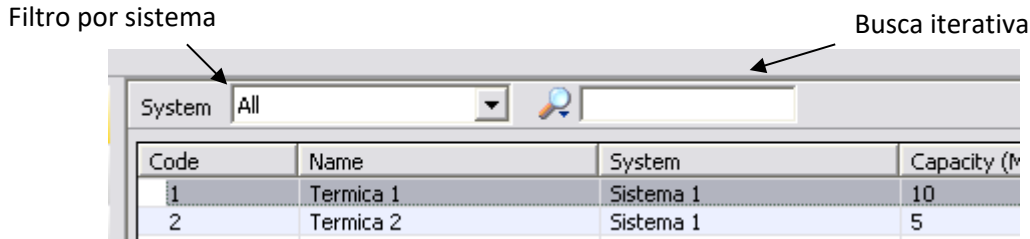
Dados básicos: constituem os dados mínimos necessários para a execução de um caso SDDP como configuração de sistemas, estação hidrológica, usinas hidroelétricas e térmicas, demanda, entre outros.

Dados complementares: constituem os dados necessários para a representação da expansão/modificação dos elementos do cadastro, manutenção, restrições adicionais e cenários.

Opções de execução: contém os dados que definem as opções do estudo, configuração do sistema, estratégia de execução, etc.

4.1.2 Lista de elementos

Esta seção contém uma listagem dos elementos definidos, onde são exibidos alguns de seus atributos, conforme ilustrado na figura abaixo:



Encontram-se disponíveis as seguintes funcionalidades:

- Filtros por sistema
- Busca iterativa por digitação: à medida que se digita algum texto, a lista é filtrada exibindo apenas os elementos que contém parte do texto digitado.

Além disto, a adição e remoção de elementos da lista são realizadas pelos botões:



4.1.3 Painel de edição de dados

De acordo com o tipo de dado selecionado na árvore de navegação e o elemento selecionado na [lista de elementos](#), será exibido um formulário para edição dos dados do elemento correspondente.

4.2 Navegabilidade

4.2.1 Abrir, editar e salvar dados

A [árvore de navegação](#) permite ao usuário abrir e mudar as telas associadas a cada dado. Ao clicar num dos ramos da árvore de navegação, o nome da tela fica marcada em cinza e aparece automaticamente do lado superior direito a lista para visualização dos elementos associados ao dado selecionado. O foco do cursor se posiciona sobre o primeiro elemento da lista, que é marcado em azul. Esta lista mostra os elementos sempre na ordem em que estes foram adicionados quando é um novo ou na ordem em que aparecem nos arquivos. No caso de existir mais de um sistema, os elementos são listados na ordem em que foram definidos os sistemas.

O usuário tem a possibilidade de ordenar esta lista pelos atributos disponíveis na barra superior que podem ser customizados clicando na barra com o botão direito do *mouse*. Os elementos podem também ser filtrados por sistema ou na janela de busca por digitação.

Na parte inferior direita aparece o painel de edição de dados onde o usuário pode visualizar e editar os dados. Ao abrir a tela aparecem as informações do primeiro elemento da lista. Clicando na parte inferior da tela, o foco muda para o primeiro campo do painel de edição e, nesse momento, o elemento da lista fica marcado em cinza. Todos os controles (setas, page up/down) se aplicam ao elemento que está em foco – marcado em azul.

Para mudar de elemento basta clicar na [lista de elementos](#) e usar os controles de filtro, busca ou as setas e page up/down. Para consultar ou editar outros dados, basta selecionar o dado correspondente na Arvore de navegação para trocar de tela.

Se alguma modificação foi realizada, aparece uma tela solicitando a confirmação para salvar as modificações. O usuário pode escolher salvar ou ignorar as modificações realizadas. Esta mensagem permite ao usuário descartar modificações indesejadas. Ele pode também desativar esta mensagem de aviso solicitando confirmação. Nesse caso, as modificações serão armazenadas e o pedido de confirmação será feito uma única vez antes de executar o modelo ou ao fechar a interface. A qualquer momento o usuário pode reativar esta mensagem clicando no menu superior em *Ferramentas/Restaurar mensagem de aviso*.

4.2.2 Customizando Dados complementares

Na arvore de navegação, na seção de *Dados complementares* aparecem todas as restrições que podem ser representadas pelo SDDP. O usuário pode customizar esta lista mediante a funcionalidade *Ferramentas/Preferências* que se encontra no menu superior, desativando aqueles dados que não são utilizados no sistema em estudo, simplificando assim a navegação na interface.

4.3 Tabela de dados cronológicos

4.3.1 Adição e exclusão de dados

Os dados cronológicos como cenários de demanda, vazões, custos, manutenção, etc. são organizados em planilhas onde cada linha corresponde a um ano, enquanto cada coluna representa uma etapa (semanal ou mensal). Caso o dado em questão varie por patamar, cada existirá uma linha para cada ano e patamar.

Os dados são informados em ordem cronológica e devem ser contínuos e a adição ou exclusão de novas linhas à tabela são realizadas através da funcionalidade posicionada ao lado direito no topo da tabela, conforme ilustrado na figura abaixo.

	Oct	Nov	Dec
3	3021.35	2892.5	3078.5
3	13809.62	13578.	14029.
3	8165.87	8219.5	7982.1
3	3142.2	2917.7	3115.7

As opções disponíveis são:

Adicionar ano inicial:	adiciona um ano ao início da tabela
Adicionar ano final:	adiciona um ano ao final da tabela
Remove ano inicial:	remove o ano inicial da tabela
Remove ano final:	remove o ano final da tabela

4.3.2 Manipulação de dados

O SDDP incorporou uma série de funções do Microsoft Excel que podem ser utilizadas em todas as telas que possuem dados cronológicos, como telas de manutenção hidrelétrica e térmica, irrigação etc. Assim, o SDDP se encontra equipado com uma poderosa ferramenta para a edição e análise dos dados. Os recursos do SDDP incluem:

- Compatibilidade total com as planilhas do MS Excel

É possível que o usuário do SDDP trabalhe com seus dados dentro de uma planilha Excel, para depois levá-los ao SDDP (somente nas telas com dados cronológicos). Pode-se fazer isto, com os métodos Copiar (Ctrl+Ins), Recortar e Colar.

- Manipulação de dados, cálculos e estatísticas

O SDDP carrega os dados em uma parte da planilha. Cada linha corresponde a um ano, enquanto cada coluna representa uma etapa (semanal ou mensal).

Entre algumas das funções disponíveis temos:

= Average(A1:B20)	média dos valores de um conjunto de dados
= Sum(A1:B20)	soma dos valores de um conjunto de dados
= Stdev(A1:A20)	desvio padrão da amostra

5 USINAS HIDROELÉTRICAS

5.1 Configuração

5.1.1 Seleção das usinas

A seleção, adição e remoção de usinas é realizada a partir da [lista de elementos](#), localizada na parte superior da tela.

5.1.2 Dados básicos das usinas hidro

Os dados básicos são:

- parâmetros das usinas
 - grupo gerador
 - reservatório
 - topologia
 - tabelas
 - volume armazenado vs. fator de produção
 - volume armazenado vs. área do espelho d'água
 - volume armazenado vs. filtração
 - volume armazenado vs. cota
 - vazão afluyente vs. vazão turbinável
 - canal de fuga
 - turbinamento vs. rendimento do grupo turbina/gerador

5.1.3 Parâmetros das usinas – grupo gerador

a) vazão turbinável mínima (m^3/s)

Representa a mínima vazão turbinável da usina, que pode ser necessária para evitar problemas de cavitação das turbinas ou outras restrições operativas. Observe que o uso desta restrição resultará em uma geração mínima forçada para a usina hidroelétrica.

b) vazão turbinável máxima (m^3/s)

Representa a máxima vazão turbinável da usina.

c) defluência total mínima (vazão turbinada + vertida) (m^3/s)

É usada para representar restrições na operação da turbina ou de controle de contaminação, fornecimento de água ou restrições de navegação.

d) coeficiente de produção médio ($MW/m^3/s$)

Representa o coeficiente de produção médio da usina, usado no cálculo da política operativa hidrotérmica ótima (ver manual de metodologia). A descrição detalhada da relação: fator de produção vs. volume armazenado é definido em uma [tabela](#).

e) capacidade instalada (MW)

É um limite na capacidade de produção de energia total da usina. A produção da usina em cada etapa e patamar de demanda é calculada como o mínimo entre o valor deste campo e o produto da vazão turbinada pelo coeficiente de produção.

f) custo de O&M (\$/MWh)

Representa o custo variável de operação e manutenção associado à produção de energia da usina. Em alguns países, como no Brasil, este campo também é utilizado para representar “pedágios” ambientais.

g) fator de produção em função da altura

Se **selecionada**, os seguintes campos aparecem:

- eficiência do conjunto turbina/gerador (p.u.)

No caso de uma usina com **Reservatório**, o seguinte campo aparece:

- nível de saída da água (metros sobre o nível do mar)

Este campo é utilizado para dois objetivos: (i) quando o nível da água armazenada na usina *a jusante* pode alterar o coeficiente de produção da usina e (ii) quando o conjunto de turbinas associado a um reservatório tem diferentes eficiências ou estão localizadas em barras diferentes no sistema de transmissão. A altura de queda da usina é calculada em cada etapa pela *diferença* entre a cota da água armazenada no reservatório (em metros sobre o nível do mar) e o *máximo* entre o nível de saída da água (m.s.n.m) e a cota da água armazenada no reservatório a jusante. O fator de produção é calculado pelo produto de uma constante, a altura de queda da usina e a eficiência do conjunto turbina/gerador.

Para usina a **Fio d’água**, o seguinte campo aparece:

- reservatório associado

O fator de produção para uma usina a fio d’água é calculado tomando-se a diferença entre a cota do *reservatório associado* e sua cota de canal de fuga;

h) número da estação hidrológica

Código do registro para dados de vazões; identifica qual é a estação hidrológica que contém os dados de vazões afluentes à usina.

i) número de unidades

Esta informação é utilizada somente para a definição dos cronogramas de manutenção e sorteio de falhas.

j) estado da usina

existente: a usina já está incluída na configuração inicial do sistema.

futura: a usina está em construção. Sua data de entrada está definida nos dados de modificação de usinas. É importante incluir todas as usinas na tela de configuração: as existentes e as futuras.

k) ICP (%) - indisponibilidade de curto prazo

Representa o efeito das falhas aleatórias do equipamento em sua capacidade de produção. Se a usina dispõe de um cronograma de manutenção, sua capacidade máxima turbinada será multiplicada por $(1 - ICP/100)$ em cada etapa. Caso contrário, é usado o fator IH (%).

l) IH (%) - indisponibilidade histórica

Representa o efeito conjunto da manutenção e da saída forçada do equipamento na capacidade de produção da usina. Se a usina não possui nenhum cronograma de manutenção, sua máxima capacidade turbinada é multiplicada por $(1 - IH/100)$ em cada etapa.

m) custo de vertimento (k\$/hm³)

Define uma penalização pelo vertimento na usina. Este valor substitui a penalização (geral) por vertimento localizada na tela de execução no grupo parâmetros econômicos e que se aplica a todas as usinas que não têm custo de vertimento específico.

n) sorteio de falhas

Se selecionada esta opção, o modelo realizará um processo de sorteio de Monte Carlo para a produção de cenários de disponibilidade de geração. Para cada cenário de hidrologia, em cada etapa da simulação final e para cada unidade de geração da usina, é sorteado um número aleatório entre 0 e 1 de uma distribuição uniforme. Se o valor sorteado é inferior ao índice de ICP da usina, a unidade de geração estará indisponível (capacidade = 0); caso contrário, a unidade estará em funcionamento (a capacidade máxima de cada unidade é igual à capacidade instalada da usina dividida pelo número de unidades). Note que não se considera o sorteio de Monte Carlo para falhas no cálculo da política operativa, somente na simulação final.

5.1.4 Parâmetros das usinas – reservatório

Se selecionada a opção **Reservatório**, os seguintes campos aparecem:

a) armazenamento mínimo / máximo do reservatório (hm³)

Capacidade de armazenamento mínimo e máximo dos reservatórios. Se os valores são iguais o modelo identifica a usina como fio d'água.

b) chave para vertimento controlável

Se **selecionado**, o vertimento é uma variável de controle e permite que a usina verta em qualquer nível de armazenamento do reservatório.

Se **não selecionada**, o vertimento não é uma variável de controle, e só é permitido quando o reservatório está em seu volume máximo.

c) condição inicial

Quantidade de água armazenada no reservatório da usina hidro ao início do estudo. Esta informação pode ser definida de duas maneiras: volume ou cota.

1. **Volume:** define uma *fração* (p.u.) do armazenamento líquido (volume máximo - volume mínimo). Portanto, o valor zero significa que o reservatório está em seu nível mínimo e o valor um, que está em seu nível máximo.
2. **Cota:** define a cota do nível de água armazenada no reservatório (em metros). Dado que o SDDP trabalha internamente com volumes, é necessário definir a [tabela de cota vs. volume](#) para poder utilizar esta opção. O SDDP utilizará o valor definido neste campo para interpolar na tabela cota vs. volume e obter a informação do volume inicial em hm³.

Se selecionada a opção **Fio d'água**, os seguintes campos estão disponíveis:

- d) fator de regulação para central fio d'água (ϕ): $0 \leq \phi \leq 1$

O fator de regulação é um parâmetro ϕ no intervalo [0,1] que mede a *capacidade de modulação* de uma usina fio d'água, isto é, a habilidade de utilizar a pequena capacidade de armazenamento do reservatório para transferir geração de energia de patamares de demanda baixa para patamares de demanda alta. $\phi = 1$ indica que a usina hidro não tem nenhuma capacidade de armazenamento; como consequência, a energia gerada segue exatamente o perfil da vazão afluente, que se assume constante no patamar de demanda (cronograma de produção "plano"). Por outro lado, $\phi = 0$ indica que a capacidade de armazenamento é suficiente para uma modulação completa, isto é, o volume turbinado em um patamar de demanda pode diferir da vazão afluente com a condição que a soma das vazões turbinadas e vertidas na etapa considerada seja a vazão total afluente. Por exemplo, uma usina com $\phi = 0$ pode concentrar toda a sua produção de energia no patamar de demanda de ponta (naturalmente que limitada à sua capacidade instalada). Valores intermediários de ϕ indicam que parte da energia pode ser transferida entre os patamares de demanda - ver manual de metodologia para mais detalhes. Note que quase todas as usinas fio d'água têm capacidade de modulação diária; portanto, a opção $\phi = 0$ é a mais adequada; alguns reservatórios muito pequenos necessitariam um valor diferente.

- e) armazenamento (hm³)

Valor constante do volume de água da usina fio d'água.

- f) área (km²)

Valor constante da área alagada da usina fio d'água para o cálculo do volume evaporado.

- g) coeficientes de evaporação mensal

Os coeficientes de evaporação são dados mensais. Se forem usadas etapas semanais, o programa interpolará os valores.

Tanto para as usinas tipo reservatório como para as usinas fio d'água, definidas como futuras, pode-se definir um período de enchimento do volume morto.

- h) volume morto

Estes dados se definem por um período inicial e um período final, indicados por dia, mês e ano, e uma condição inicial em p.u., que determina o estado do reservatório no início do enchimento de seu volume morto.

5.1.5 Parâmetros das usinas – topologia

Os dados são descritos a seguir:

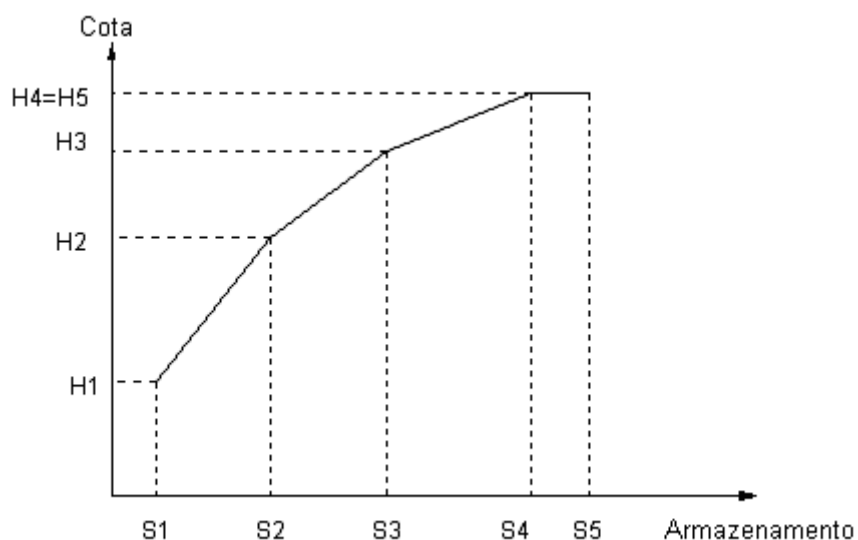
- usina a jusante para vertimento
- usina a jusante para turbinamento
- usina a jusante para filtração
- usina a jusante para cálculo das energias armazenada e afluyente
- indicador se a usina deve ser considerada ou não no cálculo das energias armazenada e afluyente

5.1.6 Parâmetros das usinas – tabelas

Existem sete tabelas de dados:

- fator de produção vs. volume
- área vs. volume
- filtração vs. volume
- cota vs. volume
- vazão afluyente vs. vazão turbinável
- canal de fuga
- turbinamento vs. rendimento do grupo turbina/gerador

Os pontos da tabela são usados para formar uma curva linear por partes, como é mostrado a seguir:



Nota: O primeiro e o último ponto de armazenamento, S1 e S5, devem coincidir com os valores mínimo e máximo de armazenamento, definidos nos dados da usina.

No cálculo da política operativa, as funções lineares por partes são substituídas por valores constantes (definidas na mesma tela que a respectiva tabela). Esta substituição é necessária para evitar a possibilidade de não-convergência no procedimento de solução (ver o manual de metodologia). Note que as funções lineares por parte são representadas por completo na simulação final da operação do sistema. Ao início de cada etapa, o programa de simulação

calcula o coeficiente de produção da usina hidroelétrica através de uma interpolação dos dados da tabela. A seguir descreve-se cada curva (tabela) de dados:

- **coeficiente de produção × volume:** representa o efeito da variação do coeficiente de produção com o volume armazenado como consequência da variação da cota com o volume.

coeficiente de produção na fase “backward”: Consultar o manual de metodologia. O valor “default” deste campo é “Constante”. A opção “Variável” é utilizada em casos bastante particulares.

- **área × volume:** expressa a relação da área do espelho d’água com o volume. É usada no cálculo da evaporação do reservatório que em cada etapa é o resultado do produto da área do espelho d’água (km²) pelo fator de evaporação unitário para a etapa (em milímetros), definido em uma tabela separada.

valor constante para o cálculo da política: se este campo não for preenchido, o modelo assume como default para o cálculo da política, o valor mínimo da área definido na tabela (primeiro ponto).

- **filtração × volume:** utilizada no cálculo do volume de água que infiltra pela barragem do reservatório e que reaparece em um local a jusante.

valor constante para o cálculo da política: se este campo não for preenchido, o modelo assume como default para o cálculo da política, o valor máximo da filtração definido na tabela.

- **cota × volume:** Esta informação é usada unicamente para imprimir relatórios da simulação operativa do sistema ou em caso da utilização do "fator de produção em função da altura e cota méd. canal de fuga" ou do "fator de produção em função da altura e cota variável canal de fuga". Ao início de cada etapa, o programa de simulação calcula a cota da usina através de uma interpolação dos dados da tabela.
- **vazão afluente × vazão turbinável:** É possível restringir a vazão turbinável da usina – e, conseqüentemente, sua geração – de maneira variável com a vazão afluente. Para isto, é necessário definir-se uma tabela que relaciona à vazão afluente (m³/s) com a vazão turbinável (m³/s). Para maiores detalhes ver Manual de Metodologia do programa.
- **canal de fuga:** É possível representar a variação do fator de produção em relação à altura do canal de fuga, definindo uma tabela que relaciona a altura do canal de fuga (em metros) em relação à defluência total (m³/s). Para maiores detalhes ver Manual de Metodologia do programa.
- **turbinamento × rendimento do grupo turbina/gerador:** É possível representar a variação do rendimento do grupo turbina/gerador em relação ao turbinamento. Esta representação só está disponível para centrais configuradas para considerar o coeficiente de produção em função da altura e cota variável do canal de fuga. A tabela automaticamente sobrepõe o valor constante de rendimento turbina/gerador, definido nos dados de configuração. Para maiores detalhes ver Manual de Metodologia do programa.

5.2 Fator de perdas de hidroelétricas

O objetivo destes dados é definir fatores de perdas para as usinas hidroelétricas. As usinas são selecionadas a partir do [lista de elementos](#). Não é obrigatório indicar fatores de perda para cada uma delas. Também é possível adicionar mais de um fator por phidro, selecionando datas distintas.

5.3 Manutenção

O objetivo destes dados é definir um cronograma de manutenção para as usinas hidroelétricas ou térmicas. A manutenção hidroelétrica pode ser de dois tipos:

- **Disponível:** define o valor que permanece depois da manutenção.
- **Redução:** define o valor que é subtraído da capacidade da usina.

Além disto, a manutenção pode ser expressa em:

- # de unidades
- % da capacidade da usina
- MW
- m³/s

Estas opções de manutenção são válidas para todas as usinas do sistema e são indicadas no momento de seleção do sistema.

As usinas são selecionadas a partir do [lista de elementos](#). Não é obrigatório indicar um cronograma de manutenção para cada uma delas.

1. A criação de um cronograma de manutenção é realizada utilizando [tabela de dados cronológicos](#).
2. Os valores de manutenção são informados para cada etapa dos anos selecionados. Para o caso de manutenção semanal uma barra horizontal permite ingressar os dados para as semanas 13 a 52.

A duração dos dados de manutenção pode ser inferior a do período de estudo. Por exemplo, suponha que se tem um período de estudo de três anos e um cronograma de manutenção somente para o primeiro ano. Neste caso, o programa usará o fator de indisponibilidade histórica (IH %) para os anos restantes.

5.4 Expansão/Modificação

A tela de modificação permite:

1. alterar dados de uma usina original, por exemplo: capacidade instalada, ICP %, etc.
2. definir a data de entrada de uma usina definida como "futura" na tela de configuração.

Procedimento:

1. Pressione o botão Adicionar Data. Escolha o dia/mês/ano e pressione Ok.
2. Escolha ou retire as usinas que deseja modificar com as flechas (>>) e (<<).
3. Escolha uma usina na lista de usinas selecionadas (lista da direita).

4. Escolha os dados que serão modificados na data selecionada.

Para apagar uma data, selecione da lista localizada na parte superior da tela e pressione o botão Eliminar Data. É importante ressaltar que com esta ação, são apagadas todas as modificações contidas nesta data.

Os campos que podem ser modificados são:

- número de unidades
- vazão turbinável mínima (m³/s)
- vazão turbinável máxima (m³/s)
- defluência total mínima (m³/s)
- coeficiente de produção médio (MW/m³/s)
- armazenamento máximo (hm³)
- capacidade instalada (MW)
- indisponibilidade de curto prazo – ICP (%)
- indisponibilidade histórica – IH (%)
- tabela vazão afluente vs. vazão turbinável
- indicador se a usina deve ser considerada ou não no cálculo das energias armazenada e afluente

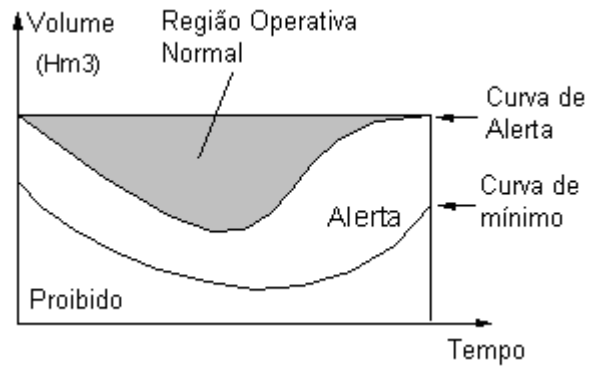
5.5 Irrigação

Escolha uma usina hidroelétrica da tela de Usinas, na parte superior esquerda da tela. Para ingressar com os dados do cronograma de irrigação:

1. Adicione um ano inicial com o botão direito do mouse. Indique o ano inicial e o número de anos do cronograma. Observe que os anos selecionados são mostrados na primeira coluna da planilha. Os valores fora desta área (linhas = número de anos e colunas = número de etapas) não serão considerados nos cálculos do SDDP.
2. Os valores da irrigação (em m³/s) serão subtraídos no balanço hídrico da usina. Uma variável de folga permite a flexibilização no atendimento dos valores de irrigação. A esta variável de folga é associada uma penalização do tipo: irrigação prioritária, energia prioritária ou um valor fornecido pelo usuário. A escolha do tipo de penalização, para cada usina, é feita pelo usuário via interface gráfica.

5.6 Volume de alerta e volume mínimo

Os volumes de alerta e mínimo são usados para criar zonas de operação nos reservatórios como mostra a figura a seguir. O objetivo destas curvas é restringir o alcance de operação da água armazenada nos reservatórios. A penalização por não cumprir com o volume mínimo ou de alerta pode ser definido pelo usuário (“Valor fixo”) ou calculado pelo programa (“Cálculo Automático”).



Volume de alerta - na opção *Cálculo automático*, o custo da penalidade é 1.1 vezes o custo de operação da térmica mais cara. Em outras palavras, o programa só usará a água do reservatório e, portanto violará esta restrição de maneira a evitar um racionamento.

Volume mínimo - na opção *Cálculo automático*, o custo da penalidade é 1.1 vezes o custo do racionamento (último segmento). Como consequência, o programa só violará esta restrição se for fisicamente impossível cumpri-la (por exemplo, se há um aumento no requerimento de volume mínimo de uma etapa para outra e a vazão não é suficiente para encher o reservatório até o novo nível).

Selecione uma usina hidroelétrica na parte superior da tela e defina a penalidade por violação da curva (em k\$/hm³). A penalidade é informada diretamente (opção Valor fixo) ou, alternativamente, através do uso de valores "default" (opção Cálculo Automático).

5.7 Volume máximo operativo

Nesta tela é definido o máximo volume operativo do reservatório em cada etapa. Na opção *Cálculo automático*, o custo da penalidade é 1.1 vezes o custo de racionamento (último segmento). Como consequência, o programa só violará esta restrição se for fisicamente impossível cumpri-la. O procedimento de definição dos dados de volume de espera é análogo ao do volume mínimo ou de alerta.

5.8 Volume de espera

Nesta tela é definido o máximo volume do reservatório em cada etapa para evitar inundações à jusante. O modelo utiliza o mínimo valor entre o [campo de volume máximo](#) e os valores informados nesta tabela, o que é equivalente a dizer que o reservatório é fisicamente menor. O procedimento de definição dos dados de volume de espera é análogo ao do volume mínimo ou de alerta.

5.9 Turbinamento máximo

Permite a definição de limites cronológicos máximos de vazão turbinável. Esses dados substituem a vazão máxima turbinável definida na tela "Dados básicos > Usinas hidrelétricas > Configuração de hidrelétrica", ou seja, é uma restrição *hard* (o limite superior da vazão turbinada) para o modelo de otimização.

5.10 Vertimento mínimo

Permite a definição de restrições cronológicas de vertimento mínimo para uma usina hidrelétrica. O custo da penalidade por não atender a essas restrições pode ser definido pelo usuário (“Valor fixo”) ou calculado automaticamente pelo programa (“Cálculo automático”) como $1.1 * (\text{custo de déficit do sistema}) * (\text{coeficiente de produção médio da usina})$. Em outras palavras, para o cálculo automático da penalidade, o programa só violará essa restrição se for fisicamente impossível de atendê-la.

5.11 Vertimento máximo

Permite a definição de restrições cronológicas de vertimento máximo para uma usina hidrelétrica. O custo da penalidade por não atender a essas restrições pode ser definido pelo usuário (“Valor fixo”) ou calculado automaticamente pelo programa (“Cálculo automático”) como $1.1 * (\text{custo de déficit do sistema}) * (\text{coeficiente de produção médio da usina})$. Em outras palavras, para o cálculo automático da penalidade, o programa só violará essa restrição se for fisicamente impossível de atendê-la.

5.12 Defluência total máxima

Para cada usina, é possível especificar limites máximos na soma da vazão turbinada com a vazão vertida. Isto é, a *defluência* total das usinas está limitada a um valor máximo que pode variar no tempo. Esta restrição serve para modelar restrições de segurança para pontes e para populações que vivem a jusante, limites razoáveis para navegação etc.

5.13 Defluência total mínima

Para cada usina, permite especificar limites mínimos na soma da vazão turbinada com a vazão vertida. Isto é, a *defluência* total das usinas deve atender um valor mínimo que pode variar no tempo. Esta restrição é utilizada para modelar limites razoáveis para navegação, controle de poluição, restrições ambientais, etc. O usuário deve associar uma penalidade em $\text{k}\$/\text{hm}^3$ que será utilizada no caso em que a restrição não possa ser atendida.

5.14 Energia de alerta

Permite representar uma determinada energia de alerta por grupo de reservatórios. A penalização por não cumprir com a energia de alerta pode ser definida pelo usuário (“Valor fixo”) ou calculada pelo programa (“Cálculo Automático”) como 1.1 vezes o custo de operação da térmica mais cara. Em outras palavras, para a penalização automática, o programa só violará esta restrição de maneira a evitar um racionamento.

5.15 Energia mínima

Permite representar uma determinada energia mínima por grupo de reservatórios. A penalização por não cumprir com a energia mínima pode ser definida pelo usuário (“Valor fixo”) ou calculada pelo programa (“Cálculo Automático”) como 1.1 vezes o custo do

acionamento (último segmento). Em outras palavras, para a penalização automática, o programa só violará esta restrição se for fisicamente impossível cumpri-la.

5.16 Energia de espera

Permite representar uma determinada energia de espera para um grupo qualquer de reservatórios selecionado pelo usuário. Quando a energia de espera atinge o limite definido pelo usuário, as usinas associadas à restrição vertem para não violar este limite.

5.17 Polinômio cota-volume

Para cada usina, é possível especificar os coeficientes de um polinômio cota-volume (PCV). Esta informação, quando especificada, é utilizada para o cálculo das energias armazenadas das usinas hidroelétricas que são apresentadas em uma planilha de saída do programa. Se o usuário não especificar um polinômio para cada usina, o programa utiliza um cálculo padrão para a energia armazenada.

Na tela de dados de polinômio cota-volume, além de informar os coeficientes do polinômio, o usuário deve informar ainda as perdas hidráulicas e a produtividade específica das usinas.

5.18 Parâmetros para cálculo de energia armazenada

Esta tela permite a definição de parâmetros para o cálculo da energia armazenada, energia armazenável máxima e energia afluyente do sistema, segundo o critério de uma das opções a seguir:

- a) *Por reservatório*: (opção default). Esta opção indica que cada reservatório contribui para o sistema ao qual pertence com a energia resultante do produto de seu volume útil e a soma de seu fator de produção com todos os fatores de produção de todas as centrais a jusante, independentemente do sistema ao qual elas pertencem;
- b) *Por gerador*: Esta opção indica que cada central contribui para o sistema ao qual pertence com a energia resultante do produto de seu fator de produção e a soma dos volumes úteis de todos os reservatórios a montante, independentemente do sistema ao qual eles pertencem.

No caso em que todas as centrais da cascata pertencem a um mesmo sistema, estas duas opções de cálculo são equivalentes.

O fator de participação da usina em cada sistema indica a contribuição do volume da usina no cálculo das energias. Na tela a seguir, indica-se que Serra da Mesa contribui com 55% de seu volume útil no cálculo das energias armazenada, armazenável máxima e afluyente no sistema Norte. É importante ressaltar que apesar da alocação de parte da energia armazenada, armazenável máxima e afluyente a outro sistema, a geração da planta é sempre contabilizada integralmente no sistema a que pertence ("Sudeste" neste exemplo). Na mesma tela é indicado que Três Marias, Irape e Queimado contribuem com 100% de seu volume útil no sistema Nordeste.

Cálculo da Energia Armazenada

Por reservatório (default) Por gerador

+ ✖

Hidrelétrica	Fator de participação (p.u.)	
TRES MARIAS	NORDESTE : 1	+
IRAPE	NORDESTE : 1	
QUEIMADO	NORDESTE : 1	
SERRA MESA	NORTE : 0.55	

5.19 Restrições operativas de hidrelétricas

Uma das principais motivações para execuções horárias é capturar efeitos cronológicos não vistos em execuções com representação por blocos. Para mais informações, favor ler o capítulo [Representação horária](#).

Nesta tela, os usuários podem definir as seguintes restrições cronológicas operativas para as hidrelétricas:

- Tempo de viagem da água relativo ao caminho do turbinamento (horas)
- Tempo de viagem da água relativo ao camino do vertimento (horas)
- Rampa de defluência de subida (m³/s/min)
- Rampa de defluência de descida (m³/s/min)
- Rampa de subida (MW/min)
- Rampa de descida (MW/min)

5.20 Restrições de fluxo de água constante

É possível forçar o turbinamento e/ou vertimento e/ou a vazão total de cada usina hidrelétrica a serem constantes ao longo do estágio na tela “Dados complementares > Usinas Hidrelétricas > Restrições de fluxo de água constante”, isto é, se por exemplo o usuário mudar o campo de “Não” para “Sim” do turbinamento, o turbinamento na etapa continuará sendo uma variável de decisão para o modelo, porém deverá ser constante durante todo o tempo em cada estágio.

6 COMBUSTÍVEIS

6.1 Seleção de combustíveis

A seleção, adição e remoção de combustíveis são realizadas a partir da [lista de elementos](#), localizada na parte superior da tela.

6.2 Dados básicos dos combustíveis

Os dados básicos dos combustíveis são:

- número
- nome
- unidade (ton., m³, galão, etc.)
- custo do combustível (\$/unidade)
- fator de emissão (ton. CO₂/unidade)
- sistema
- tipo de variação de preço – “Cronológico” ou “Cronológico por cenário”. Através desta opção, o usuário pode selecionar se os preços do combustível (i) serão atualizados cronologicamente ou (ii) além de serem atualizados cronologicamente, serão alterados por cenário. Se for escolhida uma opção de combustível (ii), o número de cenários e os preços de combustível por cenário podem ser introduzidos na tela “Dados complementares > Combustível > Preço do combustível > Cronológico por cenário”.

6.3 Preço de combustíveis

Existem dois tipos de projeção de preços:

- **Cronológico** (\$/unidade) – é permitido informar preços de combustíveis variáveis no tempo, isto é, representar diferentes preços em cada etapa.
- **Cronológico por cenário** (\$/unidade) – o SDDP pode lidar com vários cenários de preços de combustível definidos pelo usuário. Isso significa que as decisões considerarão a variabilidade da previsão do preço do combustível, além de outras fontes de incerteza já consideradas, como vazões e geração renovável.

Estas restrições são informadas em cada etapa e a manipulação destes dados é realizada através da [tabela de dados cronológicos](#).

6.4 Disponibilidade dos combustíveis

Na tela de disponibilidade de combustível, selecione o sistema e o tipo de restrições sobre os combustíveis, que podem ser de dois tipos:

- **Consumo Total** (em milhares de unidades de combustível por etapa)
- **Taxa de Consumo** (em unidades de combustível por hora)

Estas restrições são informadas em cada etapa e a manipulação destes dados é realizada através da [tabela de dados cronológicos](#).

6.5 Custos de créditos de carbono

Definem-se os custos de aquisição de créditos de carbono associada às emissões de cada combustível em uma [tabela de dados cronológicos](#) e os dados devem ser informados para cada sistema.

7 USINAS TÉRMICAS

7.1 Configuração

7.1.1 Seleção das usinas

A seleção, adição e remoção de usinas térmicas são realizadas a partir da [lista de elementos](#), localizada na parte superior da tela.

Os dados das usinas se dividem em dois grupos:

- Grupo gerador (dados operativos)
- Combustível (consumo de combustíveis e combustíveis alternativos)

7.1.2 Dados operativos das usinas

a) geração mínima (MW)

Se a opção *commitment* está selecionada – ver item (g) – este valor representa a geração mínima técnica da usina no caso em que ela for despachada; a decisão de dar a partida ou não na usina é tomada pelo SDDP ao resolver o problema de despacho econômico, usando técnicas de programação inteira. Em geral, esta opção é utilizada para representar usinas a óleo ou carvão. Se a opção *commitment* não está selecionada, o valor deste campo representa a geração mínima da usina, independente de seu custo operativo. Este é o caso das usinas nucleares ou usinas a gás com contratos "take or pay".

b) geração máxima (MW)

Capacidade máxima de geração da usina.

c) número de unidades

Esta informação é utilizada somente para a definição dos cronogramas de manutenção e sorteio de falhas. Observe que os limites de geração mínima e máxima (campo anterior) não se referem a cada unidade, mas à usina por inteiro.

d) ICP (%) - indisponibilidade de curto prazo

Representa o efeito das falhas aleatórias do equipamento em sua capacidade de produção. Se a usina dispõe de um cronograma de manutenção, sua capacidade máxima se multiplicará por $(1 - ICP/100)$ em cada etapa. Caso contrário, é usado o fator IH (%).

e) IH (%) - indisponibilidade histórica

Representa o efeito conjunto da manutenção e da saída forçada do equipamento na capacidade de produção da usina. Se a usina não possui nenhum cronograma de manutenção, sua máxima capacidade se multiplica por $(1 - IH/100)$ em cada etapa.

f) número de combustíveis alternativos

Indica o número de combustíveis que podem ser utilizados numa usina com múltiplos combustíveis. A descrição do combustível e o consumo específico são informados em campos separados.

g) commitment

Existem duas possibilidades para o *commitment*:

- a) A decisão de despachar a usina é uma decisão por etapa (semana ou mês). Uma vez que a usina foi despachada, ela gera em toda a etapa ao menos o valor definido para geração mínima.
- b) A decisão de despachar a usina é feita por etapa e por patamar de demanda. Desta maneira, na mesma etapa, a usina pode ser despachada na demanda de ponta e não ser despachada na base, por exemplo.

No caso (a), é necessária a utilização de uma variável inteira 0-1 para cada usina *commitment* em cada etapa. No caso (b), o número de variáveis inteiras é maior: são k variáveis inteiras por usina por etapa, onde k é o número de patamares de demanda utilizados. O custo de arranque ($k\$\$) é ingressado no campo correspondente.

h) tipo da usina

Existem três tipos possíveis:

- padrão: térmica normal
- "must-run": térmica opera na base independente de seu custo operativo: a geração da usina é igual à sua capacidade de geração, independente do custo operativo.
- "benefício": representa mercados "spot" de energia - a usina tem geração negativa, isto é, equivale a uma venda de energia; seu custo de operação também é negativo e representa as receitas com esta venda.

i) estado da usina

- existente: a usina já está incluída na configuração inicial do sistema.
- futura: a usina está em construção. Sua data de entrada está definida nos dados de modificação das usinas.

j) sorteio de falhas

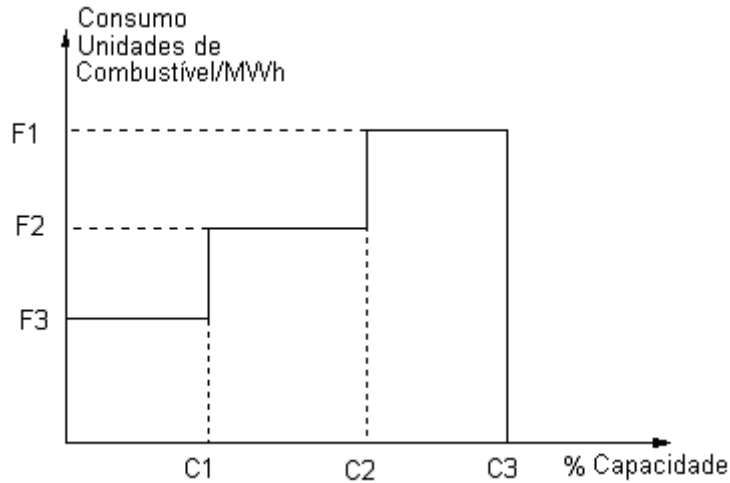
Se selecionada esta opção, o modelo realizará um processo de sorteio de Monte Carlo para a produção de cenários de disponibilidade de geração. Para cada cenário de hidrologia, em cada etapa da simulação final e para cada unidade de geração da usina, é sorteado um número aleatório entre 0 e 1 de uma distribuição uniforme. Se o valor sorteado é inferior ao índice de ICP da usina, a unidade de geração estará indisponível (capacidade = 0); caso contrário, a unidade estará em funcionamento (a capacidade máxima de cada unidade é igual à capacidade instalada da usina dividida pelo número de unidades). Note que não se considera o sorteio de Monte Carlo para falhas no cálculo da política operativa, somente na simulação final.

k) ciclo combinado

Caso a usina térmica forme parte de um conjunto de ciclo combinado, ela deverá ser associada ao grupo nos dados de configuração térmica. Caso o grupo não exista, o usuário deverá criá-lo, indicando um número e um nome para o mesmo. Quando a térmica estiver associada a um grupo de ciclo combinado já existente, somente é necessário associá-la a este grupo.

7.1.3 Consumo de combustível

O consumo das usinas é representado por uma curva linear por partes, com até três segmentos, como é mostrado a seguir. Este consumo pode ser ingressado por patamar de demanda.



A informação se compõe de:

- código do combustível: combustível utilizado pela usina térmica e definido na tela de custos dos combustíveis. O custo operativo da usina (\$/MWh) é obtido do produto do custo de combustível (\$/unidade) pelo fator de consumo de combustível da usina (unidade/MWh).
- custo variável de O&M: adicionado ao custo operativo da usina
- custo de transporte de combustível (\$/unidade): é o custo do transporte até a localização da usina. Adicional ao custo unitário do combustível
- coeficiente de emissão (p.u.): é o coeficiente de emissão da usina térmica, utilizado no custo de aquisição de créditos de carbono. Se for igual a 1, significa que a usina térmica emite todo o CO₂ proveniente da queima do combustível. Valores entre 0 e 1, indicam que existe um filtro que reduz a emissão de CO₂. Por exemplo, 0.8 indica que a usina térmica emite somente 80% do CO₂ proveniente da queima de combustível.

O custo operativo da usina (\$/MWh) é calculado por:

$$\left(\begin{array}{c} \text{custo unitário do} \\ \text{combustível} \end{array} + \begin{array}{c} \text{custo de transporte} \\ \text{do combustível} \end{array} \right) \times \begin{array}{c} \text{consumo} \\ \text{específico} \end{array} + \begin{array}{c} \text{custo de} \\ \text{O\&M} \end{array}$$

↑

↑

↑

↑

\$/unidade de
combustível

\$/ unidade de
combustível.

unidades de
combust./MWh

\$/MWh

Os seguintes termos são adicionados à função objetivo para representar o custo de aquisição de créditos de carbono.

$$\begin{array}{ccccccccc}
 \text{custo de} & & \text{fator de} & & \text{coeficiente} & & \text{consumo} & & \text{custo de emissão} \\
 \text{crédito CO}_2 & \times & \text{emissão} & \times & \text{de emissão} & \times & \text{específico} & = & \text{CO}_2 \\
 & & & & & & & & \\
 \uparrow & & \uparrow & & \uparrow & & \uparrow & & \uparrow \\
 \$/\text{ton CO}_2 & & \text{ton CO}_2/\text{unid} & & \text{p.u.} & & \text{unid/MWh} & & \$/\text{MWh}
 \end{array}$$

7.1.4 Combustíveis alternativos

Uma usina bi (ou tri ou quadri) combustível é representada como duas (ou três ou quatro) usinas separadas com os mesmos parâmetros básicos (número de unidades, custo de O&M, etc.). As diferenças se referem à capacidade máxima, à curva de eficiência, ao coeficiente de emissão e, naturalmente, ao combustível utilizado.

Para utilizar combustíveis alternativos deve-se habilitar a opção “Combustíveis alternativos?” e selecionar quais são os combustíveis associados no controle de seleção. Em seguida, deve-se ingressar os dados específicos para os combustíveis alternativos no grupo “Combustível”.

Os dados básicos das usinas como Geração Mínima, IH (%), ICP (%), são iguais aos da usina térmica principal e, portanto, a interface não permite alterar estes valores. O usuário deve ingressar o nome do combustível, a geração máxima, a curva de consumo, o custo de O&M, o custo de transporte e o coeficiente de emissão de CO₂.

Se o estudo apresenta restrições da rede, então o usuário também deverá ingressar na tela de barras e conectar as usinas térmicas “irmãs” à mesma barra onde a usina térmica principal está localizada.

7.2 Manutenção

Os dados de manutenção de usinas térmicas são definidos da mesma maneira que os dados de [manutenção de usinas hidroelétricas](#). Para as usinas “irmãs”, definidas na representação de combustíveis múltiplos, não é necessário indicar os cronogramas de manutenção.

7.3 Expansão/Modificação

Na tela de expansão, é permitido alterar alguns dos dados originais que podem variar com o tempo (ver seção [Expansão/Modificação](#)).

Os campos que podem ser modificados são:

- número de unidades
- geração mínima (MW)
- geração máxima (MW)
- índice de curto prazo - ICP (%)
- indisponibilidade histórica - IH (%)
- custo variável de O&M (\$/MWh)

- fatores de consumo (unidade/MWh) para o combustível principal e para cada um dos combustíveis alternativos
- custo de transporte do combustível (\$/unidade)
- coeficiente de emissão de CO₂ (p.u.)

7.4 Geração mínima

Geração mínima pode ser considerada como um caso particular de [restrição de geração](#), podendo ser definida para uma única térmica ou para a soma da geração de um conjunto de térmicas.

Esta restrição continua disponível na versão atual de modo a permitir que os dados informados neste formato sejam migrados para o novo formato, porém não estará disponível em versões futuras.

7.5 Custo de partida

É possível informar o custo de partida das usinas térmicas tipo *commitment* variável no tempo. Este custo de partida é especificado por etapa e patamar de demanda.

7.6 Restrições operativas de térmicas

Uma das principais motivações para execuções horárias é capturar efeitos cronológicos não vistos em execuções com representação por blocos. Para mais informações, favor ler o capítulo [Representação horária](#).

Nesta tela, os usuários podem definir as seguintes restrições cronológicas operativas térmicas:

- Rampa de subida (MW/min)
- Rampa de descida (MW/min)
- Mínimo uptime (horas)
- Mínimo downtime (horas)
- Número máximo de partidas (por estágio)
- Número máximo de paradas (por estágio)
- Custo de parada (k\$) – é importante ressaltar que o custo de partida (em k\$) continuará sendo definido na tela “Dados básicos > Configuração de térmica”

7.7 Estado operativo do ciclo combinado

É possível informar o estado operativo dos conjuntos ciclo combinado variável no tempo. Este estado operativo, quando especificado, indica a usina térmica, parte do ciclo combinado, que estará em operação em cada etapa do horizonte de estudo.

A lista de usinas que compõe o ciclo é exibida abaixo da [lista de ciclos combinados](#), assim como a [tabela de dados cronológicos](#), conforme ilustrado na figura abaixo.

System All

Code	Name	System
1	CC-1	Sistema 1

lista de

Code	Name	System	Capacity (MW)
1	Termica 1	Sistema 1	10
2	Termica 2	Sistema 1	5
3	Termica 3	Sistema 1	20

Operative state

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2006	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2007	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3

Seja, por exemplo, um conjunto ciclo combinado denominado CC-1, definido pelas três usinas térmicas: Térmica1, Térmica2 e Térmica3. Em seguida, deve-se selecionar o ciclo combinado correspondente e definir qual o estado operativo para cada etapa do estudo. Para isto, é possível informar na tabela o código da usina que estará em operação na etapa em questão ou, simplesmente, arrastar a usina correspondente a partir da lista de usinas que compõe o ciclo para a posição correspondente na tabela de dados cronológica.

De acordo com esta tabela, a usina Térmica1 está disponível para ser despachada durante o primeiro ano, a usina Térmica2 de janeiro a junho de 2007, enquanto que a central Térmica3 estará disponível para operação de julho de 2007 até o final do período. É importante observar que somente a usina selecionada pode operar no período correspondente.

7.8 Consumo específico por bloco

Nesta tela, o usuário pode adicionar alterações temporais relacionadas aos valores de cada segmento de consumo específico de cada termelétrica.

8 EMISSÕES

O SDDP pode representar poluentes genéricos e seus correspondentes coeficientes de emissão por térmica. Além de apresentar os resultados das emissões, cada poluente pode ter (i) custos de emissão associados, o que aumentará os custos operacionais térmicos e/ou (ii) restrições multi-estágio de cota de emissões. Todos os dados relacionados são definidos na seção "Dados complementares > Emissões".

9 CONTRATOS DE COMBUSTÍVEL

O custo operativo de uma usina térmica é calculado a partir dos seguintes parâmetros: (i) custo de transporte; (ii) custo de O&M; (iii) consumo específico; (iv) custo do combustível; (v) custo de emissão. Até a versão 12 do SDDP, a representação de usinas com diferentes custos operativos para um mesmo combustível (diferentes contratos), só era possível através da duplicação do combustível para que cada usina tivesse seu próprio combustível com um custo definido de forma específica para ela. Nestes casos, esta representação não permitia considerar restrições de disponibilidade deste combustível utilizado por um conjunto de usinas térmicas. A partir da versão 12 do modelo, estas limitações não existem mais, sendo permitida a definição de “contratos de combustível”, que possibilitam associar diferentes custos de um mesmo combustível às usinas térmicas.

Adicionalmente, é possível definir contratos de combustível do tipo “Por integral” (que têm associados um montante máximo de combustível que pode ser adquirido ao longo da vigência do contrato) e que podem ter cláusulas de “Take-or-Pay” (que impõem um pagamento mínimo por uma quantidade pré-definida do contrato). O SDDP determinará a decisão ótima de uso do combustível disponível em cada contrato.

Os principais dados relativos aos contratos de combustível são definidos na tela “Dados básicos > Combustível > Configuração de contrato de combustível > Cláusulas básicas”.

9.1 Seleção dos contratos

A seleção, adição e remoção dos contratos de combustível são realizadas a partir da [lista de elementos](#), localizada na parte superior da tela.

9.2 Dados básicos

Os dados básicos dos contratos de combustível são:

- número
- nome
- combustível associado
- sistema

9.3 Tipos de contratos de combustível

O SDDP permite a representação de dois tipos de contratos de combustível: contrato tipo “Livre” ou “Por Integral”.

Um contrato do tipo Livre é aquele em que as usinas podem comprar qualquer quantidade do combustível (respeitando obviamente as restrições de disponibilidade definidas para o combustível e o limite de retirada máxima definido pelo contrato) mediante o pagamento do custo do combustível definido neste contrato, que pode ser fixo ou variável no tempo.

Já um contrato do tipo Por Integral é aquele em que o gerador tem disponível um montante total (máximo) de combustível que pode ser adquirido e consumido ao longo da vigência do contrato. Opcionalmente, um contrato Por Integral pode ter um montante Take-or-Pay (ToP),

que corresponde à quantidade mínima de combustível pela qual o gerador deve pagar na data de início do contrato, independentemente de consumir ou não este combustível. Em outras palavras, o montante ToP corresponde à quantidade de combustível que o gerador “pré-compra” e que pode ser utilizada durante todo o período de duração do contrato. Em cada etapa, se decide o montante de combustível que será retirado de sua “conta” de contrato. Este combustível pode ser utilizado para atender às térmicas associadas a este contrato e/ou ser armazenado nos reservatórios físicos de combustível associados para uso futuro, caso existam. Ao final do contrato, qualquer quantidade restante de combustível na “conta” é geralmente perdida. Em alguns contratos ToP especiais, uma fração remanescente pode ser transferida para o contrato seguinte (renovação do contrato). O contrato pode apresentar preços distintos para o combustível consumido até atingir o montante ToP e para aquele que exceda o montante ToP (combustível extra ToP).

9.4 Dados de contratos de combustível do tipo Livre

Os seguintes dados definem um contrato de combustível do tipo Livre:

- taxa máxima de retirada (unidades de combustível/h): define o consumo máximo de combustível permitido por hora
- custo do combustível (\$/unidade de combustível): é o valor pago pelo combustível consumido
- conjunto de usinas térmicas associadas ao contrato de combustível (opcional)
- conjunto de reservatórios físicos de combustível associados ao contrato (opcional)

9.5 Dados de contratos de combustível Por Integral

Os seguintes dados definem um contrato de combustível Por Integral:

- taxa máxima de retirada (unidades de combustível/h): define o consumo máximo de combustível permitido por hora
- montante contratado (milhares de unidades de combustível): é o montante total (máximo) de combustível que pode ser adquirido e consumido ao longo da vigência do contrato
- montante Take-or-Pay (milhares de unidades de combustível): é a quantidade mínima de combustível pela qual o gerador deve pagar até a data de término do contrato, independentemente de haver consumido ou não este combustível
- montante consumido (p.u. ou milhares de unidades de combustível): é o montante de combustível que foi consumido do contrato existente antes da data de início do estudo. Para os extremos, 0 significa que nenhum combustível do contrato existente foi consumido antes da data de início do estudo e 1 significa que todo o combustível contratado já foi consumido, tornando o contrato indisponível até a próxima renovação. O valor definido no campo “montante consumido” não se aplica a contratos de combustível cuja data de início é posterior à data de início do estudo ou àqueles cuja data de término, incluindo todas as renovações possíveis, ocorreu antes do início do estudo.
- custo do combustível Take-or-Pay (\$/unidade de combustível): é o custo do combustível consumido até o montante ToP

- custo do combustível extra Take-or-Pay (\$/unidade de combustível): é o custo do combustível consumido em excesso ao montante ToP. Este custo pode ser igual ao custo do combustível ToP; em muitos contratos este custo é superior ao custo del ToP
- etapas inicial e final: definem a vigência do contrato
- número de renovações: indicam por quantas vezes se estende a vigência do contrato. As renovações são contínuas e de mesma duração do contrato inicial
- máxima transferência na renovação (milhares de unidades de combustível): montante do ToP pago e não utilizado que pode ser transferido para a próxima renovação
- conjunto de usinas térmicas associadas ao contrato de combustível (opcional)
- conjunto de reservatórios físicos de combustível associados ao contrato (opcional)

9.5.1 Make-up e carry forward

Cláusulas adicionais de Take-or-Pay podem ser introduzidas na tela “Dados básicos > Combustível > Configuração de contrato de combustível > Cláusulas especiais”:

- **O direito de carry forward** oferece a opção de antecipar as quantidades de ToP de períodos futuros do contrato, para evitar pagamentos adicionais associados com o consumo de combustível acima do montante atual de ToP. Esta dívida é transferida para os períodos futuros como uma redução da quantidade de ToP
- **O direito de make-up** oferece a opção de recuperar pagamentos de ToP associados com combustível não utilizado em períodos anteriores, outorgando ao comprador o direito de obter combustível acima da quantidade de ToP sem ou com pagamento reduzido (dependendo dos créditos de make-up). Em versões anteriores, o SDDP representava créditos ilimitados de make-up através de transferências entre renovações de contrato. Agora, o SDDP representa um tempo de “vencimento” associado e a consequente obrigação de utilizar os créditos correntes de make-up dentro deste período

9.6 Custo do contrato variável no tempo

Opcionalmente, os custos dos contratos (\$/unidade de combustível) podem ser definidos através de uma da [tabela de dados cronológicos](#), variável por etapa.

9.7 Máxima retirada variável no tempo

Opcionalmente, os valores de máxima retirada (unidades de combustível/h) podem ser definidos através de uma da [tabela de dados cronológicos](#), variável por etapa e patamar de demanda.

10 RESERVATÓRIO FÍSICO DE COMBUSTÍVEL

Além da nova opção de definição de contratos de combustível, foi introduzido na versão 12 do SDDP um novo agente para a representação dos reservatórios físicos de combustível. Estes reservatórios permitem o armazenamento dos combustíveis provenientes dos contratos, de forma a poder usá-los no futuro em uma ou mais usinas térmicas por ele atendidas. A representação de um reservatório físico de combustível requer, portanto, a sua associação a um contrato de combustível.

10.1 Seleção dos reservatórios

A seleção, adição e remoção dos reservatórios físicos de combustível são realizadas a partir da [lista de elementos](#), localizada na parte superior da tela.

10.2 Dados básicos

Os dados básicos dos reservatórios de combustível são:

- número
- nome
- combustível associado
- condição inicial (p.u.)
- capacidade máxima (milhares de unidades)
- limite máximo de injeção (unidades/h)
- limite máximo de retirada (unidades/h)
- conjunto de usinas térmicas associadas ao reservatório de combustível
- conjunto de contratos aos quais o reservatório de combustível pertence
- sistema

10.3 Expansão/Modificação

Na tela de expansão, é permitido alterar alguns dos dados originais que podem variar com o tempo (ver seção [Expansão/Modificação](#)).

O campo que pode ser modificados é:

- capacidade máxima (milhares de unidades)

10.4 Restrições dos reservatórios

Opcionalmente, na tela de restrições dos reservatórios de combustível é possível representar dois tipos de restrições variáveis por etapa:

- **Limite de injeção** (unidades/h)
- **Limite de retirada** (unidades/h)

Estas restrições podem ser definidas através de uma [tabela de dados cronológicos](#), variável por etapa y patamar de demanda.

11 HIDROLOGIA

Os dados de hidrologia são divididos em três grupos:

- Vazões – configuração de estação hidrológica e vazões afluentes históricas.
- Incerteza reduzida - define parâmetros do modelo estocástico de vazões para diferentes períodos do horizonte do estudo.
- Estimacão de parâmetros - cálculo dos parâmetros do modelo estocástico de vazões.

11.1 Registros históricos de vazões

11.1.1 Adicionar uma nova estação hidrológica

A seleção, adição e remoção de estações hidrológicas são realizadas a partir da [lista de elementos](#), localizada na parte superior da tela.

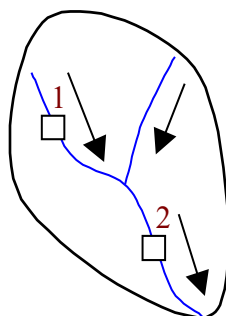
Durante a adição de uma nova estação hidrológica, além de definir um código e nome, também é necessário definir o código da estação à jusante. Este campo somente deve ser preenchido caso as vazões da estação à jusante sejam definidas como vazões totais e não incrementais.

11.1.2 Seleção dos dados de vazões

Inicialmente selecione uma estação hidrológica do menu. Os dados de vazões correspondentes são mostrados numa tabela compatível com o Excel. Cada linha contém a informação para um ano do registro de vazões, e as colunas são as etapas mensais (12 colunas) ou semanais (52 colunas). As vazões semanais não são automaticamente transformadas em mensais; o usuário deve definir dois conjuntos de dados em separado no caso de fazer rodadas com dados em etapas semanais e mensais.

11.1.3 Vazões totais ou incrementais

A figura seguinte mostra uma bacia hidrográfica com dois braços de rios. Existem duas estações representadas pelas caixas brancas. A primeira está localizada num rio secundário (afluente) ao principal e a outra estação está localizada no rio principal, depois da confluência.



Existem duas maneiras de definir os dados de vazões: (a) a vazão natural total afluente a cada estação; ou (b) a vazão incremental (lateral). Alguns países, como Brasil, usam a primeira maneira; outros, como Colômbia e Panamá, usam a opção (b). Ainda que as duas maneiras

sejam permitidas pelo programa, a informação da estação a jusante será diferente em cada caso, como será visto nos exemplos.

- Vazões totais

Suponha que os aportes às estações Hidro 1 e Hidro 2 em Janeiro sejam respectivamente 10 m³/s e 15 m³/s. Estes valores podem ser definidos diretamente nos dados de vazões, mas é necessário que se defina que a estação Hidro 2 está à jusante da estação Hidro 1.

- Vazões laterais (incrementais)

O valor das vazões da estação Hidro 1 são os mesmos, pois não existem estações a montante. No entanto, o campo "Usina a jusante" deve ser mantido em branco.

Para a estação Hidro 2, ingressamos as vazões laterais (diferença entre as vazões totais afluentes à estação Hidro 2 e Hidro 1).

11.1.4 Estatísticas das vazões

A opção Estatística na barra de menu permite estimar os parâmetros das vazões: média, desvio padrão, coeficiente de variação, etc. Os resultados da estimativa são visualizados selecionando a opção da barra de menu Relatório. Os resultados são apresentados em um editor de texto. As funções tradicionais de edição estão disponíveis: localizar, transferir para o clipboard, etc.

```
Código da central: 0101
Nome da central   : Hidrol
Histórico        : 1956/1995
```

Mes	Média (m ³ /s)	Máximo (m ³ /s)	Mínimo (m ³ /s)	Desvio Padrão (m ³ /s)	Coef. de Assimetria	Coef. de Variação (%)
01	29.8	51.7	11.2	9.45	0.063	31.7
02	30.8	52.0	1.54	9.83	-0.372	31.9
03	30.1	52.8	1.55	12.4	-0.098	41.2
04	29.5	47.7	8.16	9.53	-0.260	32.3
05	30.4	50.3	14.6	8.14	0.571	26.8
06	30.5	47.3	11.3	9.49	-0.024	31.1

São realizadas as seguintes provas estatísticas: cálculo da vazão média e desvio padrão semanal ou mensal, função de autocorrelação e autocorrelação parcial para cada período (semana ou mês). Testes de estacionariedade, tais como de Smirnov e Mann-Kendal.

11.2 Estimação dos parâmetros do modelo estocástico de vazões

Selecione uma ou mais estações hidrológicas com os botões (>>) e (<<). Os seguintes campos estão disponíveis para a estimativa de parâmetros:

- Ano mínimo e ano máximo

No ajuste dos parâmetros de regressão linear, o modelo considerará como amostras todas as observações históricas dentro do intervalo definido pelos anos mínimo e máximo

especificados pelo usuário. No entanto, como os modelos auto-regressivos relacionam a observação de uma etapa (chamada variável dependente) com as observações de etapas anteriores (chamadas variáveis explicativas) e como o SDDP considera uma ordem máxima de 6, nos casos mensais, por exemplo, para os meses de julho a dezembro do ano inicial as 6 observações anteriores corresponderão a observações históricas deste mesmo ano (de janeiro a junho do ano inicial) e estarão, portanto, disponíveis (basta que o usuário as tenha preenchido na tela de histórico de vazões). Já para os meses de janeiro a junho do ano inicial, as 6 observações anteriores corresponderão a observações históricas do ano anterior a este ano inicial (de julho a dezembro do ano anterior ao inicial) e, conseqüentemente, estarão fora do período compreendido entre os anos mínimo e máximo definidos pelo usuário para consideração das amostras e não devem ser utilizados. No caso em que o ano mínimo é igual ao primeiro ano de dados históricos de vazões, nem sequer haverá observações para o ano anterior. Desta forma, o SDDP não considerará como variáveis dependentes as amostras correspondentes ao ano mínimo, apenas as considerará como variáveis explicativas. Ou seja, apenas usará, nos casos mensais, as vazões históricas de julho a dezembro do ano mínimo como variáveis explicativas na estimação dos modelos hidrológicos dos meses de janeiro a julho, quando a observação de janeiro do ano seguinte ao ano mínimo pode depender das observações de julho a dezembro do ano mínimo, quando a observação de fevereiro do ano seguinte ao ano mínimo pode depender das observações de agosto a dezembro do ano mínimo e assim por diante. Além disso, a ausência de alguma observação de vazão histórica será considerada como falha nas amostras que têm esta observação como variável explicativa ou como variável dependente. As amostras individuais com falha serão retiradas da amostra completa. A recomendação é que o arquivo histórico de vazões seja inteiramente preenchido para todo o período entre os anos mínimo e máximo. Cabe ressaltar que valores negativos de vazões históricas incrementais não são considerados como falhas.

- Tipo e seleção de ordem

Existem duas possibilidades na escolha do tipo e seleção de ordem. Se a opção indicada for *ordem máxima igual a M*, o modelo se ajusta para as ordens $m = 1...M$ e escolhe aquela que satisfaça o critério selecionado (que pode ser Mudança de variância de resíduos ou Akaike). Se a opção indicada for *ordem fixa igual a M*, se ajusta um modelo para essa ordem, sendo que o programa pode decidir reduzir a ordem, caso o modelo ajustado não passe no teste de estacionariedade para a ordem indicada.

- Critério: Mudança na variância de resíduos ou Akaike

O critério de *Mudança na variância de resíduos* foi o critério utilizado pelo modelo SDDP em versões prévias à versão 12.0.

O critério *Akaike* foi incorporado a partir do SDDP 12.0 e passa a ser a opção recomendada. O critério de informação Akaike (em inglês, Akaike information criterion ou simplesmente AIC) é uma medida da qualidade relativa de um ajuste estatístico. De forma geral o critério pondera o *tradeoff* entre qualidade do ajuste e o número de termos. Portanto, o princípio é o mesmo do critério de Mudança na variância de resíduos. A diferença está na forma como é feita a comparação.

O AIC é baseado na Teoria de Informação. O racional é o seguinte: suponha que os dados foram gerados por um processo desconhecido f e que existem modelos candidatos. Escolheríamos o modelo que minimizasse a perda de informação nesta representação de f . Entretanto, não é possível fazer esta escolha com certeza porque f em si é desconhecido. Akaike mostrou 1974 ser possível comparar a perda de informação relativa entre os modelos candidatos através de uma fórmula simples (AIC), dada por:

$$AIC = 2k - 2 \ln(L)$$

onde k é o número de parâmetros no modelo estatístico considerado e L é o valor maximizado da função de verossimilhança para o modelo estimado.

Note pela equação do AIC que o critério recompensa a melhoria do ajuste (quanto maior a verossimilhança L do modelo estimado, menor o valor de AIC), mas ao mesmo tempo penaliza o número de parâmetros utilizados (quanto maior o número de parâmetros k no modelo, maior o valor de AIC), como forma de evitar um "overfitting". Na prática, para diferentes modelos, ao escolhermos aquele com menor AIC, estamos essencialmente maximizando a probabilidade de escolher o modelo com menor perda de informação.

- Habilitação de filtro de outlier

Na fase de pré-processamento dos modelos de vazões, os outliers do histórico são eliminados, de modo a evitar que estes distorçam o ajuste dos modelos.

- Representação de variável climática

Quando a opção estiver habilitada, o modelo de estimação de parâmetros poderá incorporar informações climáticas exógenas. Para isso, é necessário que o usuário escolha o fator de ponderação associado ao efeito que a variável climática exógena provocará nas vazões e preencha as tabelas descritas na seção 10.4. Mais informações sobre a funcionalidade podem ser encontradas no manual de metodologia.

Uma vez realizada a seleção de todos os parâmetros, escolha a opção Executar.

Os resultados da estimativa são visualizados selecionando a opção da barra de menu Relatório. Os resultados são apresentados em um editor de texto e podem ser acessados pelo botão Relatórios.

11.3 Incerteza reduzida

O campo "Usa incerteza reduzida" permite a utilização de mais de um arquivo de parâmetros de hidrologia para diferentes períodos. O botão (+) adiciona um período (data inicial e data final) para o qual é especificado um arquivo de parâmetros do modelo estocástico de vazões.

Esta opção é utilizada quando existem diferenças nas condições macro climáticas para um determinado período. Por exemplo, suponha que o primeiro ano do estudo corresponde a um ano "El Niño", onde é possível prognosticar que as vazões serão inferiores ao usual. Uma possibilidade é ajustar um modelo estocástico de vazões específico para estas condições, utilizando um subconjunto do registro histórico de vazões associadas somente aos anos "El Niño" do histórico.

Os parâmetros baseados em anos "El Niño" seriam utilizados para o primeiro ano do estudo, e os parâmetros "normais" (calculados com todos os anos do registro histórico de vazões) seriam utilizados para o segundo ano. A figura seguinte mostra a utilização de um arquivo de parâmetros, chamado hparam2.dat para o período janeiro/2001-dezembro/2002.

Adicionar

Data inicial

Etapas 1

Ano 2001

Data final

Etapas 12

Ano 2002

Nome do arquivo de incerteza reduzida

hparam2.dat

OK

Cancelar

11.4 Variável Climática

Os registros cronológicos para a variável climática é preenchida em: Dados Complementares > Hidrologia > Variável Climática.

Os campos "Nome da variável" e "Unidade" são meramente informativos para o usuário.

As tabelas devem ser preenchidas com valores correspondentes a algum índice climático. A tabela "Histório" deve ser preenchida com o mesmo horizonte que os dados de vazões.

A tabela "Cenário" deve ser preenchida para o horizonte que se deseja considerar a variável climática. A estimação de parâmetros não considerará variável climática para o horizonte não preenchido da tabela.

Mais informações sobre a funcionalidade podem ser encontradas no manual de metodologia.

12 SISTEMA

12.1 Unidade monetária

Esta tela contém os seguintes parâmetros.

- unidade monetária de referência
- unidade monetária de dados de entrada
- taxa de conversão unidade monetária \Rightarrow unidade monetária de referência

Os dados de custos e penalidades são fornecidos na unidade monetária do sistema ou da interconexão. A taxa de conversão é aplicada para produzir todos os resultados na unidade monetária de referência.

12.2 Configuração do sistema

Os sistemas se caracterizam pelos seguintes parâmetros.

- número
- nome
- identificador
- unidade monetária

12.3 Reserva de geração

A seleção, adição e remoção de restrições de reserva de geração para um conjunto de usinas (térmicas e hidroelétricas) é realizada a partir da [lista de elementos](#), localizada na parte superior da tela.

Uma vez definido o número e nome da restrição, é necessário definir o tipo de restrição a ser considerada. Existem três tipos de reserva:

- 1) Reserva \geq a um fator da demanda: a reserva de geração é representada em MW ou em função de um fator (p.u.) da demanda do sistema;

Este tipo de restrições pode ter seus montantes alterados ao longo do período de estudo, selecionando a aba “Dados cronológicos”. Para cada reserva deve-se indicar o sistema, tipo de informação, unidade (p.u., MW ou %).

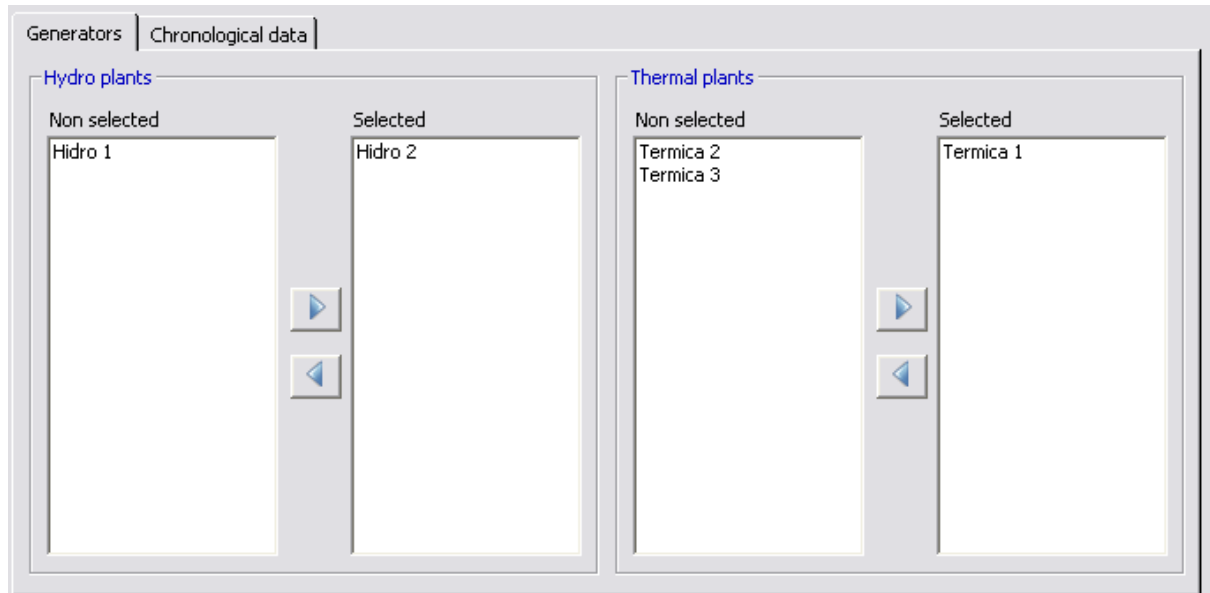
Os montantes de reserva de geração por ano e patamar de demanda devem ser indicados na [tabela de dados cronológicos](#). O programa somente utiliza estas informações caso a opção de “Configuração Dinâmica” na tela Execução/Configuração do Sistema, seja selecionada.

- 2) Compensação de saídas de outros geradores do sistema: a reserva de geração representa uma reserva da geração de cada gerador pertencente ao sistema que não pertence à restrição;
- 3) Compensação de saídas dos geradores de reserva: a reserva de geração representa uma reserva da geração de cada gerador pertencente ao sistema.

É importante observar que estes tipos de restrições não são excludentes, uma restrição pode ser selecionada como sendo, por exemplo, tipo 1 e tipo 2 simultaneamente.

Selecionando a opção *Penalização por violação*, o usuário pode especificar o valor em k\$/MWh para a penalização por violação da restrição de reserva de geração.

O conjunto respectivo de usinas hidro e/ou térmicas que formam parte da restrição deve ser selecionado através dos conjuntos de geradores hidroelétricos e térmicos como a seguir.



12.4 Reserva girante hidro

Restrições de reserva girante por central hidro. Estes limites são ingressados por sistema, em %, % Potência disponível ou MW para cada etapa (semana ou mês) e patamar de demanda.

A reserva girante é uma margem operativa para ajustar a operação em tempo real aos desvios relativos à operação programada. A reserva é representada como um valor que é subtraído da máxima capacidade da usina.

O programa SDDP verifica a viabilidade destas restrições. Caso o valor resultante da capacidade máxima da usina menos a reserva girante seja menor que a capacidade mínima da usina, a restrição de reserva girante será relaxada.

12.5 Reserva girante térmica

A definição dos dados de reserva girante térmica é idêntica à [reserva girante hidro](#).

12.6 Restrições de geração

Esta tela serve para que o usuário introduza restrições adicionais de geração para um único agente ou para um conjunto de agentes. No lado de esquerda da restrição, os seguintes agentes podem ser introduzidos: hidrelétricas, térmicas, renováveis ou baterias.

Há duas possibilidades:

1. a soma das gerações de um conjunto de agentes deve ser *maior ou igual* (\geq) aos valores informados na tabela (MW).
2. a soma das gerações de um conjunto de agentes deve ser *menor ou igual* (\leq) aos valores informados na tabela (MW).

O procedimento para definir uma restrição é o seguinte:

1. acrescentar uma restrição;
2. definir um número e nome para a restrição;
3. selecionar a opção Penalização por violação se o usuário quiser especificar o valor em k\$/MWh para a penalização devido à violação de restrição de geração;
4. selecionar o tipo de restrição (\geq ou \leq);
5. selecionar o conjunto de agentes que formam parte desta restrição.

12.7 Restrições de gerais

Uma restrição genérica definida pelo usuário pode ser criada na tela “Dados complementares > Sistema > Restrições gerais”. O procedimento para definir uma restrição é o seguinte:

1. acrescentar uma restrição;
2. definir um número e nome para a restrição;
3. selecionar o agente² (hidro, térmica, renovável, demanda ou bateria);
4. selecionar a variável de decisão correspondente a este agente (por exemplo, o turbinamento para uma dada central hidro);
5. definir o coeficiente (e sua unidade) que multiplicará esta variável de decisão selecionada no passo 4;
6. definir a *penalidade de violação* (em k\$/unidade);
7. selecionar o tipo do requerimento (fixo ou variável);
8. introduzir o requerimento. Se o requerimento for fixo, este deve ser introduzido no campo “Valor” que fica abaixo do tipo do requerimento. Se for variável, os valores devem ser introduzidos na aba “Requerimento cronológico”.

12.8 Curva de Aversão a Risco (CAR)

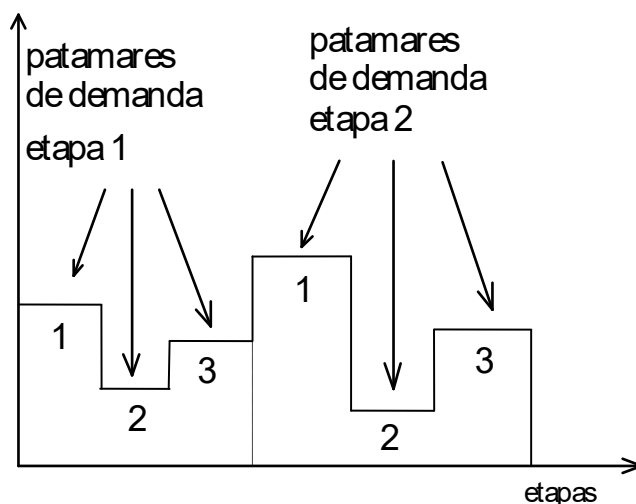
A tela para definição dos dados da Curva de Aversão a Risco (CAR) se encontra disponível na seção Curva de Aversão a Risco.

Estes dados são informados por sistema e para cada ano e etapa do estudo, em uma [tabela de dados cronológicos](#). Representam, em porcentagem da energia armazenável máxima do sistema, os limites mínimos de armazenamento a ser atendido. A penalidade por não cumprimento destes limites mínimos de armazenamento pode ser definida pelo usuário (“Valor Fixo”) ou calculado pelo programa (“Cálculo Automático”).

² Nosso objetivo é estender essa funcionalidade para cobrir todos os agentes. Conte-nos seus favoritos e ajude-nos a priorizar os próximos desenvolvimentos!

13 DEMANDA

A demanda em cada etapa é representada no SDDP por patamares, como é mostrado a seguir. Cada patamar por sua vez, é definido pelo par {duração (horas); demanda (GWh ou MW)}:



13.1 Demanda de médio / longo prazo

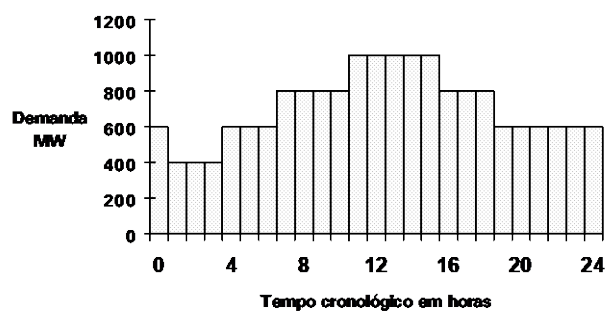
Selecione um sistema no menu correspondente e o número de patamares de demanda representados no conjunto de dados. Nos estudos de médio/longo prazo pode-se representar até 21 patamares de demanda por etapa. A seleção do número de patamares de trabalho é realizada na tela inicial de [seleção de diretórios](#).

Uma [tabela de dados cronológicos](#) exibe a demanda (em GWh ou MW) em cada patamar e etapa. A duração de cada patamar é definida como um % da duração de cada etapa. A soma das durações deve ser obrigatoriamente igual a 100%.

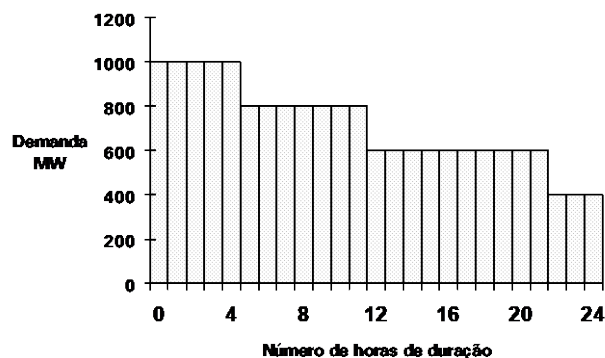
13.1.1 Obtenção da aproximação da demanda por patamares a partir de uma demanda horária

O seguinte procedimento ilustra a transformação da demanda horária e cronológica em um conjunto de patamares de demanda.

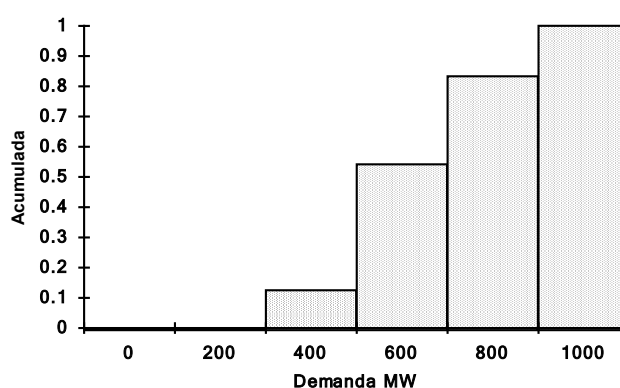
1. Demanda horária



2. A curva de duração de demanda é obtida ordenando de forma decrescente a demanda.



3. Normalize as horas para a unidade e inverta os eixos, obtendo uma função acumulada de probabilidade discreta da demanda, i.e, $F(x) = P(X \leq x)$:



Os patamares de demanda definidos no SDDP são:

Patamar k	Duração	Valor (GWh)
1	10%	$0.10 \times d(t) \times 400$
2	40%	$0.40 \times d(t) \times 600$
3	30%	$0.30 \times d(t) \times 800$
4	20%	$0.20 \times d(t) \times 1000$

Onde $d(t)$ é o número de horas da etapa (mês ou semana).

13.1.2 Duração variável dos patamares de demanda

A duração dos patamares, fixada nos dados de demanda, pode ser definida como variável por etapa do período de estudo. Para isso selecione, no menu correspondente, o número de patamares de demanda representados no conjunto de dados. A seleção do número de patamares de trabalho é realizada na tela inicial de [seleção de diretórios](#).

Uma [tabela de dados cronológicos](#) exibe a duração dos patamares de demanda (em horas) em cada patamar e etapa. A duração total em horas da etapa corresponderá à soma das durações (em horas) de todos os patamares da mesma.

Observação: A duração dos patamares de demanda para os anos adicionais será assumida como sendo igual à duração, por patamar, do último ano do estudo.

13.1.3 Mapeamento hora-bloco

O principal objetivo dos dados de [mapeamento hora-bloco](#) é relacionar as horas com os blocos correspondentes em cada estágio. Assim, esses dados são opcionais no caso de estudos com representação de blocos e obrigatórios em estudos de caso com representação horária.

Embora os estudos com resolução por bloco não representem as horas individualmente na formulação do problema de otimização, os dados do mapeamento hora-bloco podem ser utilizados para [obter a duração dos blocos](#) (ao invés de utilizar a duração fixa e duração variável dos blocos).

Porém, em estudos com resolução horária, os dados de mapeamento são usados para [reconstruir a cronologia dos dados horários](#) que são informados por bloco. Para mais detalhes, leia o capítulo [Representação horária](#).

13.1.4 Blocos cronológicos

O SDDP representa o processo de tomada de decisão operacional (geração de cada planta, interconexões entre regiões, fluxos nos circuitos etc.) em dois níveis de detalhe. O primeiro nível captura com precisão a dinâmica dos grandes dispositivos de armazenamento ao longo do tempo para planejamento de médio e longo prazo com a representação de estágios semanais ou mensais considerando as incertezas relevantes para esta escala de tempo e traduzida em Funções de Custo Futuro para cada estágio. O segundo nível captura as complexas decisões operacionais dentro de cada estágio do problema de otimização que procura equilibrar os custos imediatos e futuros esperados. Até o momento, o problema intra-estágio tem sido definido ou pela representação explícita das horas de maneira cronológica ou pela agregação de variáveis/restrições em blocos de horas com dados similares (também conhecido como modelo de curva de duração da carga). Esta última representação torna o processo de solução mais rápido e é muito útil para obter a solução ótima do primeiro nível, mas desconsidera a cronologia, que pode ser necessária para o segundo nível.

No SDDP, existe uma opção intermediária para a representação da cronologia entre blocos de horas. Com esta funcionalidade, o problema de otimização em cada etapa considerará aspectos como as variáveis de armazenamento final para cada bloco, as restrições de balanço entre blocos para reservatórios, baterias etc., *unit commitment* térmico e custos de *start-up* em cada bloco e outros. Esta modelagem também é utilizada automaticamente como parte de uma estratégia para melhorar o tempo de solução e a precisão dos problemas com resolução de hora em hora.

A construção do problema de otimização cronológico requer um número maior de blocos e os dados de entrada devem ser definidos de forma cronológica por bloco. Além disso, uma nova ferramenta automatizada na interface cria uma tabela de “remapeamento” hora-bloco, aplicando técnicas de clusterização que permitem o uso direto deste recurso sem alterar os dados de entrada já introduzidos (para mais detalhes, favor checar a seção [Ferramenta integrada de clusterização](#)). Nesse caso, o modelo usará a demanda horária para construir os novos blocos cronológicos e converterá todos os dados definidos por bloco para o novo

mapeamento hora-bloco (cronológico). Como pode ser visto, os dados de remapeamento permitem que o SDDP construa 21 blocos cronológicos com base em dados de entrada definidos em 5 blocos não cronológicos, por exemplo.

Por último, vale mencionar que este recurso está disponível apenas para casos semanais.

13.2 Múltiplas demandas por sistema

O modelo permite representar diferentes tipos de demanda por sistema. Cada sistema pode ter mais de uma demanda associada, a qual pode ser composta por uma combinação de componentes elásticos e inelásticos.

A combinação de mais de uma demanda por sistema permite representar separadamente demandas residências, industriais, comerciais, etc. A demanda total do sistema corresponderá à soma total das demandas individuais. A distribuição da demanda na rede elétrica se descreve em detalhes na seção **13.1.1.3**.

13.3 Demandas elástica, inelástica e mista

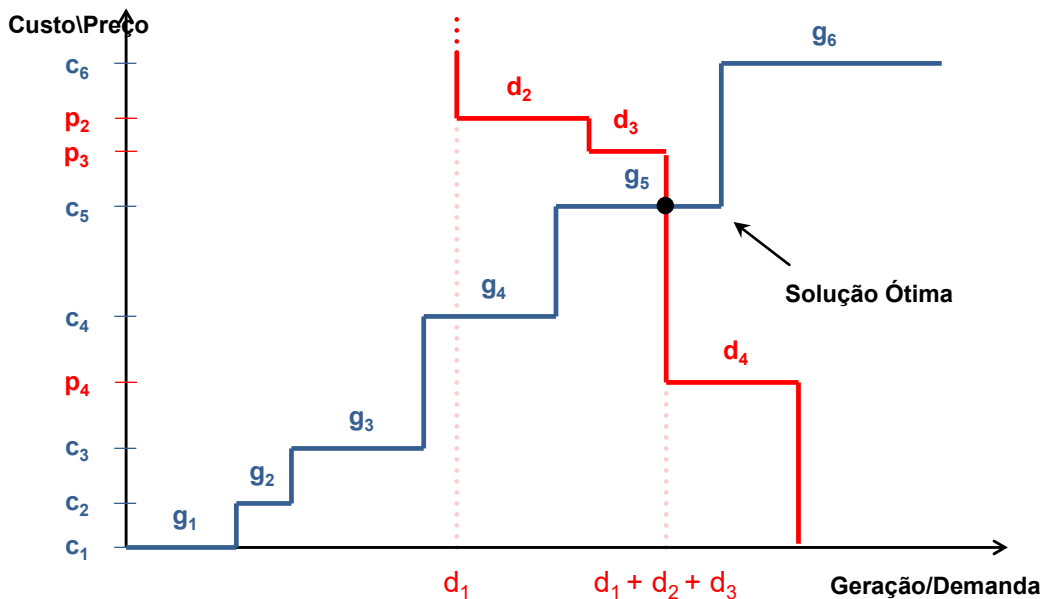
Cada demanda no SDDP é definida como uma curva que indica qual a sua disposição em adquirir energia para diferentes níveis de preço do sistema. Existem três tipos de demandas possíveis:

- Demanda totalmente inelástica ou fixa: corresponde à demanda que deve ser necessariamente atendida. Sua interrupção está somente associada à incapacidade física do sistema em atendê-la. Para este tipo de demanda a curva que a representa tem apenas um nível. Sua definição se dá mediante a especificação da energia a ser consumida pela demanda.
- Demanda totalmente elástica: corresponde a uma demanda com disposições de consumo de energia sensíveis aos níveis de preço. Para o primeiro nível de preço definido pelo usuário, ele deve especificar qual a quantidade total de energia (definida em GWh ou seu equivalente em MW) que esta demanda está disposta a comprar até este preço do sistema, ou seja, quanto de energia comprará se preço do sistema (custo marginal de demanda) for menor ou igual ao primeiro nível de preço da demanda elástica. Para o segundo nível de preço, caso seja definido pelo usuário, ele deve especificar qual a quantidade total de energia (definida em GWh ou seu equivalente em MW) que esta demanda está disposta a comprar até este preço do sistema, ou seja, quanto de energia comprará se preço do sistema (custo marginal de demanda) for menor ou igual ao segundo nível de preço da demanda elástica. De forma análoga se definem os demais níveis da demanda elástica, respeitando as condições de que: (i) o preço de um dado nível deve ser obrigatoriamente menor que o preço do nível anterior e (ii) a quantidade de energia de um dado nível deve ser obrigatoriamente maior que a quantidade de energia do nível anterior. O usuário pode definir tantos níveis quantos forem necessários.
- Demanda mista: corresponde à demanda que possui uma componente inelástica e outras componentes elásticas. Este tipo é, portanto, uma combinação dos dois tipos descritos anteriormente, sendo que o seu primeiro nível deve obrigatoriamente corresponder a sua componente inelástica e os seus demais níveis correspondem as suas componentes

elásticas definidas em ordem decrescente de preço e seguindo as mesmas regras que se aplicam às demandas totalmente elásticas.

No exemplo a seguir se apresenta o resultado de despacho para uma representação de demanda mista com primeiro nível inelástico associado a um consumo de energia d_1 e três outros níveis elásticos definidos pelos pares (quantidade de energia, preço) iguais a $(d_1 + d_2, p_2)$, $(d_1 + d_2 + d_3, p_3)$, e $(d_1 + d_2 + d_3 + d_4, p_4)$. O sistema possui cinco geradores com capacidades g_1 a g_5 e custos dados por c_1 a c_5 , respectivamente.

A solução ótima corresponde a atender à componente inelástica d_1 da demanda com os geradores g_1 a g_4 , através de despachos em ordem crescente de custo, e atender às parcelas elásticas d_2 e d_3 enquanto o custo marginal de demanda for inferior aos seus preços. Desta maneira, as parcelas elásticas d_2 e d_3 serão atendidas com os geradores g_4 e g_5 cujos custos operativos c_4 e c_5 são inferiores aos preços p_2 e p_3 destas demandas. Por não existir benefício econômico para o sistema, ou seja, não existem térmicas com custo inferior ao preço da demanda elástica d_4 , esta não é atendida. A demanda total do sistema que é atendida corresponde à soma das parcelas inelástica d_1 e das parcelas elásticas d_2 e d_3 .



No SDDP, a definição de cada demanda para cada sistema deve ser feita através da criação de seus níveis, seguindo a seguinte regra:

- O primeiro nível pode ser definido como inelástico ou elástico
- Os demais níveis, quando existirem, serão unicamente elásticos

Observa-se que a maneira de informar os dados de demanda até a versão 12 do SDDP permanece disponível para aqueles sistemas onde não há interesse pelo uso desta nova funcionalidade que permite combinar componentes elásticas e inelásticas da demanda.

Os dados de configuração de demanda são definidos pela interface através de uma [lista de elementos](#) contendo as seguintes informações:

- Tipo do primeiro nível: inelástico ou elástico

- Energia a ser consumida pela demanda para cada nível de preço do sistema, seja a demanda elástica ou inelástica
- Preço para cada nível da demanda elástica

Os dados de energia e preço para cada nível da demanda são informados através de uma tabela de dados cronológicos, variável por etapa e patamar de demanda.

13.4 Demanda flexível

Além dos três tipos de demanda apresentados na seção anterior, é possível definir demandas flexíveis. As demandas flexíveis permitem que a representação do consumo de energia dentro de uma etapa seja atrasada/antecipada, para minimizar o custo de energia do consumidor. O deslocamento de carga está sujeito a um consumo mínimo e máximo em cada intervalo de tempo (bloco, hora, minutos, etc.) e a uma restrição de integralidade: a soma das cargas deslocadas ao longo dos intervalos deve ser igual ao consumo total original. A carga de referência é especificada para cada intervalo, definindo a quantidade de energia a ser fornecida caso não haja deslocamento. Os consumos mínimo e máximo são especificados como máxima redução de carga e máximo aumento de carga (em p.u. da carga de referência), definindo os limites de deslocamento para cada intervalo. Outra característica deste tipo de demanda é a tolerância do consumidor ao corte de carga, que está sujeita a um valor máximo (em p.u. da carga de referência) e a um prêmio associado (em \$/MWh). Também é possível especificar uma janela de deslocamento (em horas), determinando o intervalo de tempo em que a carga pode ser deslocada.

13.5 Incerteza na demanda

A partir da versão 12, o SDDP passou a permitir a representação da incerteza nos dados de demanda, com variação segundo uma distribuição normal. Para esta representação, o usuário deve informar a média da distribuição normal que descreve a variável aleatória da demanda e o seu coeficiente de variação (razão entre o desvio padrão e a média). Com o coeficiente de variação e a média, o modelo calcula o desvio padrão da distribuição (a média e o desvio padrão são os parâmetros suficientes para definir uma distribuição normal). Nesta versão, o modelo considera que a incerteza na demanda é independente ao longo do tempo, ou seja, não considera qualquer dependência temporal no sorteio da demanda.

14 TRANSMISSÃO

Existem duas alternativas mutuamente excludentes para representar aspectos da transmissão:

- modelo de fluxo de potência linearizado
- modelo de intercâmbio

14.1 Modelo de fluxo de potência linearizado

Os elementos associados à representação do modelo de fluxo de potência linearizado são:

- barras
- circuitos
- elos CC
- restrições de importação/exportação por área
- soma de fluxos de circuitos

14.1.1 Dados de barras

14.1.1.1 Configuração de barras

A seleção, adição e remoção de barras é realizada a partir da [lista de elementos](#), localizada na parte superior da tela. Ao adicionar uma barra, é necessário especificar o código e um nome para a barra, além do sistema onde a barra está localizada.

14.1.1.2 Dados de geração e dados de área

Os dados de geração associados às barras são:

- área - usada para definir as restrições na import./exportação de potência
- usinas hidroelétricas associadas à barra
- usinas térmicas associadas à barra

As usinas hidroelétricas e térmicas são selecionadas com os botões: Editar Hidroelétricas e Editar Térmicas, localizados na parte inferior da tela. Escolha as usinas que deseja associar a uma barra com os botões (>>) e (<<).

14.1.1.3 Dados de carga por barra

As cargas por barra correspondem à distribuição das demandas pelas barras da rede elétrica. A desagregação das demandas entre as barras será feita de acordo com seus fatores de participação, calculados a partir das cargas por barra como indicado a seguir. Este fator de participação será o mesmo para todos os níveis de demanda (elásticos e inelásticos) associados à barra.

A adição, modificação e remoção das cargas por barra são realizadas a partir de uma [lista de elementos](#), contendo:

- barra – identificação da barra à qual a carga da barra está associada

- demanda – demanda à qual a carga da barra está associada
- sistema – sistema ao qual a carga da barra pertence
- data – data de cadastro ou modificação da carga da barra
- carga de referencia - valor de referência da carga da barra em MW

Em um determinado estágio t , para cada barra m e patamar de demanda k , a componente da demanda por barra se define como a seguir (por simplicidade de notação, os índices referentes ao estágio e ao patamar serão suprimidos):

$$db(m) = \sum_{j \in \Gamma(m)} fd(m,j) \times d(j)$$

$$fd(m,j) = \frac{FR(m,j)}{\sum_{n \in B(j)} FR(n,j)}$$

onde:

j	índice da demanda	
$\Gamma(m)$	conjunto de demandas às quais a barra m esta associada	
$fd(m,j)$	fator de participação da barra m na demanda j	pu
$d(j)$	Demanda j	MWh
$FR(m,j)$	carga de referencia associada à demanda j na barra m	MWh
$B(j)$	conjunto de barras associadas à demanda j	

14.1.1.4 Exemplo de dados de carga por barra

Para um melhor entendimento, considere o seguinte sistema contendo duas demandas distintas, **Residencial** e **Industrial**, um patamar de demanda e dois estágios de igual duração (julho e agosto) de 744 horas.

Id. Dem:	Descrição	Nível (Inelástico) Estágio 1	Nível (Inelástico) Estágio 2
1	Demanda Residencial	300 MW = 223.2 GWh	300 MW = 223.2 GWh
2	Demanda Industrial	150 MW = 111.6 GWh	200 MW = 148.8 GWh

O sistema possui a seguinte configuração inicial de barras:

Id. Barra:	Dem. Residencial	Dem. Industrial
100	100 MW	50 MW
101	50 MW	100 MW
102	150 MW	-

No segundo estágio, ocorre a entrada de novas fábricas na barra 100, resultando no aumento da demanda Industrial do sistema em 50MW, que passa a ser como indicado na tabela abaixo:

Id. Barra:	Dem. Residencial	Dem. Industrial
------------	------------------	-----------------

100	100 MW	100 MW
101	50 MW	100 MW
102	150 MW	-

Para o primeiro estágio:

O somatório das cargas de referência associadas à **demanda Residencial** ($j=1$) é dado por:

$$\sum_{n \in B(j)} FR(n, j) = 100 + 50 + 150 = 300 \text{ MW}$$

Logo, tem-se que os fatores de participação associados à demanda Residencial resultam iguais a:

$$fd(100,1) = \frac{100}{300} = 1/3$$

$$fd(101,1) = \frac{50}{300} = 1/6$$

$$fd(102,1) = \frac{150}{300} = 1/2$$

O somatório das cargas de referência associadas à **demanda Industrial** ($j=2$) é dado por:

$$\sum_{n \in B(j)} FR(n, j) = 50 + 100 = 150 \text{ MW}$$

Logo, tem-se que os fatores de participação associados à demanda Industrial resultam iguais a:

$$fd(100,2) = \frac{50}{150} = 1/3$$

$$fd(101,2) = \frac{100}{150} = 2/3$$

Para o segundo estágio:

Não existe modificação em nenhuma carga de barra associada à demanda Residencial, então os fatores de participação se mantêm constantes. Para a demanda Industrial, no entanto, tem-se que:

$$\sum_{n \in B(j)} FR(n, j) = 100 + 100 = 200 \text{ MW}$$

E os fatores de participação associados à demanda Industrial passam a ser iguais a:

$$fd(100,2) = \frac{100}{200} = 1/2$$

$$fd(101,2) = \frac{100}{200} = 1/2$$

14.1.2 Dados de circuitos

14.1.2.1 Configuração de circuitos

A seleção, adição e remoção de circuitos é realizada a partir da [lista de elementos](#), localizada na parte superior da tela.

Os dados do circuito englobam:

- resistência (%) e reatância (%).
A base de potência utilizada para o cálculo da resistência e reatância em % is 100 MVA. O exemplo a seguir ilustra o cálculo da reatância em %.

A base da reatância é definida como:

$$\text{Base da reatância [ohm]} = \frac{(\text{Base da voltagem fase_fase [kV]})^2}{\text{Base da potência [MVA]}}$$

Se a base da voltagem fase-fase for 230 kV e a linha de transmissão tiver 100 km e reatância igual a 0.5 ohm/km, temos:

Base da reatância = $230^2 / 100 = 529$ ohm

reatância[ohm] = $0.5 \text{ [ohm/km]} * 100 \text{ [km]} = 50$ ohm

reatância[p.u.] = $50 \text{ [ohm]} / 529 \text{ [ohm]} = 0.0945$ p.u.

reatância[%] = $0.0945 \text{ [p.u.]} * 100 \text{ [%]} = 9.45 \text{ %}$

- limite de fluxo - situação normal (MW)
- limite de fluxo - situação de emergência (MW)
- tipo de circuito (existente ou futuro)
- condição operativa do circuito (ligado ou desligado)
- selecionado para monitoramento

A opção *Selecionado para monitoramento* esta associada à seleção de *Circuitos Selecionados* da seção *Monitoramento de limite de fluxo* na aba *Conf. do Sistema* da tela *Opções de Execução*. Nesse caso específico, os circuitos selecionados formarão o subconjunto de circuitos que terão seus limites monitorados.

- restrições de segurança

Se selecionado, o circuito será incluído no conjunto de contingências para o despacho com restrições de segurança. Neste caso devem ser informados quais circuitos serão verificados na situação de contingência (fluxos abaixo do limite de emergência).

O SDDP permite que até 5 circuitos sejam monitorados em caso de contingência do circuito selecionado. Por tanto, é possível incluir no despacho restrições de segurança semelhantes ao critério N(N-1), mas menos restrito.

- considera falhas:

Esta opção é muito específica e foi desenvolvida para permitir o cálculo do preço da regulação da transmissão (VECF) de El Salvador. Se for selecionada, o campo chamado Probabilidade de falha (%) será habilitado; o usuário informa a probabilidade de falha do

circuito selecionado. Se mais de um circuito for selecionado desta maneira, o modelo fará *dois* despachos em separado para cada etapa e cenário de hidrologia na simulação final: (i) um *caso base*, onde se supõe que todos os circuitos estão disponíveis; e (ii) um caso *de contingência*, onde a saída forçada de *um* circuito é aleatoriamente sorteada. A frequência de saída de cada circuito no processo de sorteio é proporcional à razão entre sua probabilidade de falha e a soma de probabilidades de falha de todos os circuitos.

14.1.2.2 Expansão/Modificação de dados de circuitos

A modificação dos dados de circuitos é análoga à [modificação dos dados das usinas hidro](#). Os campos que podem ser alterados são:

- Resistência (%)
- Reatância (%)
- Limite de fluxo – Normal (MW)
- Probabilidade de falha (%)
- Estado operativo do circuito (Ligado ou Desligado)

14.1.2.3 Retirada de um Circuito

Para a retirada de um circuito basta defini-lo como “desligado” ou como “futuro” e sem entrada em operação no horizonte de estudo.

14.1.3 Dados de Elos de Corrente Contínua (CC)

14.1.3.1 Configuração de Elos CC

A seleção, adição e remoção de elos CC são realizadas a partir da [lista de elementos](#), localizada na parte superior da tela.

Os circuitos existentes podem ser caracterizados pelos seguintes dados.

- número
- nome
- barra ORIGEM
- barra DESTINO
- tipo do Elo CC (existente ou futuro)
- limite de fluxo - situação normal (MW) na direção ORIGEM \Rightarrow DESTINO
- limite de fluxo - situação de emergência (MW) na direção ORIGEM \Rightarrow DESTINO
- fator de perda (p.u.) na direção ORIGEM \Rightarrow DESTINO
- limite de fluxo - situação normal (MW) na direção ORIGEM \Leftarrow DESTINO
- limite de fluxo - situação de emergência (MW) na direção ORIGEM \Leftarrow DESTINO
- fator de perdas (p.u.) na direção ORIGEM \Leftarrow DESTINO

14.1.3.2 Expansão/Modificação de dados de Elos CC

A modificação dos dados de Elos CC é análoga à [modificação dos dados das usinas hidro](#). Os campos que podem ser alterados são: limites de fluxos e fator de perdas.

14.1.4 Restrições na importação/exportação por áreas

A importação/exportação líquida da área está dada pela diferença entre geração e demanda:

$$-\bar{T}_t(a,k) \leq G(a,t,k) - D(a,t,k) \leq \bar{E}_t(a,k)$$

onde:

$G(a,t,k)$	geração total na área a , período t e patamar de demanda k
$D(a,t,k)$	demanda total na área a , período t e patamar de demanda k
$\bar{E}_t(a,k)$ e $\bar{T}_t(a,k)$	limites de exportação e importação na área a , período t e patamar de demanda k

A geração total na área é a soma da geração em todas as barras pertencentes a esta área. A área é um dado de barras, e deve ser informado na tela da configuração das barras. Diferentes limites de exportação/importação são informados para cada patamar de demanda.

14.1.4.1 Expansão/Modificação de dados de importação/exportação por áreas

A modificação dos dados de importação/exportação por área é análoga à [modificação dos dados das usinas hidro](#). O único campo que se pode modificar é o limite de exportação / importação para cada patamar de demanda.

14.1.5 Restrições de soma de fluxo em circuitos

14.1.5.1 Configuração de restrições de soma de fluxo em circuitos

A seleção, adição e remoção de restrições de soma de fluxo em circuitos são realizadas a partir da [lista de elementos](#), localizada na parte superior da tela. Ao adicionar uma restrição, é necessário especificar um código e um nome para a mesma.

Para cada restrição é necessário informar seus limites operativos, inferior e superior, assim como os circuitos que formam parte da restrição.

O valor do “Fator de participação” é um fator multiplicativo que indica o sentido e fator com o qual o circuito entra na restrição. Por exemplo, valores iguais a 1 indicam que o circuito entra em sua definição “de”-> “para”, enquanto que um fator de participação igual a -1 inverte o sentido do fluxo no cálculo da restrição.

14.1.5.2 Expansão/Modificação de restrições de soma de fluxo em circuitos

Os dados de expansão das restrições de soma de fluxo em circuitos permitem modificar os limites inferiores e/ou superiores das restrições através do período de estudo. Elas podem ser realizadas por data, ou por restrição.

14.1.6 Custos em Circuitos Internacionais

Os custos destes circuitos devem ser especificados nos sentidos De->Para e Para->De e em \$/MWh, por ano e patamar de demanda, em uma [tabela de dados cronológicos](#), indicando a unidade monetária associada.

14.2 Modelo de intercâmbio

14.2.1 Interconexões

14.2.1.1 Configuração

A seleção, adição e remoção de interconexões são realizadas a partir da [lista de elementos](#), localizada na parte superior da tela.

As interconexões dos sistemas são caracterizadas pelos seguintes parâmetros.

- número
- nome
- tipo (existente ou futura)
- sistema ORIGEM
- sistema DESTINO
- limite técnico de fluxo (MW) na direção ORIGEM \Rightarrow DESTINO
- fator de perdas (p.u.) na direção ORIGEM \Rightarrow DESTINO
- limite técnico de fluxo (MW) na direção ORIGEM \Leftarrow DESTINO
- fator de perdas (p.u.) na direção ORIGEM \Leftarrow DESTINO
- custo de interconexão (\$/MWh) na direção ORIGEM \Rightarrow DESTINO
- custo de interconexão (\$/MWh) na direção ORIGEM \Leftarrow DESTINO
- unidade monetária

14.2.1.2 Expansão/Modificação dos dados de intercâmbio

Análogo aos dados de [Expansão/Modificação](#), os campos que podem ser modificados são:

- Capacidade de intercâmbio (nas duas direções)
- Fatores de perdas

14.2.2 Restrições de soma de intercâmbios

14.2.2.1 Configuração de soma de intercâmbios

A seleção, adição e remoção de restrições de soma de intercâmbios são realizadas a partir da [lista de elementos](#), localizada na parte superior da tela. Ao adicionar uma restrição, é necessário especificar um código e um nome para a mesma.

Para cada restrição é necessário informar seus limites operativos, inferior e superior, assim como os circuitos de intercâmbio que formam parte da restrição.

14.2.2.2 Expansão/Modificação de soma de intercâmbios

Os dados de expansão das restrições de soma de intercâmbios permitem modificar os limites inferiores e/ou superiores das restrições através do período de estudo. Elas podem ser realizadas por data, ou por restrição.

14.2.3 Custos variáveis de interconexão

Os custos de interconexão devem ser especificados nos sentidos De->Para e Para->De e em \$/MWh, por ano e patamar de demanda, em uma [tabela de dados cronológicos](#).

15 INJEÇÕES DE POTÊNCIA

O usuário pode definir injeções de potência genéricas na tela “Dados básicos > Injeções de potência > Configuração de injeções de potência”. Os dados de entrada necessários são a capacidade e o preço da injeção (opcional), que podem ser definidos por bloco ou em resolução horária. Após a introdução dos dados, o usuário deve selecionar a resolução dos dados na tela “Opções de execução > Despacho econômico > Resolução dos dados” para ambos: capacidade - “Injeções de potência (Capacidade)” e preço - “Injeções de potência (Preço)”.

A capacidade e o preço das injeções de potência podem ser positivos ou negativos.

Se nenhum preço for definido e a injeção for positiva, a injeção pode ser vista como uma termelétrica com custo operativo igual a zero. Se a injeção for negativa, ela pode ser vista como uma demanda elástica com preço teto igual a zero (só será atendida quando houver sobra de energia no sistema e atender essa demanda reduz custos na função objetivo do problema, por exemplo, para evitar o pagamento de uma penalidade de vertimento de energia renovável).

Se os preços forem definidos e a injeção for positiva, pode-se considerar que a injeção é uma termelétrica com custo operativo igual ao preço definido pelo usuário. Se a injeção for negativa, ela pode ser vista como uma demanda elástica com um preço teto igual ao preço definido pelo usuário.

Adicionalmente, vale ressaltar que as injeções de potência podem ser contempladas em execuções com ou sem rede elétrica.

16 SISTEMA DE GÁS

Para representar o sistema de gás é necessário informar a configuração da rede de gás, representada por seus nós, gasodutos e demandas não termoelétricas.

Os dados relativos aos elementos da rede de gás são descritos abaixo:

16.1 Dados de Nós

16.1.1 Configuração

A seleção, adição e remoção de nós de gás são realizadas a partir da [lista de elementos](#), localizada na parte superior da tela. Ao adicionar um novo nó, é necessário especificar um código e um nome para o mesmo, junto ao identificador do sistema de gás onde se encontra localizado.

Para cada nó se especifica sua produção mínima e máxima local assim como o custo de produção.

As unidades do sistema de gás estão em Milhões de Unidades de Volume (MUV), onde UV é a Unidade de Volume definida para o combustível utilizado por todas as térmicas que fazem parte do sistema de gás. É importante observar que todas estas térmicas devem obrigatoriamente utilizar um mesmo combustível ou combustíveis diferentes que tenham a mesma unidade (definida na tela de definição de combustíveis).

Na mesma tela são selecionadas as usinas termoelétricas, por sistema, que estão associadas ao nó de gás.

16.1.2 Expansão/Modificação

As modificações dos dados de nós de gás são análogas à [Expansão/Modificação](#) dos dados das usinas hidroelétricas.

Os campos que podem ser alterados são:

- produção mínima local
- produção máxima local
- custo de produção

O programa somente utiliza estas informações se a opção “Configuração Dinâmica” na tela de Execução/Configuração do Sistema for selecionada.

16.2 Dados de Gasodutos

16.2.1 Configuração

A seleção, adição e remoção de gasodutos são realizadas a partir da [lista de elementos](#), localizada na parte superior da tela.

As interconexões dos sistemas de gás são caracterizadas pelos seguintes parâmetros.

- número

- nome
- sistema ORIGEM
- sistema DESTINO
- capacidade do gasoduto (MUV/dia) na direção ORIGEM \Rightarrow DESTINO
- fator de perdas (p.u.) na direção ORIGEM \Rightarrow DESTINO
- capacidade do gasoduto (MUV/dia) na direção ORIGEM \Leftarrow DESTINO
- fator de perdas (p.u.) na direção ORIGEM \Leftarrow DESTINO
- custo de transporte (\$/m³)
- unidade monetária

16.2.2 Expansão/Modificação

A gerência dos dados de modificação é análoga à [Expansão/Modificação](#) de usinas hidroelétricas e os campos que podem ser modificados são:

- capacidade do gasoduto (MUV/dia) na direção ORIGEM \Rightarrow DESTINO
- capacidade do gasoduto (MUV/dia) na direção ORIGEM \Leftarrow DESTINO
- fator de perdas (p.u.) na direção ORIGEM \Rightarrow DESTINO
- fator de perdas (p.u.) na direção ORIGEM \Leftarrow DESTINO
- custo de transporte (\$/m³)

O programa somente utiliza estas informações se a opção de “Configuração Dinâmica” na tela de Execução/Configuração do Sistema for selecionada.

16.3 Demanda não termoelétrica

Para cada demanda não termoelétrica se especifica seu número, nome, sistema de gás ao qual pertence e a penalidade por violação de atendimento a esta demanda de gás

Os dados de demanda não termoelétrica são dados por etapa e patamar de demanda.

16.4 Custos de Produção de Gás

Os custos de produção de gás em cada nó são dados por etapa e patamar de demanda e devem ser informados na [tabela de dados cronológicos](#) correspondente.

17 FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL

Este agente, denominado fonte de energia renovável, permite representar usinas eólicas, pequenas usinas hidroelétricas, usinas de biomassa, etc.

As fontes de energia renováveis não estão sujeitas à decisão de despacho. O problema de despacho é resolvido após a subtração da geração não despachável da demanda. Este processo é mais bem detalhado no Manual de Metodologia do SDDP.

Para representar uma fonte renovável é necessário informar seus dados de configuração, suas modificações (quando existentes) e seus cenários de geração. Cada um destes dados é descrito a seguir.

17.1 Configuração

As fontes renováveis existentes são selecionadas através da [lista de elementos](#), localizada na parte superior da tela. Ao adicionar uma nova fonte renovável, é necessário especificar um código e um nome para a mesma.

Para cada fonte renovável se especifica o número de unidades, a potência instalada, o fator de operação e seu tipo (existente ou futuro). O fator de operação representa uma restrição na geração da potência máxima instalada devido a gargalos em elementos de suporte. A probabilidade de falha e o sorteio de falha são dados reservados para uma futura versão do modelo.

17.2 Expansão/Modificação

As modificações dos dados de fontes renováveis se aplicam aos seguintes campos dos dados de configuração:

- Número de unidades
- Potência instalada
- Fator de operação
- Probabilidade de falha

O programa somente utiliza estas informações se for selecionada a opção de “Configuração Dinâmica” na tela “Opções de execução > Despacho econômico > Horizonte & resolução”.

17.3 Cenários de Geração de Fontes Renováveis

Os cenários de geração são especificados para cada fonte renovável, como um fator (p.u.) da sua potência instalada, variando por etapa e por patamar de demanda, em uma [tabela de dados cronológicos](#). Estes cenários representam variações sazonais da geração de energia da fonte renovável, por exemplo, variações no regime de ventos no caso das usinas eólicas. Além de ter a possibilidade de introduzir os cenários de geração das fontes renováveis diretamente no SDDP, o usuário também pode utilizar o Time Series Lab (TSL) para a geração dos mesmos. Para mais detalhes sobre o TSL, favor checar o capítulo [Time Series Lab \(TSL\)](#) deste manual.

Por fim, é importante lembrar que os cenários utilizados pelo SDDP (forward e backward) são compostos pela combinação dos cenários hidrológicos e cenários de geração de fontes renováveis.

17.4 Energia Solar Concentrada – Concentrated Solar Power (CSP)

A ideia geral é que o sol seja refletido por espelhos (painéis) que concentram a luz solar em um receptor no qual um fluido é esquentado. Na configuração mais usual das usinas CSPs, espelhos parabólicos concentram o calor no foco, por onde passa o fluido. Todas as configurações de CSP tem como objetivo fim utilizar a luz do sol para esquentar esse fluido, que quando quente é armazenado em tanques isolados termicamente. Quando a usina é acionada, o fluido sai do tanque e gera vapor d'água, que aciona uma turbina para produzir eletricidade.

Para mais detalhes sobre CSP, favor consultar os manuais de metodologia e do usuário do Time Series Lab (TSL).

17.4.1 Configuração

Para representar uma usina CSP, é necessário informar seus dados de configuração, suas modificações (caso existam) e seus cenários de geração, analogamente às fontes renováveis. Cada um destes dados é descrito a seguir.

17.4.2 Seleção de CSP

A seleção, adição e remoção de usinas CSP são realizadas na tela “Dados básicos > Fonte renovável > Configuração de CSP” a partir da [lista de elementos](#), localizada na parte superior da tela. Ao adicionar uma nova usina, é necessário especificar um código e um nome para a mesma, junto ao identificador do sistema onde se encontra localizada. Já a adição de cenários de geração é feita do mesmo modo das renováveis, na tela “Dados básicos > Fonte renovável > Cenários de estação renovável”.

17.4.3 Dados operativos de usinas CSPs

- Código
- Nome
- Sistema
- Tipo (existente ou futura)
- Estação renovável associada
- Número de unidades
- Potência instalada (MWe)
- Múltiplo solar: o múltiplo solar (SM) descreve a relação entre a capacidade dos painéis solares e a capacidade da turbina a vapor. Portanto, uma CSP superdimensionada (SM >

1) pode produzir, em determinados momentos, mais energia do que o motor pode suportar. Nesses casos, a CSP pode utilizar tanques de armazenamento para evitar que a energia gerada seja vertida

- Eficiência (MWe/MWt): eficiência do processo físico de conversão de calor em energia da turbina a vapor
- Armazenamento máximo (MWht)

17.4.4 Expansão/Modificação

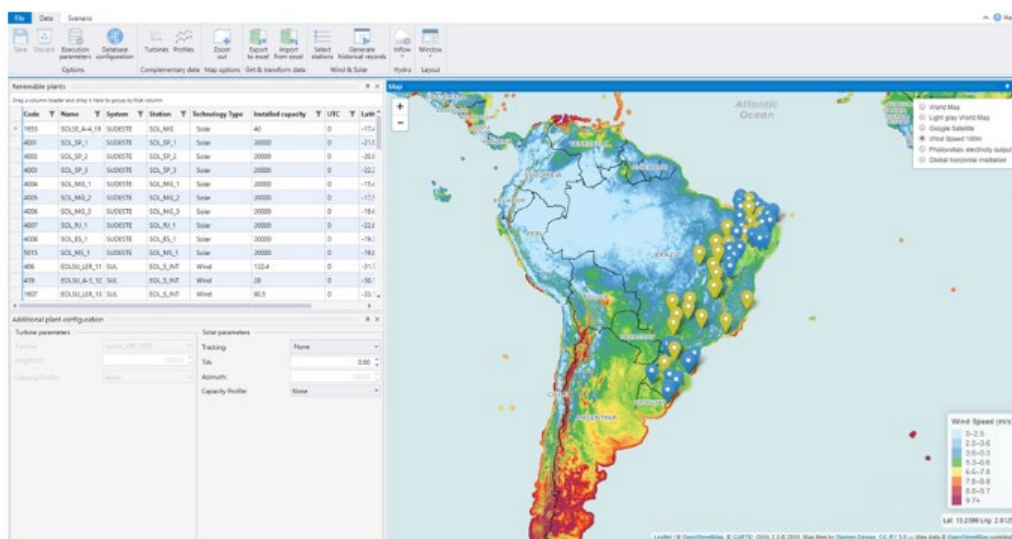
Na tela de expansão, é permitido alterar alguns dos dados originais que podem variar com o tempo.

Os campos que podem ser modificados são:

- Número de unidades
- Potência instalada (MWe)
- Múltiplo solar (SM)
- Eficiência (MWe/MWt)
- Armazenamento máximo (MWht)

18 TIME SERIES LAB (TSL)

No modelo SDDP, cenários de geração renovável podem ser expressos em duas resoluções: (i) por blocos; ou (ii) por hora, definido como um perfil anual ou detalhado para todo o horizonte do estudo. A crescente penetração mundial de fontes de energia renováveis variáveis (VREs) exige continuamente um aumento na qualidade dos cenários de entrada para os estudos de planejamento de operações. Por isso, a PSR desenvolve uma ferramenta chamada **Time Series Lab (TSL)**, que pode gerar esses cenários. O TSL é completamente integrado ao SDDP e oferecido gratuitamente a todos os usuários licenciados pelo SDDP.



O TSL possui dois módulos principais: (i) TSL-Data e (ii) TSL-Scenários:

- O **TSL-Data** cria um registro histórico sintético de geração renovável por hora, processando as informações disponíveis no banco de dados de reanálise global MERRA-2. A ideia por trás do TSL-Data é fazer o download de dados históricos de reanálise de vento e/ou irradiância solar (disponíveis desde 1980) e transformar esses recursos naturais em produção de energia com base em (i) características do modelo de turbina eólica e altura do cubo e (ii) painéis solares (com diferentes sistemas de rastreamento). Ao criar um registro histórico horário sintético, essa metodologia permite a avaliação de novos locais para candidatos a renováveis em qualquer lugar do mundo, além da melhoria na representação de usinas renováveis existentes;
- **TSL-Scenários:** é um modelo estatístico que usa dados históricos para estimar parâmetros e gerar cenários futuros para o modelo SDDP. No caso de VREs, esses cenários podem ser (i) os dados reais de entrada (com base em medições de geração) ou (ii) o registro histórico sintético criado pelo TSL-Data, sempre gerado, mantendo as correlações espaciais e temporais entre todos os recursos renováveis. estações. Além disso, é possível optar por contemplar (ou não) os efeitos das correlações espaciais e temporais com as entradas hídricas que serão usadas posteriormente pelo SDDP.

Para mais detalhes sobre o TSL, visite <https://www.psr-inc.com/software/?current=p13880>.

19 BATERIAS

19.1 Configuração

19.1.1 Seleção de baterias

A seleção, adição e remoção de baterias são realizadas a partir da [lista de elementos](#), localizada na parte superior da tela.

19.1.2 Dados operativos de baterias

- 1) Armazenamento mínimo (MWh)
- 2) Armazenamento máximo (MWh)
- 3) Armazenamento inicial (p.u.)

Condição inicial de armazenamento da bateria em cada etapa. Este valor deve ser definido em função do armazenamento útil.

- 4) Potência máxima (MW)
- 5) Tempo máximo de regulação (h)
- 6) Eficiência de carga (p.u.)
- 7) Eficiência de descarga (p.u.)
- 8) Rampa de carga (MW/min)
- 9) Rampa de descarga (MW/min)

19.2 Expansão/Modificação

Na tela de expansão, é permitido alterar alguns dos dados originais que podem variar com o tempo (ver seção [Expansão/Modificação](#)).

Os campos que podem ser modificados são:

- armazenamento máximo (MWh)
- potência máxima (MW)
- eficiência de carga (p.u.)
- eficiência de descarga (p.u.)

20 HIDROGÊNIO E ELETRIFICAÇÃO

Há uma tendência mundial para uma transformação global nos padrões de produção e consumo de energia para atingir emissões líquidas zero de GEE nas próximas décadas. Isto requer repensar setores-chave dependentes de energia, tais como indústria, transporte, construção e aquecimento. A eletricidade desempenhará um papel crucial nesta transformação ao fornecer energia limpa e sustentável, alavancada pela diminuição dos custos dos recursos de geração renovável.

O hidrogênio chamou a atenção porque pode ser produzido a partir de eletricidade limpa via eletrólise (divisão da água em hidrogênio e oxigênio). O hidrogênio é então utilizado em células de combustível para o transporte e como fonte de energia em processos industriais.

O SDDP pode modelar explicitamente a cadeia de fornecimento de hidrogênio e sua integração ao sistema de energia: fábricas de produção de hidrogênio consumindo eletricidade da rede elétrica, nós de distribuição de hidrogênio, transporte, armazenamento e demanda de hidrogênio sensível ao preço podem ser combinados para planejar e simular em detalhes um sistema de hidrogênio.

Além da cadeia de hidrogênio, o SDDP disponibiliza a criação de processos de eletrificação. As seções a seguir descrevem cada elemento da configuração de hidrogênio/eletrificação.

20.1 Configuração dos processos e das unidades

Para eletrificação, o usuário deve definir o processo. O processo é um elemento genérico no SDDP que inclui nó, produtor, transporte, armazenamento e demanda. Para o hidrogênio, o usuário só precisa inserir a unidade e o custo do déficit. Neste caso, nas telas “Dados básicos > Hidrogênio > Configuração de unidade” e “Dados básicos > Eletrificação > Configuração de processo”, os usuários podem definir os seguintes dados:

- Código (apenas para eletrificação)
- Nome (apenas para eletrificação)
- Unidade
- Custo de déficit (\$/Unidade)

20.2 Configuração de nó

Representa a conexão entre produtor, transporte, armazenamento e demanda. É importante destacar que cada nó está associado a apenas um processo. Nesta tela, os usuários podem definir os seguintes dados:

- Código
- Nome
- Sistema
- Processo associado

20.3 Transporte

20.3.1 Configuração de transporte

Representa o transporte de um nó para outro, em unidades/dia. A seleção, adição e eliminação do transporte de hidrogênio/eletificação são feitas a partir da [lista de elementos](#) localizada na parte superior da tela. Nesta tela, os usuários podem definir os seguintes dados:

- Código
- Nome
- Processo associado
- Nó DE
- Nó PARA
- Tipo: existente ou futuro
- Capacidade DE \Rightarrow PARA (Unidade/dia)
- Capacidade PARA \Rightarrow DE (Unidade/dia)
- Custo DE \Rightarrow PARA (\$/Unidade)
- Custo PARA \Rightarrow DE (\$/Unidade)
- Fator de perdas DE \Rightarrow PARA (p.u.)
- Fator de perdas PARA \Rightarrow DE (p.u.)

Como pode ser visto, um elemento de transporte de um processo de hidrogênio/eletificação é modelado de forma análoga a uma interconexão entre sistemas no modelo SDDP.

20.3.2 Expansão/Modificação

As modificações deste elemento são tratadas da mesma forma que outras modificações (ver seção [Expansão/Modificação](#)). Os campos que podem ser modificados são:

- Capacidade DE \Rightarrow PARA (Unidade/dia)
- Capacidade PARA \Rightarrow DE (Unidade/dia)
- Custo DE \Rightarrow PARA (\$/Unidade)
- Custo PARA \Rightarrow DE (\$/Unidade)
- Fator de perdas DE \Rightarrow PARA (p.u.)
- Fator de perdas PARA \Rightarrow DE (p.u.)

20.4 Produtor

20.4.1 Configuração de produtor

Representa a produção de algum produto (por exemplo, hidrogênio ou outro produto de um processo de eletificação definido). Se o caso do SDDP tiver a representação da rede elétrica,

o produtor deve estar conectado a uma barra (pois consome eletricidade da rede elétrica) e a um nó do processo de hidrogênio/eletificação.

Nesta tela, os usuários podem definir os seguintes dados:

- Código
- Nome
- Sistema
- Processo associado
- Nó associado
- Consumo específico (MWh/Unidade)
- Produção máxima (Unidades/dia)
- Custo de O&M (\$/Unidade)
- A barra associada deve estar definida na tela “Dados básicos > Rede elétrica > Configuração de barra”

20.4.2 Expansão/Modificação

As modificações deste elemento são tratadas da mesma forma que outras modificações (ver seção [Expansão/Modificação](#)). Os campos que podem ser modificados são:

- Consumo específico (MWh/Unidade)
- Produção máxima (Unidades/dia)
- Custo de O&M (\$/Unidade)

20.5 Armazenamento

20.5.1 Configuração de armazenamento

Representa uma instalação de armazenamento conectada a um determinado nó e funciona como um “armazenamento de resposta rápida” (matematicamente é modelado de forma análoga a uma bateria no modelo SDDP). A seleção, adição e eliminação do armazenamento de hidrogênio/eletificação são feitas a partir da [lista de elementos](#) localizada na parte superior da tela.

Nesta tela, os usuários podem definir os seguintes dados:

- Nome
- Número
- Sistema
- Processo associado
- Nó associado
- Armazenamento mínimo (Unidade)

- Armazenamento máximo (Unidade)
- Armazenamento inicial (p.u.): condição inicial de armazenamento em cada. Este valor deve ser estabelecido de acordo com o armazenamento
- Taxa máxima de carga (Unidade/h)
- Taxa máxima de descarga (Unidade/h)
- Eficiência de carga (p.u.)
- Eficiência de descarga (p.u.)
- Tempo máximo de regulação (h)
- Rampa de carga (Unidade/min)
- Rampa de descarga (Unidade/min)

20.5.2 Expansão/Modificação

As modificações deste elemento são tratadas da mesma forma que outras modificações (ver seção [Expansão/Modificação](#)). Os campos que podem ser modificados são:

- Armazenamento mínimo (Unidade)
- Armazenamento máximo (Unidade)
- Taxa máxima de carga (Unidade/h)
- Taxa máxima de descarga (Unidade/h)
- Eficiência de carga (p.u.)
- Eficiência de descarga (p.u.)

20.6 Demanda

Representa a demanda de um determinado nó e pode ser elástica ou inelástica; se inelástico, haverá um custo de déficit associado previamente definido na tela “Dados básicos > Hidrogênio/Eletrificação > Configuração de processo”. A seleção, adição e eliminação da demanda de hidrogênio/eletrificação são feitas a partir da [lista de elementos](#) localizada na parte superior da tela.

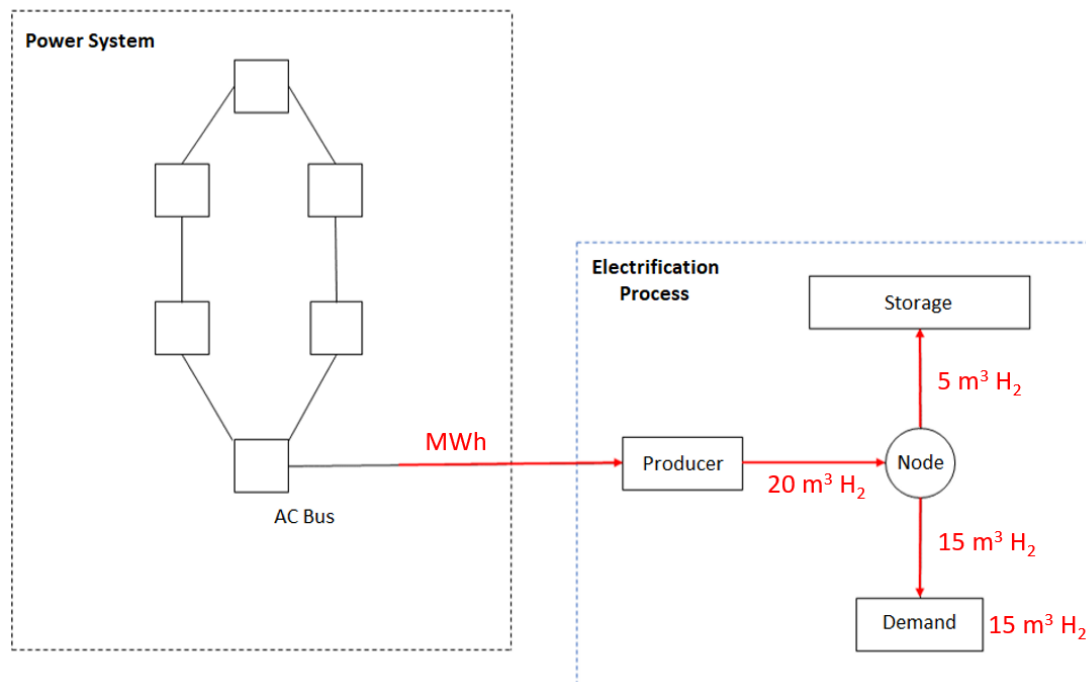
Nesta tela, os usuários podem definir os seguintes dados:

- Nome
- Número
- Sistema
- Processo associado
- Nó associado
- Níveis (ou segmentos)
- Demanda por bloco (Unidade)

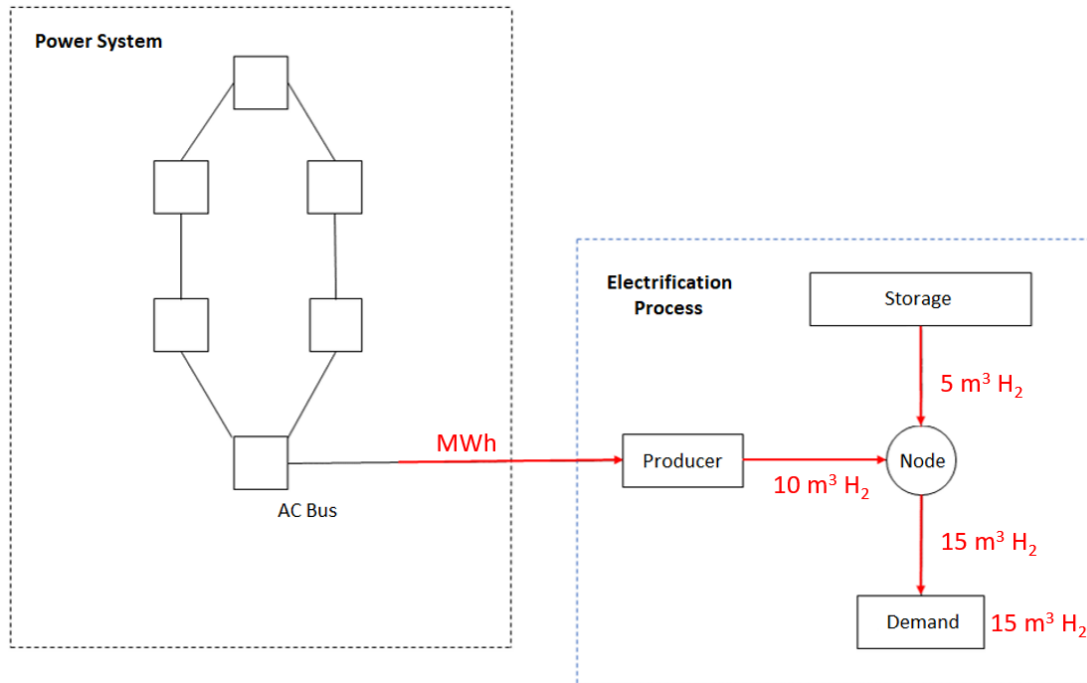
- Preço por bloco (\$/Unidade) caso a demanda (o um dado nível) seja elástica(o)

20.7 Exemplos de aplicação

O diagrama esquemático de um processo de hidrogênio/elettrificação é ilustrado nas figuras apresentadas abaixo. Para a modelagem do SDDP, matematicamente falando, os processos de hidrogênio e eletrificação são modelados da mesma maneira. Então, com base nos dados de entrada (dados básicos supracitados), espera-se que o sistema se comporte da seguinte forma: a energia fluirá do sistema elétrico para o produtor do processo de hidrogênio/elettrificação, que terá um consumo específico para a produção (além de uma produção máxima em unidades/dia); se a energia do sistema elétrico em um determinado momento for barata, haverá uma produção maior para que haja um excedente a ser armazenado (Caso 1):



Se a energia em outro momento for cara, parte do armazenamento será utilizada para baratear o custo, caso haja algum produto armazenado (Caso 2):



Finalmente, se não houver armazenamento e a energia for mais cara que o custo do déficit do processo de hidrogênio/eletificação, haverá um déficit; veja que o custo do déficit definido pelo usuário referente ao processo de hidrogênio/eletificação desempenha um papel importante aqui.

21 OPÇÕES DE EXECUÇÃO

As opções de execução são compostas pelos seguintes módulos:

- opções do estudo
- configuração do sistema
- parâmetros econômicos
- sistemas e modo operativo
- saídas em planilhas
- estratégia de solução
- sensibilidade
- curva de aversão a risco
- dados cronológicos

21.1 Opções do Estudo

21.1.1 Título do estudo

O objetivo deste campo é permitir que se identifique o estudo através de um título descritivo.

A opção SDDP Screen, quando selecionada, reproduz, em uma nova janela, o processo iterativo, indicando o número da iteração forward/backward correspondente, o número da etapa, o número da série e o número de abertura backward.

21.1.2 Atividades

Política	Determina a política operativa ótima de um sistema hidrotérmico usando o algoritmo de programação dinâmica estocástica dual - SDDP.
Simulação	Simula a operação do sistema ao longo do período de planejamento para várias sequências hidrológicas. Nota: esta atividade requer a existência das funções de custo futuro, produzidas na opção Política.
Simulação com FCF reduzida	Esta opção de execução lhe permite ao usuário realizar uma simulação final selecionando a FCF produzida até uma determinada iteração (indicada no campo <i>No. máximo de iterações</i> da seção <i>Estudo</i> na mesma tela) de uma política operativa existente.

21.1.3 Vazões

Modelo auto-regressivo	Utiliza um modelo estocástico AR(p) para gerar as sequências de vazões usadas pela simulação forward do SDDP e os cenários de vazões condicionados usados na fase Backward.
Ano Hidrológico Inicial	Indica o ano do histórico que será utilizado como condição hidrológica inicial. Este campo tem duas interpretações dependendo se o usuário selecionou vazões do histórico ou séries sintéticas. Exemplo 1

	<p>Estudo: de Janeiro 2000 a Dezembro 2001, i.e. 2 anos em etapas mensais.</p> <p>Vazões: históricas, ano inicial de hidrologia: 1950</p> <p>Número de cenários forward: 30 (estocástico)</p> <p>Seja Q_t a vazão afluente na etapa t. As sequências de vazões (cenários) usadas pelo SDDP na simulação são:</p> <p>Cenário #01 : $Q_{jan1950}, Q_{fev1950}, \dots, Q_{dez1951}$</p> <p>Cenário #02 : $Q_{jan1951}, Q_{fev1951}, \dots, Q_{dez1952}$</p> <p>Cenário #30 : $Q_{jan1979}, Q_{fev1979}, \dots, Q_{dez1980}$</p> <p>Nota: se o ano inicial de hidrologia + número de cenários forward > último ano de dados do registro histórico de vazões, o SDDP "volta" ao primeiro ano de dados de vazões completos para completar as demais sequências.</p> <p>Exemplo 2 - Igual ao caso anterior, exceto que as vazões são series sintéticas produzidas por um modelo PAR(p). Neste caso, o SDDP usará o ano inicial de hidrologia como condições iniciais para o modelo PAR(p). Este modelo gera vazões para o mês t condicionadas às vazões anteriores $t-1, t-2, \dots, t-p$, onde p é a "memória" do modelo. Se $p=2$ em Janeiro, SDDP produzirá 30 cenários para Janeiro 2000, dadas as condições iniciais de Nov. e Dez. de 1949. Por esta razão, o primeiro ano do registro histórico de vazões não pode ser utilizado como ano inicial de hidrologia para a seleção do modelo ARP(p). Além disso, se está utilizando-se o SDDP para produzir o despacho para a semana atual, sugere-se que o ano inicial de hidrologia reflita uma hidrologia similar à atual.</p>
Histórico	Utiliza sequências de vazões históricas na fase forward do algoritmo e um modelo estocástico AR(p) para gerar os cenários de vazões condicionados usados na fase Backward
Externo	<p>É possível utilizar um modelo de vazões externos para produzir cenários de vazões que podem ser utilizados pelo SDDP.</p> <p>Forward: lê cenários "forward" produzidos pelo modelo externo</p> <p>Forward/Backward: lê cenários "forward" e "backward" produzidos pelo modelo externo</p>
Filtrar outliers das séries geradas	O SDDP aplicará um conjunto de testes estatísticos para a identificação e retirada de "outliers" (valores atípicos) nas vazões sintéticas geradas.

21.1.4 Tipo de estudo

Determinístico	Indica que as afluências futuras são conhecidas. Neste caso, o modelo irá calcular o despacho ótimo para uma única sequência de vazões que
-----------------------	--

	pode ser uma série sintética ou uma série histórica de acordo com a seleção do usuário.
Estocástico	Indica que as vazões futuras são desconhecidas; neste caso, o usuário deve informar o número de sequências de vazões na fase da simulação forward e o número de cenários de vazões condicionados usados na fase Backward do algoritmo SDDP.

21.1.5 Séries Forward para simulação

As opções são:

Todas	A operação do sistema é simulada para todas as sequências.
Selecionadas	Permite que o usuário selecione um subconjunto das sequências hidrológicas para estudos de simulação.

21.1.6 Nível de Relatório

Normal	O programa produz os índices de desempenho do sistema (custos operativos, irrigações, etc.) para cada etapa e para cada ano do período de planejamento.
Detalhado	Representa também o balanço hídrico dos reservatórios, fluxo de potência e operação térmica para cada sequência hidrológica. Atenção: Deve-se utilizar esta opção somente para fins de depuração pois o tempo de execução pode ser bastante afetado.

21.1.7 Parâmetros

No. de séries forward	Número de sequências hidrológicas usadas na fase forward do algoritmo SDDP ou na atividade da simulação.
No. de séries backward	Número de cenários de vazões condicionados usados na fase Backward do algoritmo SDDP.
Tolerância de convergência (%)	Critério de convergência para o algoritmo do SDDP. Se o estudo for determinístico, representa a diferença percentual entre os limites superior e inferior. Se o estudo for estocástico, este campo não está disponível, pois o critério de convergência passa a ser definido por um teste de hipótese (rejeita-se ou não, com um nível de confiança de 95%, a hipótese de o limite inferior ser estatisticamente igual ao limite superior).
No. mínimo de iterações	Número mínimo de iterações que o algoritmo do SDDP deverá executar, independente da convergência.

No. máximo de iterações	Número máximo de iterações que o algoritmo do SDDP poderá executar, independente da convergência.
--------------------------------	---

21.2 Configuração do sistema

As etapas podem ser semanais ou mensais.

21.2.1 Parâmetros

Estágio Inicial	Mês (ou semana) inicial do estudo de planejamento.
Ano Inicial	Ano inicial do estudo de planejamento.
Estágio Final	Mês (ou semana) final do estudo de planejamento.
Ano Final	Ano final do estudo de planejamento.
No. de Etapas	Número de meses (ou semanas) do estudo de planejamento. Este valor é automaticamente calculado pelo programa.
No. de Patamares de Demanda	Número de níveis de demanda representados em cada etapa.
Agregar na política operativa	O programa assume por opção default a agregação dos patamares de demanda na política operativa, sendo representados em detalhes somente na simulação final. O usuário pode solicitar a representação detalhada dos patamares de demanda na fase da política operativa. Contudo, note que a representação detalhada dos patamares de carga na fase de cálculo da política ótima de operação aumenta o tempo de processamento e na maioria dos casos não traz benefícios significativos aos resultados do estudo.
No. de Anos Adicionais	Este dado é utilizado no cálculo da política operativa para representar as condições finais dos reservatórios. Por exemplo, um estudo de dois anos (104 etapas semanais) com dois anos adicionais é representado como um estudo com quatro etapas (208 etapas semanais). A demanda em cada etapa dos anos 3 e 4 é igual à demanda da mesma etapa no último ano do estudo "oficial" - neste caso, o segundo ano.
Repetir dados cronológicos do último ano. No caso da manutenção, usar IH	O SDDP repetirá os dados cronológicos do último ano do estudo para os anos adicionais. Para as manutenções, o modelo usará o fator de indisponibilidade histórica IH para os anos adicionais.

Usar dados cronológicos dos anos adicionais para todas as restrições cronológicas	O SDDP considerará os dados cronológicos definidos explicitamente pelo usuário para os anos adicionais. O usuário fica obrigado a definir todos os dados cronológicos para os anos adicionais.
Incluir anos adicionais na simulação final	O programa SDDP assume por opção default não incluir os anos adicionais na simulação final. O usuário pode estender a simulação final pelos anos adicionais selecionando esta opção.

21.2.2 Estágio

Semanal	Os estágios do estudo possuem intervalos semanais.
Mensal	Os estágios do estudo possuem intervalos mensais.

21.2.3 Configuração

Estática	Não há modificações de dados ao longo do período de planejamento.
Dinâmica	Há modificações nos dados ao longo do período de planejamento.

21.2.4 Manutenção

Média	Usa IH (%) dos dados de configuração hidroelétrica/térmica.
Programada	Usa o cronograma de manutenção para os anos em que este for definido pelo usuário. Para os demais, usa o IH (%).

21.2.5 Incerteza na demanda

Demanda fixa	Não considera incerteza na demanda.
Demanda variável com distribuição normal na simulação final	Considera na simulação final (somente) a incerteza na demanda com sorteio a partir de uma distribuição normal com média e coeficiente de variação (razão entre o desvio padrão e a média) definidos pelo usuário. O sorteio da demanda é independente ao longo do tempo. Durante a política operativa o modelo não considerará incerteza na demanda.
Demanda variável com distribuição normal na política e simulação final	Considera na simulação final e na política operativa a incerteza na demanda com sorteio a partir de uma distribuição normal com média e coeficiente de variação (razão entre o desvio padrão e a média) definidos pelo usuário. O sorteio da demanda é independente ao longo do tempo.

21.3 Modelo de Rede

21.3.1 Rede de transmissão

Nesta tela deve-se especificar qual o tipo modelo da rede de transmissão:

Sem rede ou somente com Interconexões	Representa os limites de intercâmbio entre subsistemas no caso de um estudo com mais de um sistema ou sem restrição de transmissão no caso de um estudo de um sistema isolado.
Fluxo DC	Representa a rede de transmissão como um modelo linearizado de fluxo nos circuitos.

Se o usuário selecionar a segunda opção, i.e. Fluxo DC, as seguintes opções de execução ficam disponíveis:

Corte de Carga nas Barras	Permite escolher as barras que são candidatas a corte de carga. Cabe observar que adicionar uma variável de corte de carga por barra de demanda para cada patamar pode implicar num aumento significativo do tamanho do problema; por outro lado, adicionar variáveis de corte de carga somente no subconjunto de barras selecionadas na tela de configuração de barras, pode causar inviabilidade no problema.
Monitoramento de limite de fluxo	Permite escolher os circuitos do sistema que terão seus limites monitorados. Ao optar pela segunda opção, o modelo irá monitorar os limites dos circuitos selecionados na tela de configuração de circuitos.
Opções de representação das perdas	As perdas são representadas de maneira explícita na simulação final. No entanto, o SDDP permite uma representação aproximada das perdas na política, que consiste em iniciar a política sem perdas, calcular as perdas associadas aos fluxos nos circuitos na terceira iteração da política e continuar com o cálculo da política operativa, com estas perdas somadas à demanda. Existem dois parâmetros associados: <ul style="list-style-type: none"> • Iteração para cálculo de aproximação de perdas fixas na política (valor recomendado: 3) • Número máximo de micro-iterações de perdas na simulação final (valor recomendado: 6)

21.3.1.1 Detalhes do modelo de perdas na simulação final.

No SDDP, o modelo utilizado para representar a rede de transmissão está baseado numa formulação compacta (ver manual de metodologia), onde os fluxos não são representados explicitamente no problema, e se utiliza um esquema de relaxação para incluir os circuitos violados mediante restrições que utilizam as linhas da matriz β (que representa a sensibilidade

dos fluxos com relação a variações na injeção de potência - geração ou demanda). Para a representação das perdas, este modelo não é adequado e foi adotada uma formulação onde as perdas possam ser representadas explicitamente:

$$\begin{aligned} & \text{Min } c'g \\ & \text{sujeito a:} \\ & B\theta + g - 1/2|S|p = d \\ & -\bar{f} \leq \gamma S' \theta \leq \bar{f} \\ & p_j \geq \hat{p}_j^k + 2r_j \hat{f}_j^k (\gamma_j \Delta \theta_j - \hat{f}_j^k) \quad \forall j = 1, \dots, M; \forall k = 1, \dots, K \end{aligned}$$

Onde $B = \gamma S'$. Este modelo tem mais variáveis que o modelo compacto, pois representa explicitamente os ângulos nodais e as perdas por circuito como variáveis do problema. Por outro lado, as restrições têm uma estrutura esparsa.

21.3.1.2 Estratégias de solução

Para a solução deste problema, foi adotada uma estratégia de relaxação, descrita a seguir.

Inicialmente o problema é resolvido sem considerar as restrições de limite de fluxo nem as linearizações de perdas. Depois de resolvido o problema, os fluxos são calculados como $f = \gamma S' \theta$ e se verifica se há circuitos cujos fluxos são maiores que as respectivas capacidades. Nesse caso, estas restrições são adicionadas ao problema e ele é resolvido novamente, e esta verificação é repetida até que todos os circuitos estejam operando dentro de suas capacidades.

A seguir, calculam-se as perdas nos circuitos no ponto de operação obtido na solução problema anterior. Na primeira iteração de perdas, são adicionadas linearizações da perda em todos os circuitos cuja perda quadrática seja maior que uma dada tolerância (critério 1 = 10^{-2} MW). Com estas restrições adicionadas, o problema é resolvido novamente, sendo que agora existe uma variável de perdas por circuito que deve atender a restrição dada pela linearização das perdas. A partir da segunda iteração, se verifica quais os circuitos que atendem cada um dos seguintes critérios: (a) a perda quadrática é maior que uma dada tolerância (critério 1 = 10^{-2} MW), (b) a diferença absoluta entre a perda quadrática e a perda linear aproximada é maior que uma dada tolerância (critério 2 = 10^{-1} MW), (c) a diferença percentual entre a perda quadrática e a perda linear aproximada é maior que uma dada tolerância (critério 3 = 2.5%). Para estes circuitos, duas linearizações são adicionadas: uma no ponto dado pelo fluxo f_j e outra no ponto $-f_j$.

O número máximo de iterações para adição de linearizações sugerido é de 6, mas pode ser alterado pelo usuário. A ideia de adicionar duas linearizações a partir da segunda iteração se deve a que se observou que em alguns poucos casos o fluxo se inverte, dado que na formulação relaxada, a perda é vista como zero no outro sentido do fluxo. Observa-se que o número de linearizações adicionadas a partir da segunda iteração é bastante reduzido em comparação ao número total de circuitos e também que nos patamares de demanda alta uma única linearização é suficiente, dado que o despacho não tem muitos graus de liberdade.

Foi adicionada uma estratégia para os casos onde, devido a custo marginal negativo, as perdas em alguns circuitos eram aumentadas artificialmente, “descolando” das linearizações. Quando um caso destes é detectado, uma penalidade de \$1/MWh é definida para as perdas. Esta penalidade pode ser aumentada iterativamente até que as perdas não sejam utilizadas para aumentar artificialmente a demanda. Depois de obtida a solução, as perdas são fixadas nos valores obtidos, as penalidades são retiradas e é feito um *restart* primal, a partir da base primal viável, para o cálculo correto dos custos marginais.

Adicionalmente, foi implementado um esquema para o tratamento dos reservatórios com vertimento não controlável, quando modelado com penalidades. Estas penalidades são consideradas no problema nas primeiras micro-iterações (sem perdas, adição de cortes da FCF, adição de restrições de limite de fluxo nos circuitos violados). Antes de iniciar a primeira micro-iteração de perdas (adição de linearizações), as penalidades são retiradas e as variáveis de volume final e vertimento são fixadas com o seguinte critério: se o reservatório está vertendo, o volume é fixado no volume máximo; se o reservatório não está vertendo, o vertimento é fixado em zero.

Finalmente, uma estratégia similar é utilizada para todas as restrições modeladas com variáveis inteiras, isto é, estas são consideradas no modelo nas primeiras micro-iterações e fixadas na primeira micro-iteração de perdas.

21.3.2 Rede de gás

Nesta seção, se permite escolher entre as seguintes opções:

- Não representas a rede de gás
- Representar a rede de gás onde os custos para as usinas térmicas conectadas a rede de gás correspondem aos custos das térmicas
- Representar a rede de gás onde os custos para as usinas térmicas conectadas à rede de gás correspondem aos custos de produção dos nós de gás

21.4 Parâmetros econômicos

21.4.1 Unidade monetária

Unidade monetária na qual são especificadas a penalidade por violação de defluência mínima, a penalidade de vertimento e os custos de energia não suprida.

21.4.2 Taxa de desconto

Representa a taxa de desconto anual que será usada para levar os valores de custos de etapas distintas para o mesmo horizonte financeiro. A unidade da taxa de desconto é p.u.

21.4.3 Fatores de penalização

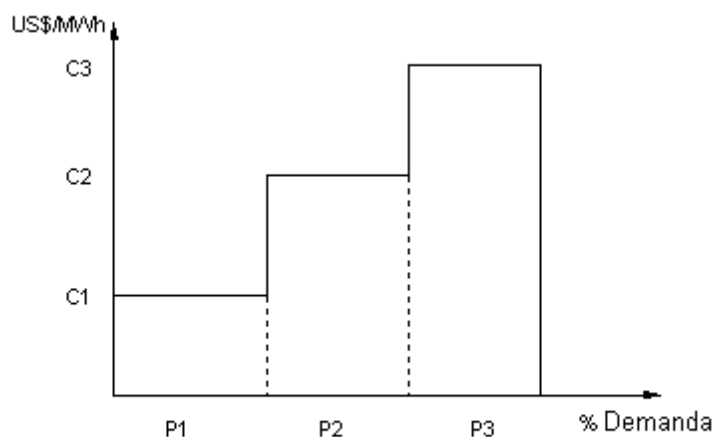
Existem três tipos de fatores de penalização:

- Violação de defluência mínima (k\$/hm³)
- Vertimento (k\$/hm³) - esta penalização geralmente é um valor pequeno; seu objetivo é evitar vertimentos dispensáveis quando o custo futuro for zero, isto é, em situações de

vazões / armazenamentos altos. A penalização se aplica a todas as usinas. No entanto, o SDDP dá prioridade ao valor especificado no campo [custo de vertimento](#).

21.4.4 Custo de racionamento de energia

É representado por uma função linear por partes, como mostra a figura seguinte:



Os segmentos são representados em % da demanda de cada sistema. Os custos incrementais de cada segmento estão expressos em US\$/MWh. Os custos incrementais devem ser não decrescentes.

21.5 Sistemas e modo operativo

Define a política de intercâmbio de potência entre subsistemas. Existem três possibilidades:

Autônomo	A atividade se aplica a um único sistema.
Coordenado	A política operativa é calculada de maneira isolada para cada sistema. Na simulação final são considerados os intercâmbios econômicos com os sistemas vizinhos.
Integrado	A operação dos sistemas é otimizada conjuntamente.

21.6 Saídas em planilhas

Define os arquivos de saída na fase de simulação final. Selecione as planilhas de interesse marcando a primeira coluna na tabela na interface gráfica.

21.7 Estratégias de solução

21.7.1 Funções de custo futuro (FCFs) e opções de “restart”

Trata da iniciação do algoritmo do SDDP utilizando informações geradas externamente tais como funções de custo futuro - FCFs e estados iniciais. As opções são:

- ler e criar um FCF terminal
- “restart”

21.7.2 Ler e escrever uma FCF terminal

A FCF é responsável pelo enlace entre as consequências imediatas de uma decisão operativa (i.e. redução dos custos operativos térmicos da etapa atual pelo aumento da geração hidroelétrica) e suas consequências futuras (aumento dos custos operativos térmicos futuros devido à redução do volume armazenado ao final da etapa).

Em especial, a FCF terminal proporciona um enlace dos estudos de diferentes horizontes e níveis de detalhe. Por exemplo, suponha que a política operativa tenha sido calculada para um período de três anos, em etapas mensais. Suponha agora que se deseja analisar o primeiro ano em mais detalhe, usando etapas semanais. Pode-se utilizar a FCF associada à etapa 12 do estudo de mais longo prazo como a FCF Terminal do estudo de menor prazo (associada à semana 52).

Neste caso, o estudo de maior prazo seria executado primeiro, e ativaria a opção de escrever um arquivo com a FCF associada à etapa #12 - final do primeiro ano.

Posteriormente se executaria o estudo de menor prazo, com a opção de ler este arquivo como uma FCF Terminal, isto é, associada à etapa semanal #52.

21.7.3 Restart

Como foi descrito no manual de metodologia, o algoritmo PDD se baseia na construção iterativa de uma superfície linear por partes ao redor de estados do sistema (níveis de armazenamento dos reservatórios) selecionados.

As FCFs lineares por partes são geradas no passo backward do algoritmo, sendo escritas automaticamente em um arquivo. Como consequência, pode-se iniciar o algoritmo (ou reiniciar) lendo um arquivo FCF gerado em um estudo anterior. Esta opção é utilizada para controlar o esforço computacional do algoritmo PDD. Por exemplo, seria possível começar com um número pequeno de iterações para obter uma visão inicial da operação do sistema, e depois reiniciar o algoritmo.

O programa trabalha internamente com arquivos de FCF e volume durante o processo iterativo (WRK). Os arquivos com extensão PSR guardam a construção da FCF e armazenamentos para as últimas iterações completas, onde definimos como uma iteração completa um processo *backward* seguido de um processo *forward*. Desta maneira é sempre possível reinicializar o programa quando, por algum motivo externo como falta de energia, falta de espaço em disco, etc., a execução do programa for interrompida.

Todo restart inicia o processo iterativo com uma recursão *backward*, pré-assumindo a existência dos arquivos de função de custo futuro e volumes iniciais.

O arquivo COSTYYXX.PSR, onde YY é SE ME o estudo é mensal ou SE, se o estudo é semanal e XX é o identificador do sistema, contém os cortes ou hiperplanos de suporte da função de custo futuro para cada etapa do estudo. Cada corte é composto por um termo independente e

coeficientes para as variáveis de volume final dos reservatórios e para as vazões anteriores (até ordem p) das usinas hidroelétricas.

O arquivo VINPOL.PSR, gerado durante a fase *forward*, guarda os volumes iniciais para cada reservatório, para cada cenário hidrológico e para cada etapa do estudo da última iteração completa da política operativa.

Ao selecionar esta opção de *restart*, o usuário deve certificar-se de que nenhuma nova usina tenha sido adicionada à configuração hidroelétrica.

21.7.4 Despacho comercial

A seleção desta opção permite realizar uma simulação separada onde os volumes iniciais em cada etapa são lidos do arquivo externo VINSIM.PSR gerados na simulação final de um estudo prévio.

21.7.5 Vertimento não controlável

O vertimento não controlável pode ser representado de acordo com uma das seguintes metodologias:

- Com penalidades: os vertimentos, para as usinas com vertimento não controlável, são altamente penalizados na função objetivo para evitar vertimentos quando o reservatório se encontra abaixo do seu armazenamento máximo.
- Com variáveis inteiras: utilizam-se variáveis inteiras para garantir que o vertimento nestas usinas só ocorre quando seu armazenamento encontrar-se no máximo (não há penalizações de vertimento na função objetivo).

21.7.6 Volumes iniciais para o primeiro estágio

Esta opção permite ao usuário selecionar de onde será lida a condição inicial para os volumes dos reservatórios hidro para o primeiro estágio do horizonte. Para esta opção existem duas possibilidades:

- A partir dos dados de configuração hidroelétrica.
- A partir de um arquivo externo contendo os volumes iniciais de cada usina e para cada série hidrológica.

Se o usuário selecionar a segunda opção, o SDDP passa a exigir a existência do arquivo externo de volumes iniciais, chamado VOLINI.DAT (ver descrição do formato no Manual de Arquivos). Este arquivo é obtido através do botão da interface que realiza a importação a partir de um arquivo em formato CSV. A existência ou inexistência do arquivo externo de volumes iniciais é indicada a partir de uma mensagem mostrada pela interface. Além disso, este arquivo pode ser editado pelo aplicativo Excel utilizando o botão da interface que abre este arquivo. O usuário, entretanto, deve tomar cuidado ao salvar para não alterar o nome e o formato deste arquivo.

21.7.7 Volumes iniciais para a primeira backward

Esta opção permite ao usuário selecionar como uma estratégia de solução a leitura de volumes iniciais para todos os estágios na primeira recursão backward. Para esta opção existem duas possibilidades:

- A partir da discretização do volume do reservatório de cada usina.
- A partir de um arquivo externo contendo os volumes iniciais de cada usina e para cada estágio e série hidrológica.

Com a opção de leitura de volumes iniciais a partir de um arquivo externo o usuário permite a construção de segmentos da função de custo futuro ao redor de pontos (nível de reservatório) mais interessantes e/ou prováveis, o que pode acelerar o processo de convergência. O usuário pode utilizar em uma nova rodada os volumes iniciais obtidos como saída de uma rodada anterior, selecionando como arquivo para importação dos dados, o arquivo VOLINI.CSV que é um arquivo de saída gerado pelo próprio programa SDDP.

21.7.8 Vazões iniciais (condição inicial de hidrologia)

Esta opção permite ao usuário selecionar de onde será lida a condição inicial das vazões das usinas hidro para os seis estágios anteriores ao início do horizonte. Para esta opção existem duas possibilidades:

- A partir do histórico de vazões.
- A partir de um arquivo externo contendo as vazões iniciais de cada usina e para cada série hidrológica.

Se o usuário selecionar a segunda opção, o SDDP passa a exigir a existência do arquivo externo de vazões iniciais, chamado INFLOW.DAT (ver descrição do formato no Manual de Arquivos). Este arquivo é obtido através do botão da interface que realiza a importação a partir de um arquivo em formato CSV. A existência ou inexistência do arquivo externo de vazões iniciais é indicada a partir de uma mensagem mostrada pela interface. Além disso, este arquivo pode ser editado pelo aplicativo Excel utilizando o botão da interface que abre este arquivo. O usuário, entretanto, deve tomar cuidado ao salvar para não alterar o nome e o formato deste arquivo.

21.7.9 Representação de não-convexidades na política

Durante a fase forward do algoritmo SDDP, é possível representar em detalhe funções não convexas, tais como fatores de produção variáveis de hidroelétricas e decisões operativas binárias, tais como o *unit commitment* de unidades geradoras térmicas utilizando técnicas de programação matemática, tais como a Programação Linear Inteira Mista (MIP). Entretanto, a flexibilidade de modelagem é mais limitada na fase backward - que calcula a função de custo futuro (FCF) - porque é necessário garantir a convexidade da FCF.

Se o usuário ativar a opção “Representação de não-convexidades na política” na tela “Opções de execução > Despacho econômico > Estratégia de solução”, ele terá de definir a iteração a partir da qual, as fases forward contemplarão não convexidades. A ideia é aplicar a relaxação linear em todas as fases forward e backward antes desta iteração definida pelo usuário, e a

partir desta, representar as não convexidades na fase forward e continuar com a relação linear durante as fases backward.

O objetivo desta opção é fazer com que os pontos interessantes de armazenamento encontrados nas fases forward da política sejam aderentes aos que serão visitados durante a simulação final. Como estes pontos interessantes são utilizados para a adição de cortes, i.e., para aproximar a FCF na recursão backward da política, o objetivo é que a FCF esteja bem aproximada ao redor destes pontos, que conforme foi dito anteriormente, são aderentes aos que serão visitados na simulação final.

21.8 Análise de sensibilidade

A tela de sensibilidade permite que os seguintes dados sejam multiplicados por fatores informados pelo usuário:

- Demanda de subsistemas selecionados
- Indisponibilidade de curto prazo - ICP (%) de usinas térmicas selecionadas
- Vazões laterais afluentes às estações hidrológicas
- Custos de combustível de sistemas selecionados

Existem duas opções: fatores de sensibilidade implícitos – que se aplicam a todo o conjunto de dados – e fatores de sensibilidade explícitos – que apenas se aplicam aos dados selecionados. No caso dos dois existirem simultaneamente, o fator de sensibilidade explícito se sobrepõe ao implícito.

O objetivo desta função é alterar alguns dados relevantes do sistema em tempo de execução preservando-se os dados originais como especificados pelo usuário.

21.9 Curva de Aversão a Risco (CAR)

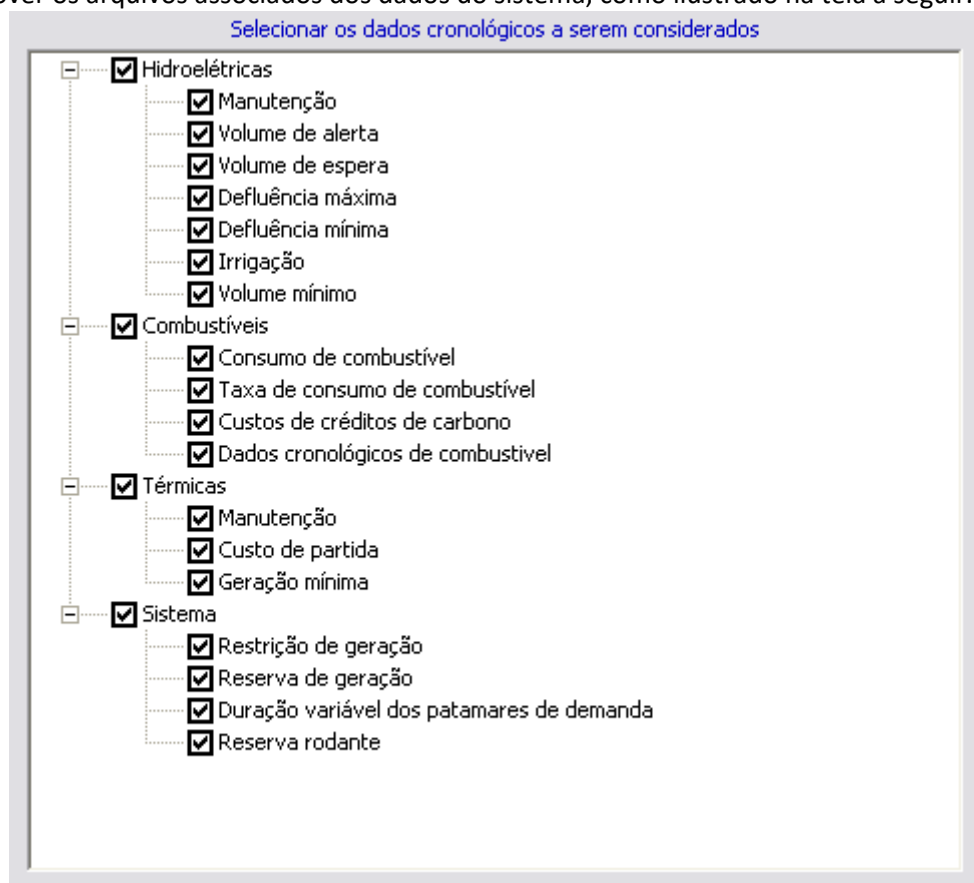
Esta tela permite selecionar as opções de execução para a representação da CAR. Mais especificamente:

Aversão a risco	<p>Não considera: os dados da curva de aversão a risco, caso existam, serão desconsiderados.</p> <p>Política operativa e simulação final: representa a CAR na política operativa e na simulação final.</p> <p>Somente na simulação final: representa a CAR somente na simulação final.</p>
Tipo de penalização	<p>Fixa: considera uma penalização fixa, informada pelo usuário.</p> <p>Reduzida (1ª. série backward): determina a penalização reduzida para cada serie forward (na fase Forward) e para a primeira abertura backward de cada série forward (na recursão Backward). Para as aberturas restantes se considera que a penalização da primeira abertura é uma boa</p>

	<p>aproximação e a utiliza com o objetivo de reduzir o tempo de processamento.</p> <p>Reduzida (todas as séries): determina a penalização reduzida para cada serie forward e para cada abertura da recursão backward.</p>
Fator de produção	<p>Tabela fator de produção x volume: define que será utilizado o fator de produção resultado da interpolação da tabela fator de produção x volume para o cálculo da energia armazenada para a representação da CAR.</p> <p>Forward: função do PCV / Backward: média: define que será utilizado, para o cálculo da energia armazenada para representação da CAR, o fator de produção resultado da integral do PCV na fase Forward e o fator de produção médio (dados de configuração) na recursão Backward.</p> <p>Função do PCV: define que será utilizado o fator de produção resultado da integral do PCV, tanto na fase Forward como na recursão Backward, para cálculo da energia armazenada para representação da CAR.</p>

21.10 Dados cronológicos

Esta opção permite desativar um conjunto de dados cronológicos sem a necessidade de remover os arquivos associados dos dados do sistema, como ilustrado na tela a seguir.



22 REPRESENTAÇÃO HORÁRIA

22.1 Introdução

SDDP representa o processo de tomada de decisão operativa (geração de cada usina, interconexão entre regiões, fluxo nos circuitos, etc.) em dois níveis de detalhe. No primeiro, as decisões operativas são periodicamente atualizadas com objetivo de incorporar valores previamente observados, como por exemplo os níveis de armazenamento dos reservatórios. As novas decisões operativas, determinadas em um segundo nível, são calculadas por meio da solução de um problema de otimização estocástico que busca equilibrar o benefício de: (i) utilizar, nesta etapa, os recursos disponíveis nos dispositivos de armazenamento (tipicamente hidroelétricas com reservatório, reservatórios de combustível, baterias, limites de emissão e alguns tipos de contratos) reduzindo, então, o *custo imediato*; e (ii) manter os reservatórios cheios, reduzindo então, o *valor esperado do custo futuro*, (o valor esperado é proveniente das incertezas sobre a hidrologia futura, cenários de vento, perfis de consumo, disponibilidade de equipamentos, etc.). O primeiro nível da tomada de decisões operativas está diretamente relacionado à presença de dispositivos de armazenamento que criam um *acoplamento temporal* entre as etapas, de forma que as decisões operativas tomadas hoje podem impactar a operação de médio e longo prazo, afetando assim os custos operativos futuros.

Na versão atual do SDDP é possível escolher se a tomada de decisão operativa é feita para períodos semanais ou mensais (também chamados de etapas). A escolha do tipo de decisão a ser utilizada depende de diversos fatores, como por exemplo, capacidade de regularização dos reservatórios, disponibilidade de dados históricos a serem ajustados por modelos estocásticos de vazão e ainda pré-requisitos regulatórios³. Além disso, o esforço computacional cresce linearmente com o número de etapas e, portanto, é impactado pelo tipo de decisão do estudo (semanal ou mensal).

O segundo nível de detalhamento refere-se ao cálculo do custo imediato em cada etapa. A representação menos detalhada (e mais rápida) corresponderia a calcular o custo imediato considerando o valor médio dos dados de entrada (demanda por hora, cenários de geração eólica, hidrologia, etc). Entretanto, o custo da geração térmica varia de forma não linear com a demanda, uma vez que o despacho das usinas térmicas é feito na ordem crescente de custo operativo (por exemplo, a capacidade de geração de usinas a gás natural, mais baratas, é usada antes das térmicas a petróleo, que são mais caras). Em virtude da não linearidade, os custos térmicos de atendimento à demanda média são inferiores aos custos resultantes de, por exemplo, atender a demanda representada em blocos de horas com perfis semelhantes (como consumo de ponta e período de consumo fora de ponta).

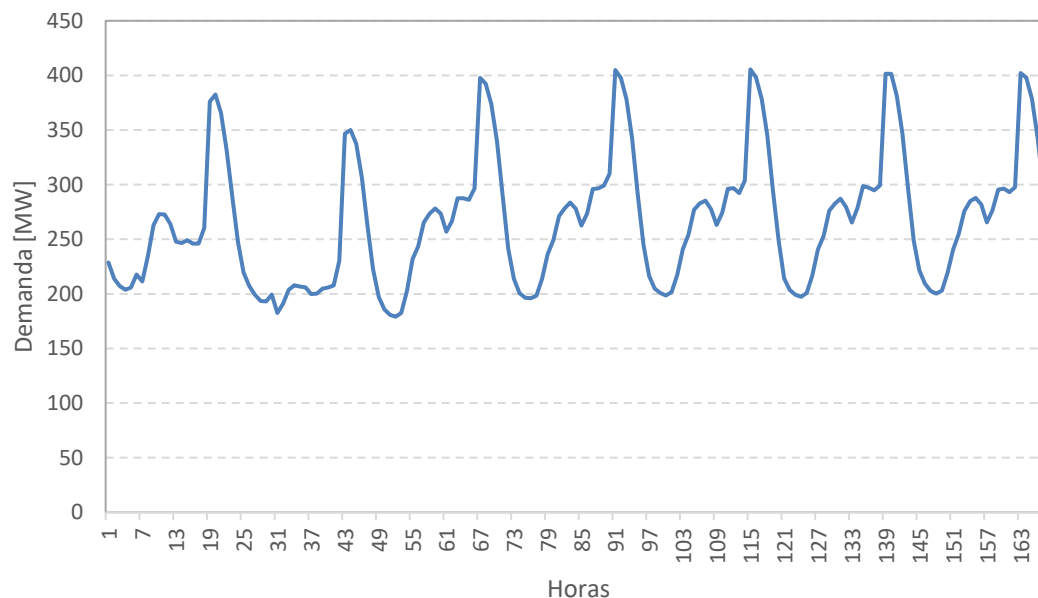
Até a última versão do SDDP, o usuário poderia representar as diferentes condições operativas ao longo de cada estágio (semanal ou mensal), agregando as horas em até 21 grupos, “*clusters*”, ou blocos de horas (que em casos semanais resultam em até 3 blocos por dia). A representação em blocos permite representar, de forma aproximada, as não linearidades do

³ Por exemplo, etapas mensais são adequadas para o Brasil uma vez que os reservatórios possuem elevada capacidade de regularização. Entretanto, a regulação determina que os preços do mercado de energia devem ser calculados semanalmente.

problema. A curva obtida pela agregação das condições operativas, em blocos de horas não cronológicas, é também conhecida como curva de duração de carga.

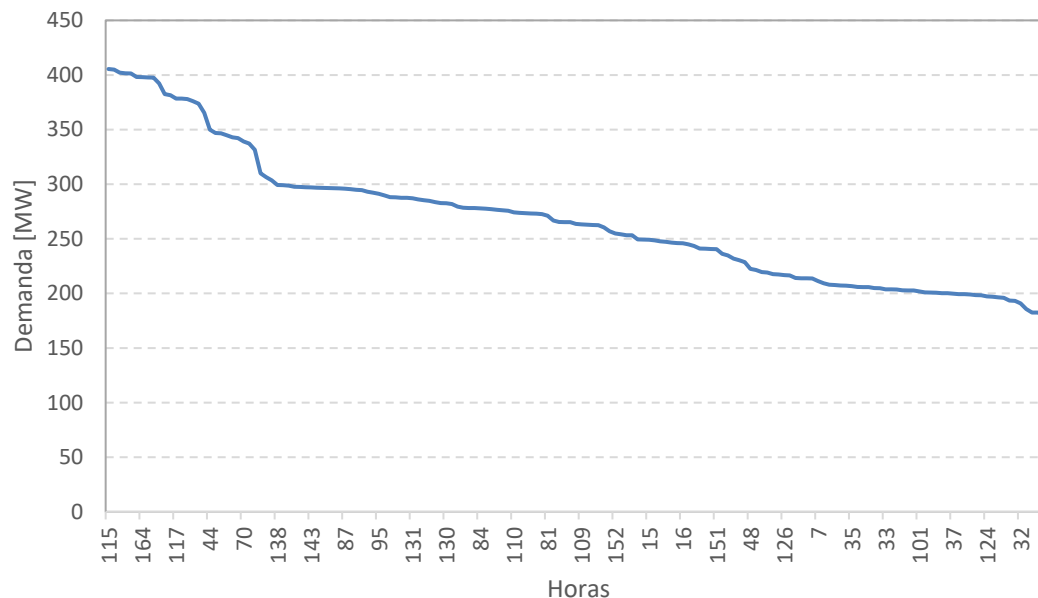
22.1.1 Representação por blocos

O procedimento para a criação dos blocos será ilustrado a seguir, para uma representação em etapas semanais. O objetivo deste exemplo é representar a demanda em blocos, embora a mesma metodologia possa ser aplicada a qualquer dado com resolução horária. O procedimento inicialmente considera os dados cronológicos de demanda por hora, ilustrados na figura a seguir.

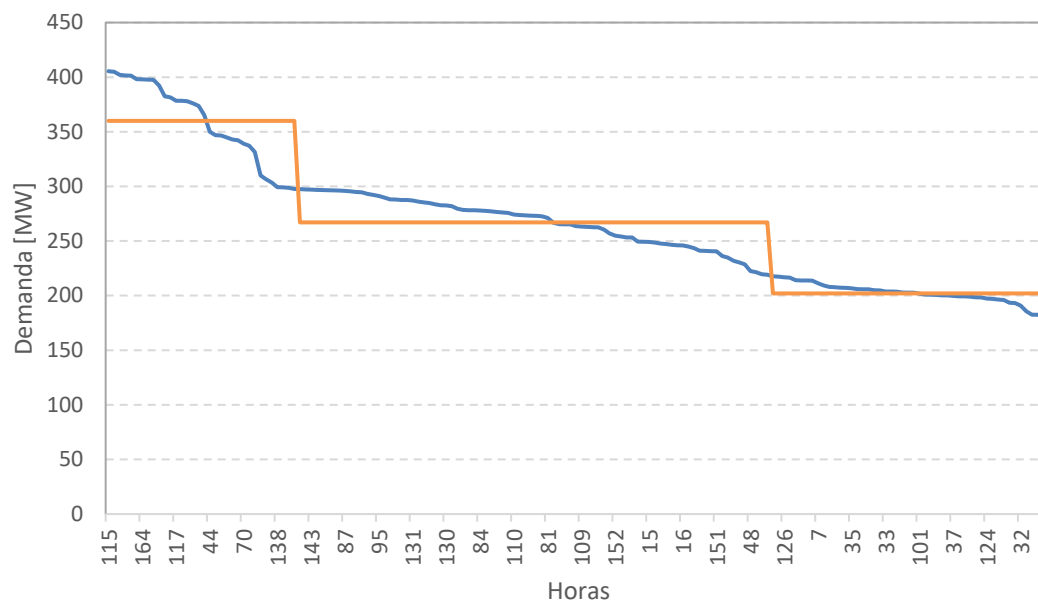


Observa-se que os dados horários possuem sete “ciclos”, que correspondem aos dias da semana. Também se observa que os dois primeiros ciclos são diferentes (e com menor demanda) dos demais, já que correspondem a sábado e domingo (se houvesse feriado no meio da semana, teria um perfil diário semelhante ao de domingo).

O próximo passo é ordenar os valores de demanda de 168 horas em ordem decrescente como mostrado na figura a seguir.



A curva de demanda não cronológica em ordem decrescente é também conhecida como *Curva de Duração de Carga*. Ordenar os valores facilita agregar os perfis de consumo com características semelhantes em blocos, como ilustrado na figura a seguir:



Em geral, o procedimento de ajuste da curva de demanda por blocos objetiva minimizar a soma das diferenças (absolutas ou quadráticas) entre a demanda média de cada bloco e os dados horários. Além disso, é importante que a quantidade total de energia na etapa seja preservada. No exemplo acima, isso significa que a média da demanda (em MW) de cada bloco multiplicada pela respectiva duração (em horas) deve ser igual à soma (em MWh) dos 168 valores de demanda por hora.

Em casos mais complexos, os blocos geralmente são construídos com base em algoritmos multivariados de clusterização, como o *k-means*. Esta abordagem pode ser importante, por

exemplo, em casos com dois países, com diferentes padrões de demanda ou sistemas com forte penetração de geração renovável.

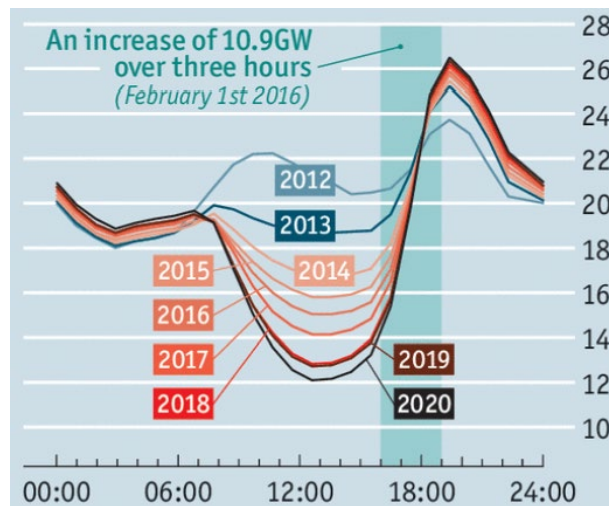
Destaca-se ainda que quanto maior o número de blocos, melhor será a representação da curva de carga. A escolha do número de blocos depende, basicamente, da relação entre a precisão desejada e o esforço computacional (que aumenta de forma não linear com o número de blocos).

22.1.2 Motivação: representação da geração eólica e de outras fontes de geração renováveis intermitentes

A crescente competitividade econômica das fontes de geração de energia eólica, biomassa e solar tem atraído grande atenção em todo o mundo. Esses recursos energéticos não só reduzem as emissões de gases de efeito estufa, mas também reduzem a vulnerabilidade dos países relativa à importação de combustíveis fósseis (em particular, petróleo e gás natural).

No entanto, a rápida penetração dessas novas fontes também provocou algumas preocupações, tanto para os planejadores, como para os operadores, por duas razões principais: (i) a maioria dessas fontes não é despachável, ou seja, a geração de energia não pode ser controlada pelo operador do sistema; e (ii) sua produção de energia apresenta elevada volatilidade, ou seja, a produção pode mudar significativamente de uma hora para outra.

Para exemplificar os desafios dos operadores de sistemas com a alta penetração de fontes renováveis intermitentes, a figura a seguir ilustra curvas da demanda líquida da Califórnia (demanda menos geração renovável-intermitente) no passado e projetada para o futuro:



Como pode ser visto, a penetração de fontes renováveis intermitentes causa impactos representativos no perfil de demanda líquida. Destacam-se as maiores inclinações nas rampas de demanda líquida com maior penetração de fontes de geração renovável. Esses impactos levam a novos desafios operativos no sistema, dentre os quais destacam-se:

- **Excesso de geração:** períodos em que a geração renovável é maior que a demanda a ser atendida (isto ocorre, especialmente, durante a noite em regiões com fortes ventos noturnos);

- **Rampas acentuadas (para cima e para baixo):** as usinas despacháveis devem ter a capacidade de responder rapidamente ao aumento e à diminuição da geração renovável intermitente para manter a confiabilidade no suprimento de energia e a estabilidade do sistema;
- **Aumento do número de ciclos térmicos:** possível aumento no número de partidas e desligamentos de usinas térmicas no sistema devido à intermitência de geração renovável.

Devido a estas razões, surgiu o interesse por uma representação mais detalhada da operação do sistema em cada etapa. Para atender este interesse, a nova versão do SDDP permite o uso de uma representação cronológica e horária para a operação de cada etapa.

22.1.3 Representação Horária

Quando a representação horária está ativada, os problemas de otimização serão definidos explicitamente com resolução horária. Isso significa que o número de variáveis e restrições são proporcionais ao número de horas em cada estágio. Essa representação pode aumentar significativamente o esforço computacional necessário para a solução dos problemas de otimização com a granularidade horária, se comparado com a representação por blocos em cada estágio. Além disso, o tamanho e quantidade dos resultados também cresce significativamente. Portanto, sugere-se que o usuário verifique se há necessidade de aumentar a granularidade da solução do problema, com base nos objetivos e efeitos que deseja capturar na execução do modelo.

22.2 Primeiros passos

22.2.1 Definição dos dados

Em teoria, seria possível permitir que todos os dados de entrada fossem definidos com resolução horária, para todo o horizonte de estudo. No entanto, o SDDP é uma ferramenta de despacho a médio e longo prazos e, então, a maioria dos dados não varia com frequência e, portanto, a representação dos dados com granularidade semanal ou mensal é adequada. Mesmo no caso de dados com variações mais frequentes, é possível identificar padrões de perfis de variação em um estágio. Portanto, a representação horária de todos os dados, além de ser desnecessária, exigiria um grande volume de dados de entrada que poderiam não estar disponíveis.

Assim, adotou-se uma abordagem mais flexível, de forma que poucos dados de entrada adicionais são necessários para obter resultados com representação horária⁴. Por meio da tabela de mapeamento hora-bloco, descrita abaixo, é possível recriar a cronologia de cada etapa, associando os valores dos blocos às horas correspondentes. Dessa forma, tem-se uma

⁴ Além da vantagem de permitir o uso dos dados já existentes do SDDP como ponto de partida para execuções horárias, em geral, os dados detalhados de restrições cronológicas adicionais não estão disponíveis para horizontes de médio e longo prazo, diferentemente do conjunto de dados disponíveis para o modelo operacional detalhado de curto prazo (NCP).

abordagem flexível pois, permite que uma base de dados SDDP já existente seja facilmente utilizada como ponto de partida para obter resultados com detalhamento horário. Além disso, vale ressaltar que o modelo pode considerar, para alguns dados mais relevantes, dados de entrada horários (como demanda horária, cenários de geração renovável intermitentes, etc.), que serão utilizados em vez dos dados definidos por blocos.

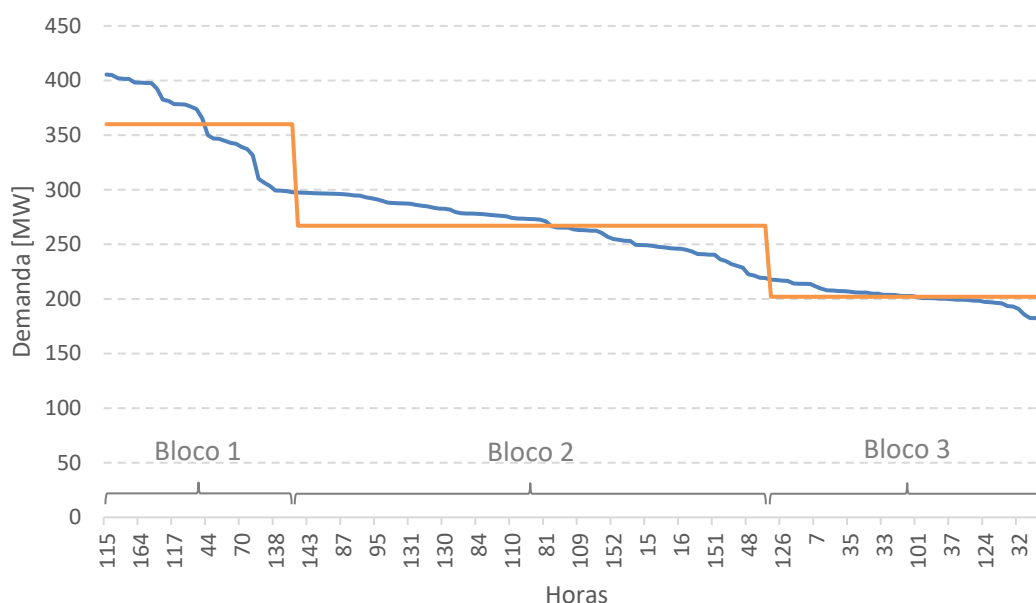
Neste contexto, os dados por bloco são tratados como sendo diferentes configurações dos dados (ou *clusters*) em cada etapa. Em outras palavras, até 21 conjuntos de dados diferentes podem ser definidos para cada estágio e esses dados serão usados para recriar automaticamente a representação cronológica por hora em cada etapa, uma vez que um mapeamento hora-bloco seja definido.

22.2.2 Mapeamento hora-bloco

O [processo de criação da curva de demanda por blocos](#), também conhecido como *clusterização*, gera dois resultados diretos:

- Demanda média por bloco e,
- Duração de cada bloco (em horas).

Além disso, um subproduto do processo de agrupamento é a associação, ou mapeamento, entre as horas e os blocos, conforme mostrado na figura a seguir.



Então, também é possível extrair deste processo uma tabela de correspondência, como exemplificado abaixo:

DIA	HORA											
	00h	01h	02h	03h	04h	...	18h	19h	20h	21h	22h	23h
1	2	3	3	3	3	...	1	1	1	1	2	2
2	2	3	3	3	3	...	1	1	1	1	2	2
3	3	3	3	3	3	...	1	1	1	1	2	2
4	3	3	3	3	3	...	1	1	1	1	2	2
5	3	3	3	3	3	...	1	1	1	1	2	2

6	3	3	3	3	3	...	1	1	1	1	2	2
7	2	3	3	3	3	...	1	1	1	1	2	2

Nesta tabela, é indicado para cada hora da semana o bloco correspondente.

22.2.2.1 Cálculo da duração dos blocos a partir da tabela de mapeamento hora bloco

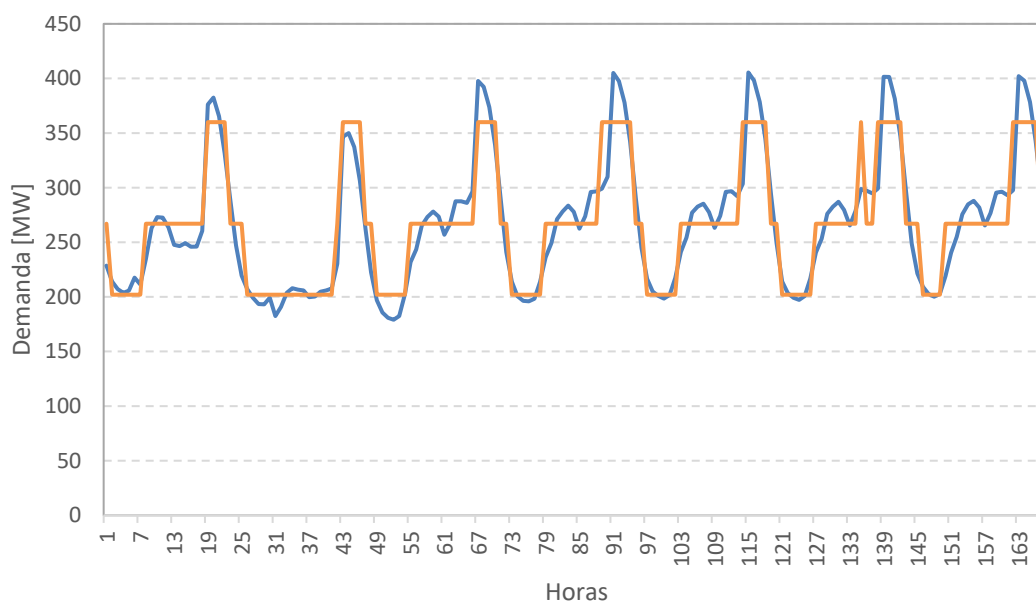
A tabela de mapeamento hora bloco também define implicitamente a duração dos blocos em cada semana / mês. A duração de cada bloco é calculada contando o número de horas associadas a cada bloco. Portanto, quando os dados de mapeamento hora-bloco são utilizados, os dados originais de duração fixa e duração variável dos blocos são desconsiderados.

22.2.3 Criando séries de dados horários a partir do mapeamento hora bloco

Suponha, inicialmente, que os dados do mapeamento hora-bloco sejam informados, conforme indicado na tabela anterior, e os dados de demanda sejam por bloco, conforme mostrado na tabela abaixo:

Bloco	Duração (horas)	Demanda (GWh)	Demanda (MW)
1	34	12.2	360
2	84	22.4	267
3	50	10.1	202

Com base nessas informações, o SDDP irá transformar automaticamente os dados de entrada para recriar uma aproximação horária desses dados, conforme mostrado na figura abaixo. Daqui em diante os valores para cada hora, obtidos a partir desta série de dados horários, serão utilizados como dados de entrada para o problema de otimização, que será resolvido por estágio.



Como mencionado anteriormente, a qualidade da aproximação está relacionada à definição dos blocos e ao esforço computacional envolvido no processo de solução.

O procedimento descrito acima é aplicado a todos os dados de entrada que variam por blocos para obter dados horários correspondentes.

22.3 Dados de entrada

A resolução dos dados de entrada definida é independente da resolução selecionada para a execução do estudo, isto é, por bloco ou por hora. Em outras palavras, o usuário tem a flexibilidade para definir os dados conforme desejado e, o modelo pode transformar os dados de entrada informados de acordo com a resolução desejada no estudo:

- Para estudos que consideram a representação por blocos:
 - **Dados definidos por bloco:** são usados diretamente para construir o problema de otimização com resolução por bloco;
 - **Dados horários:** são agregados automaticamente em blocos, usando o mapeamento hora-bloco definido pelo usuário. Finalmente, os dados agregados em blocos são usados para construir o problema de otimização com resolução por bloco. Assim, se o usuário desejar usar os dados horários, também é necessário informar os dados do mapeamento hora-bloco.
- Para estudos que consideram a representação horária:
 - **Dados definidos por bloco:** são automaticamente mapeados nas horas usando o mapeamento hora bloco para obter dados horários a partir dos dados definidos por bloco. Finalmente, esses dados cronológicos por hora são usados para construir o problema de otimização com resolução horária;
 - **Dados horários:** são usados diretamente na montagem do problema de otimização com resolução horária.

Além disso, destaca-se que os dados só precisam ser informados para a resolução selecionada. Por exemplo, se o usuário optar por informar dados de demanda por hora, os dados de demanda por bloco não precisam ser definidos. O mesmo se aplica aos cenários de geração renovável.

Conforme mencionado anteriormente, alguns dados de entrada ainda serão informados com a resolução por bloco e, portanto, o mapeamento hora bloco deve ser informado para todos os estudos que consideram a representação horária.

22.3.1 Resolução dos dados de entrada

Antes de executar o modelo, o usuário deve selecionar a resolução desejada para cada tipo de dado. Esta seleção deve ser definida na tela “Opções de Execução> Despacho Econômico> Resolução dos Dados”.

Os seguintes dados e suas respectivas opções são indicadas a seguir:

- Mapeamento hora-bloco:
 - Não considera
 - Por hora: perfil anual
 - Por hora: detalhados

- Demanda (Energia):
 - Por bloco: detalhados
 - Por hora: detalhados
- Demanda (Preço):
 - Por bloco: detalhados
 - Por hora: detalhados
- Estação renovável:
 - Por bloco: perfil anual
 - Por bloco: detalhados
 - Por hora: perfil anual
 - Por hora: detalhados
- Injeções de potência (Capacidade):
 - Por bloco: detalhados
 - Por hora: detalhados
- Injeções de potência (Preço):
 - Por bloco: detalhados
 - Por hora: detalhados

Duas opções estão disponíveis para a definição de dados por hora:

- **Perfil anual:** deve ser informado para todas as horas de todas as etapas (meses ou semanas) de um ano típico. Este padrão permite a representação da sazonalidade ao longo de um ano e, é periodicamente repetido ao longo do horizonte de estudo;
- **Dados detalhados:** devem ser informados para todas as horas, de todas as etapas do horizonte de estudo.

Todos os outros dados de entrada, que podem variar dentro de cada estágio, devem ser definidos por bloco.

22.3.2 Dados do mapeamento hora-bloco

O principal objetivo dos dados de [mapeamento hora-bloco](#) é relacionar as horas com os blocos correspondentes em cada estágio. Assim, esses dados são opcionais no caso de estudos com representação de blocos e obrigatórios em estudos de caso com representação horária.

Embora os estudos com resolução por bloco não representem as horas individualmente na formulação do problema de otimização, os dados do mapeamento hora-bloco podem ser utilizados para [obter a duração dos blocos](#) (ao invés de utilizar a duração fixa e duração variável dos blocos).

Porém, em estudos com resolução horária, os dados de mapeamento são usados para [reconstruir a cronologia dos dados horários](#) que são informados por bloco.

22.3.3 Ferramenta integrada de clusterização

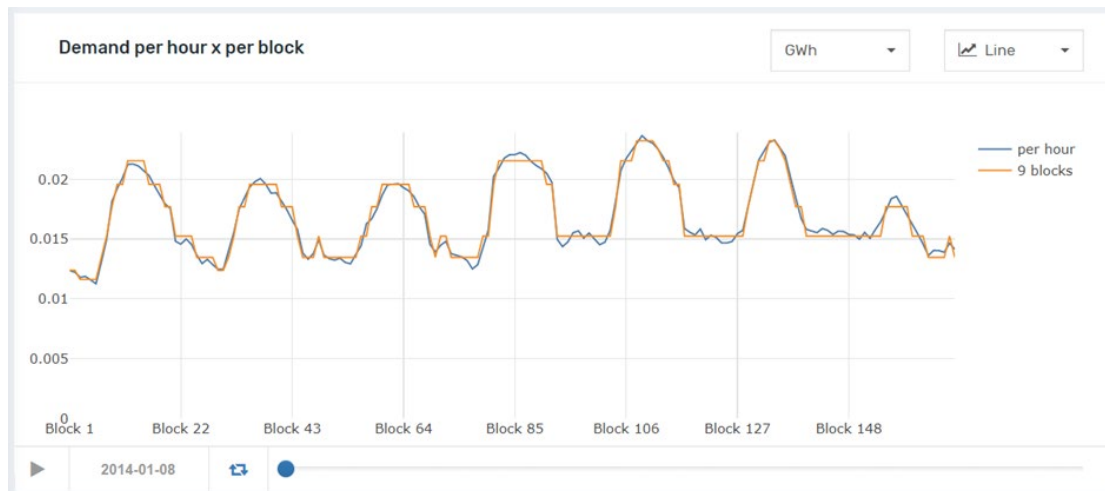
Existem duas ferramentas integradas ao SDDP relativas ao mapeamento hora-bloco:

- a) **Representação por blocos:** esta funcionalidade ajuda a criar a partir do zero ou substituir o mapeamento hora-bloco para o número selecionado de blocos, caso já

exista um mapeamento hora-bloco definido na base de dados. É acessado em “Opções de execução > Clusterização > Representação por blocos”.

- b) **Remapeamento hora-bloco:** esta funcionalidade ajuda a criar um novo mapeamento hora-bloco para um número diferente (desejado) de blocos. Por exemplo, é possível ter dados definidos para 5 blocos e executar o modelo para 15 blocos, que podem ser cronológicos ou não. Ela é ativada simplesmente ativando a opção “Resolução de estágio > Usar uma configuração diferente de blocos > Remapeamento hora-bloco” opção na tela “Despacho econômico > Horizonte e resolução”. O SDDP executará o caso com o número desejado (diferente) de blocos sem nenhuma informação adicional. A ferramenta de remapeamento é acessada em “Opções de execução > Clusterização > Remapeamento hora-bloco”.

Ambas as opções tomam os dados de demanda por hora já definidos na base de dados do SDDP como dados de entrada e usam um algoritmo de clusterização multivariada chamado *k-means* para criar os blocos. O objetivo é minimizar os erros de aproximação para o número de blocos definido pelo usuário enquanto assigna (“clusteriza”) as horas em blocos, como no exemplo mostrado abaixo:



Vale lembrar que o mapeamento hora-bloco deve ser único para toda a base de dados. Agora, imagine que você tenha dois sistemas definidos na base de dados e o sistema 1 tenha uma demanda muito maior que o outro. Caso o usuário não ative a opção “Normalizar dados”, a demanda do sistema 1 será muito mais representativa ao calcular o mapeamento hora-bloco do que a demanda do sistema 2. Ou seja, o tamanho de cada demanda refletirá sua representatividade sobre a demanda “total” que será utilizada para calcular o mapeamento hora-bloco. Por outro lado, se você ativar a opção “Normalizar dados”, as demandas dos sistemas 1 e 2 serão primeiro normalizadas de forma separada e depois serão utilizadas para calcular o mapeamento hora-bloco. Como consequência, ambas as demandas terão a mesma representatividade na avaliação do mapeamento hora-bloco.

Adicionalmente, se o usuário não ativar as opções “Ponta” e/ou “Fora da ponta”, todos os blocos serão calculados automaticamente pelo algoritmo. Por outro lado, se o usuário ativar a opção “Ponta” e definir o “Número de blocos” igual a 1, por exemplo, o bloco “Ponta” não será calculado, ele será definido arbitrariamente pelo usuário. Neste caso, todos os valores acima do threshold estarão no bloco 1. Assim, se o Threshold for igual a 0,02 p.u., o modelo

pegará os 2% dos valores de demanda mais altos e os atribuirá ao bloco de ponta. Se o usuário definir o "Número de blocos" igual a 2, então, os dois primeiros blocos serão definidos arbitrariamente pelo usuário com base no valor do threshold.

O mesmo comportamento é válido para a opção "Fora da ponta", ou seja, se o usuário ativar a opção "Fora da ponta", configurar o "Número de blocos" igual a 1 e o threshold igual a 0,02 p.u., o modelo pegará os 2% dos valores de demanda mais baixos e os atribuirá ao bloco de carga fora da ponta (carga leve).

22.3.4 Dados de demanda horária

Opcionalmente, os dados da demanda podem ser informados na resolução por hora. Esses dados são definidos na interface gráfica em "Dados básicos> Demanda> Configuração da demanda", opção "Resolução: Horária".

22.3.5 Cenários horários de geração renovável

Os cenários para a geração de fontes renováveis podem também ser informados em base horária. Esses dados devem ser informados através da interface gráfica em "Dados básicos> Fonte renovável> Cenários de estação renovável", opção "Resolução: horária". Os dados também podem ser importados / exportados para o Excel por meio de arquivos CSV (separados por vírgulas).

22.3.6 Restrições operativas de usinas térmicas

Uma das principais motivações para execuções horárias é capturar efeitos cronológicos não vistos em execuções com representação por blocos. Nesse caso, os usuários têm a opção de representar restrições cronológicas operativas de usinas térmicas, tais como: rampa de subida/descida, tempo de subida/descida, número máximo de partidas/ desligamentos e assim por diante. Esses dados podem ser informados através da interface gráfica em "Dados complementares> Usinas térmicas> Restrições operativas". Os dados também podem ser importados / exportados para o Excel por meio de arquivos CSV (separados por vírgulas).

22.3.7 Restrições operativas de usinas hidrelétricas

Os usuários têm também a opção de representar restrições cronológicas operativas de usinas hidrelétricas, tais como: tempo de viagem da água turbinada/vertida, rampa de subida/descida de defluência e rampa de subida/descida. Esses dados podem ser informados através da interface gráfica em "Dados complementares> Usinas hidrelétricas> Restrições operativas". Os dados também podem ser importados / exportados para o Excel por meio de arquivos CSV (separados por vírgulas).

22.3.8 Opções de estudo

A opção padrão para o despacho econômico é a representação agregada por blocos, na qual as decisões operativas em cada estágio (semana ou mês) são feitas levando em consideração uma representação de até 21 blocos de horas.

Para ativar a representação cronológica horária, depois de definir o mapeamento hora-bloco e escolher a resolução de dados a ser usada, conforme explicado anteriormente, a opção "Representação horária" deve ser ativada na tela "Opções de execução > Despacho econômico > Horizonte & resolução".

Após a conclusão de cada execução horária, é muito importante verificar o mapa de calor chamado "[Status de execução por estágio e cenário](#)" que está disponível no Dashboard do SDDP.

22.4 Parâmetros de execução para a rodada horária

Os parâmetros de execução para a rodada horária são definidos na tela "Opções de execução > Despacho econômico > Parâmetros horários".

22.4.1 Representação do sistema

22.4.1.1 Restrições operativas

- Função Terminal:
 - FCF + Volume meta: em cada estágio (mensal/semanal), antes da rodada horária, o SDDP resolve o problema por blocos e determina volumes meta para o final de cada estágio que serão utilizados como uma curva guia durante a simulação horária. A função de custo futuro (FCF) calculada na política também é considerada ao final de cada etapa para os reservatórios de regularização para que o modelo possa avaliar a melhor trajetória ao longo do mês/semana com base em critérios econômicos (valor futuro da água) juntamente com os volumes meta. Os volumes meta são aplicados a reservatórios hidrelétricos, contratos de combustível, reservatórios de combustível e volumes de emissões de gases.
 - FCF: apenas a FCF é considerada.
 - Volume meta: apenas os volumes meta são considerados.
- Representação de vertimento não controlável [Sim/Não]: serão criadas ou não as restrições de vertimento não controlável para usinas hidrelétricas, mediante a opção considerada. Esta é uma restrição que impacta fortemente a convergência de problemas de otimização e, portanto, sugerimos que seja usada com parcimônia.
- Estado operativo de ciclo combinado [Otimizado/Definido pelo Usuário]: a representação horária pode otimizar o estado operativo do ciclo combinado, isto é, qual configuração deve despachar em cada hora. Na opção "Definido pelo usuário", o modelo utilizará a configuração selecionada em cada etapa da tela "Dados complementares > Usinas térmicas > Estado operativo de ciclo combinado".
- Tipo de armazenamento inicial [Otimizado/Definido pelo usuário]: a representação horária pode otimizar qual é o valor de armazenamento inicial para cada bateria do caso, pois esses componentes apresentam restrições do tipo "Volume inicial = volume final" dentro cada janela de tempo de regulação. Portanto, a definição da condição inicial é uma questão muito importante para a otimização dos ciclos operativos intra-estágio das baterias. Todo o exposto também é válido para dispositivos de armazenamento de hidrogênio e de eletrificação. Por padrão, a opção "otimizado" é selecionada, pois o armazenamento inicial do ciclo (que será igual ao final no término do tempo de regulação)

será definido pela própria otimização. Isso é interessante porque não estamos “limitando” ou introduzindo uma restrição que “force” um determinado valor de armazenamento inicial, deixando o modelo livre para definir esse valor de armazenamento de acordo com o processo de otimização e as condições do sistema já que no longo prazo não há como saber exatamente qual o nível de armazenamento que a bateria começará de fato o dia. Como pode ser visto, a definição do armazenamento inicial da bateria pelo usuário pode levar a um funcionamento subótimo durante o ciclo de regulação, no entanto, deixamos esta opção à disposição do usuário caso deseje utilizá-la (seja por conhecimento do sistema ou por qualquer outro motivo, como uma questão regulatória).

22.4.1.2 Reserva conjunta

- Tipo de reserva conjunta [Subida/Descida/Subida e Descida]: a atribuição de reserva secundária às usinas pode ser feita destas três formas na representação horária. O caso padrão é a alocação de reserva secundária apenas para aumento de produção, mas isso pode ser alterado de acordo com esta opção. Ao selecionar a opção “Subida e Descida”, o modelo impõe alocação de reservas simétricas em ambas as direções.

22.4.1.3 Rede elétrica

- Limite de carregamento para monitoração: esta opção é utilizada apenas na representação da rede elétrica com o modelo compacto (seção 8.2.4 do manual de metodologia), onde são representados no problema de otimização com granularidade horária somente os circuitos que atingiram, na simulação prévia (por blocos), o *threshold* definido pelo usuário neste campo. Esta é uma opção que tem o objetivo de reduzir o tamanho do problema de otimização horário para evitar a criação de inúmeras restrições horárias para os circuitos dos quais o carregamento não atingiu o limite definido pelo usuário na execução por blocos.
- Restrições de soma de fluxo [Apenas restrições ativas/Todas]: Partindo da mesma explicação do ponto anterior, as restrições de soma de fluxo que não atingiram os limites máximos na simulação anterior (por blocos) não são levadas ao modelo horário. Ao selecionar “Todas”, o modelo horário criará todas as restrições de soma de fluxo para todas as horas da etapa, independentemente de estarem ativas ou não na simulação anterior (por blocos).

22.4.2 Estratégia de solução

22.4.2.1 Condições iniciais

- Representação da cronologia de restrições operativas entre estágios (leitura das condições iniciais): a cronologia entre etapas (mês/semana) das restrições operativas (tempos de viagem, rampas, tempos mínimos) pode ser considerada ou não nos estudos de planejamento. Ao ativar esta opção, o modelo gerará automaticamente as condições finais (água em trânsito, geração, decisões de *unit commitment*) de cada etapa que serão utilizadas como condições iniciais da etapa seguinte, de modo que as restrições mantenham o acoplamento cronológico durante todo o horizonte.
- Representar a condição inicial do tempo de viagem da água na primeira etapa [Sim/Não]: como não é possível definir a condição inicial da água em trânsito para o primeiro estágio do horizonte, o modelo pode criar restrições específicas que emulam este

comportamento em cada um dos cenários do primeiro estágio do horizonte. Se esta opção estiver ativa, o SDDP calculará o tempo de viagem da água nas primeiras horas do estudo considerando que os turbinamentos de cada hidrelétrica nas horas anteriores ao início do estudo são iguais aos valores nas últimas horas da primeira etapa do estudo.

- Preservar a cronologia dos volumes na transição entre estágios: se esta opção for ativada, os volumes iniciais (de reservatórios de água, contratos de combustível, reservatórios de combustível e volumes de emissões de gases) de cada etapa (mês/semana) serão iguais aos volumes finais da etapa anterior calculados pelo SDDP com resolução horária, garantindo assim a cronologia entre etapas. Caso contrário, a simulação prévia do modelo por blocos determinará a condição inicial de cada etapa do horizonte durante a simulação horária. A cronologia neste segundo caso é preservada através das restrições de volume meta mencionadas anteriormente.

22.4.2.2 Representação intra-estágio

- Decompor estágios em sub-estágios [Sim/Não]: as etapas mensais são automaticamente divididas em subetapas semanais (168 horas), para que o problema de otimização com granularidade horária não seja tão complexo do ponto de vista do número de variáveis/restrições envolvidas em cada problema. Em vez de resolver um único problema com mais de 700 horas, esta opção divide o problema em sub-etapas mais fáceis de serem resolvidas. Associado a este tópico está a definição da duração das subetapas, onde para alguns sistemas de grande porte, a decomposição em subetapas diárias (24 horas) é necessária para obter tempos de execução mais razoáveis.
- Preservar as restrições de rampa na transição entre sub-estágios [Sim/Não]: restrições de rampa podem se tornar um problema na decomposição de estágios em subestágios, pois são restrições rígidas (*hard constraints*, sem variável de folga) e podem ser um fator de inviabilidade durante as transições entre os sub-estágios. Isso pode ocorrer em mudanças significativas nos cenários de geração renovável e demanda ao longo do horizonte, juntamente com valores de rampa muito restritivos.

22.4.2.3 Parâmetros de otimização

- Representar variáveis binárias [Sim/Não]: o despacho com *unit commitment* de usinas termelétricas, bem como as restrições de operação de tempos mínimos, exigem que esta opção esteja habilitada. Caso contrário, essas restrições não serão criadas pelo modelo com representação horária.
- Tolerância relativa do MIP (p.u.): o modelo converge quando a diferença entre a melhor solução encontrada e um limite superior é menor que a tolerância relativa definida. O valor padrão é 0,005 p.u. (0,5%).
- Máximo tempo de execução do MIP (segundos): se uma solução com gap de convergência menor que a tolerância relativa do MIP não for encontrada no tempo máximo definido, o modelo apresenta a melhor solução encontrada até o momento. O tempo máximo de execução do MIP é um valor definido pelo usuário que será aplicado para cada etapa (mês/semana) do horizonte de planejamento e será considerado proporcionalmente à duração das subetapas, caso esta opção esteja habilitada.

22.5 Resultados

22.5.1 Mapa de calor do status de execução por estágio e cenário

Alguns dos problemas de otimização MIP subjacentes resolvidos pelo SDDP podem exigir um esforço computacional substancial, especialmente aqueles relacionados à representação horária. Para obter uma melhor visão geral do *trade-off* entre qualidade da solução x esforço computacional, há um mapa de calor chamado “Status de execução por estágio e cenário” no Dashboard do SDDP. Neste gráfico, o status do problema resolvido em cada etapa e cenário é ilustrado em um mapa de calor, de acordo com o seguinte esquema de cores:

- **Verde (sucesso):** problema de otimização resolvido com sucesso.
- **Amarelo (atenção):** o tempo máximo de CPU foi atingido e a solução viável encontrada excede a tolerância de convergência do MIP.
- **Vermelho (erro):** nenhuma solução viável foi encontrada dentro do tempo máximo de CPU.

É muito importante revisar este mapa de calor após as execuções horárias. Em situações de atenção e erro, a recomendação inicial é aumentar o tempo máximo de execução de cada MIP para ver se o modelo, com mais tempo, consegue encontrar a solução ótima para esses problemas de otimização (ou pelo menos uma solução viável para os problemas de determinados estágios/cenários que estão coloridos em vermelho).

22.5.2 O módulo Gráfico

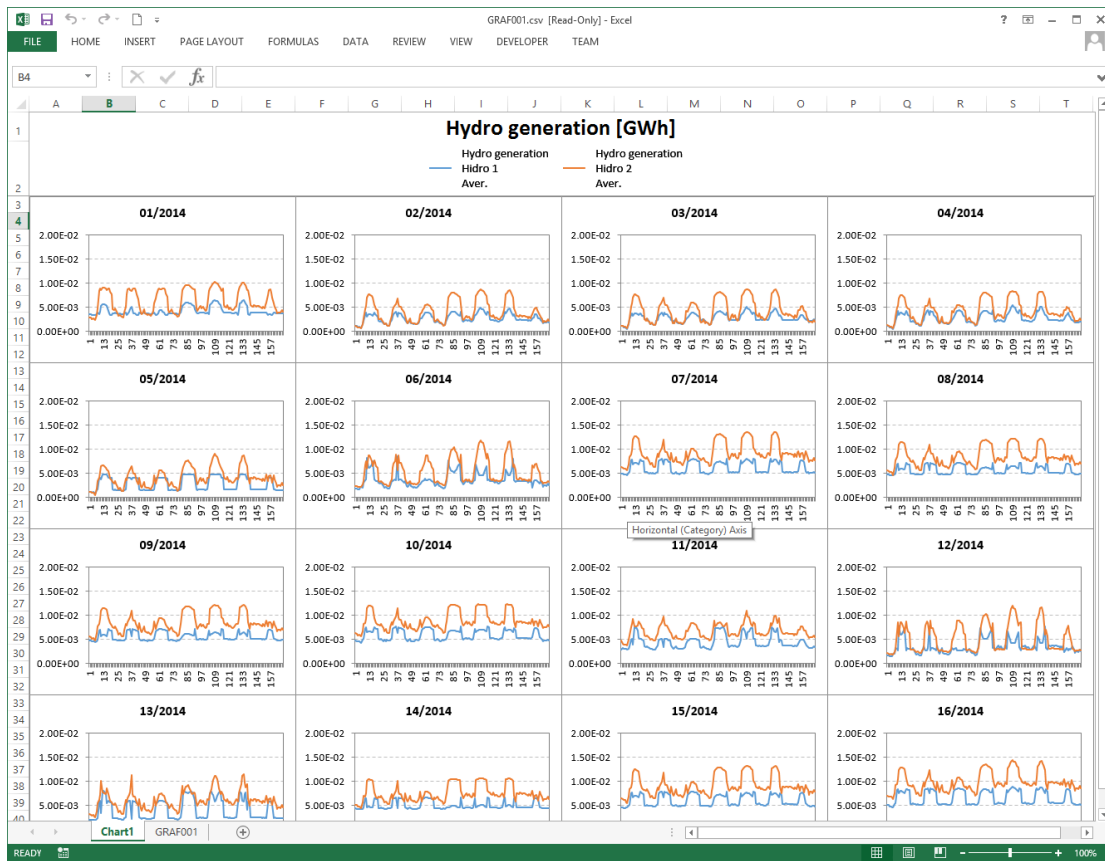
Com a representação horária, todos os resultados SDDP que variam por estágio estarão disponíveis para todas as horas de cada etapa do estudo. O módulo gráfico (*GRAPH*) foi estendido para lidar com resultados horários. Em vez da seleção tradicional de blocos, os resultados serão impressos em base horária.

Para mais detalhes sobre o *GRAPH*, favor checar o capítulo [Módulo Graficador](#).

22.5.2.1 Novas opções gráficas

As opções do gráfico foram redesenhadas e uma nova opção foi adicionada para facilitar a visualização dos resultados horários. A planilha com os resultados será a mesma, no entanto, para cada novo gráfico preparado, uma das três opções pode ser selecionada:

- Não gerar gráfico, apenas tabela: a planilha com resultados será gerada no formato CSV, aberta no Excel e nenhum gráfico será criado para visualização;
- Padrão: a planilha com resultados será gerada no formato CSV e aberta no Excel e será criado um único gráfico para a visualização de todos os resultados gerados.
- Por estágio: a planilha com os resultados será gerada no formato CSV, aberta no Excel e uma planilha gráfica será criada, para cada etapa selecionada. O objetivo deste gráfico é permitir a visão geral dos resultados horários para todo o horizonte de interesse, organizando os resultados por etapa, como indicado abaixo.



23 ARQUIVOS DE SAÍDA NA REPRESENTAÇÃO HORÁRIA

23.1 Visão geral

A resolução de problemas estocásticos de despacho com granularidade horária é uma tarefa desafiadora devido ao aumento da complexidade do problema, que requer a utilização de novos algoritmos para que os tempos de resolução se mantenham aceitáveis. Além disso, o grande volume de saídas pode criar gargalos de I/O e, em alguns casos, afetar dramaticamente a performance da execução.

A PSR realizou diversos testes internos que apontaram que casos que contenham um grande volume de saídas, como os casos horários ou casos que possuem muitos blocos, podem ter tempos de execução na simulação final⁵ até 10x menores quando se utiliza a opção de saídas em formato BINÁRIO ao invés da opção default de saídas em formato CSV.

Além da potencial de redução nos tempos de execução, o espaço em disco necessário para salvar saídas no formato binário é aproximadamente 3x menor quando comparada a espaço em disco necessário para salvar saídas no formato CSV. Isto se torna relevante uma vez que o volume de resultados de casos horários é muito maior do que o volume de resultados de casos que usam representação por blocos.

O modulo GRAPH foi estendido desde a versão 14 e funciona sem problemas, independentemente do tipo selecionado de formato das saídas.

Por causa das razões acima mencionadas, o formato CSV foi descontinuado para casos que utilizam representação horária e o formato BINÁRIO deverá ser usado em seu lugar.

De qualquer maneira, ainda será possível obter saídas em formato CSV a partir dos resultados binários, como descrito na próxima seção.

23.2 Gerando arquivos CSV a partir de saídas em formato binário

Existe duas alternativas para a conversão de arquivos binários para arquivos em formato CSV estandardizados:

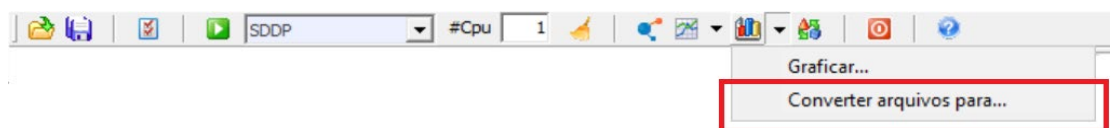
- Pela interface gráfica;
- Pela linha de comando.

Em ambos os processos mencionados acima é possível converter somente arquivos de interesse e manter o resto das saídas em formato binário. O processo de conversão cria arquivos em formato CSV extras no diretório de dados. O modulo GRAPH sempre usará as saídas originais (binárias ou CSV) geradas na execução SDDP, mesmo se houver arquivos convertidos no diretório.

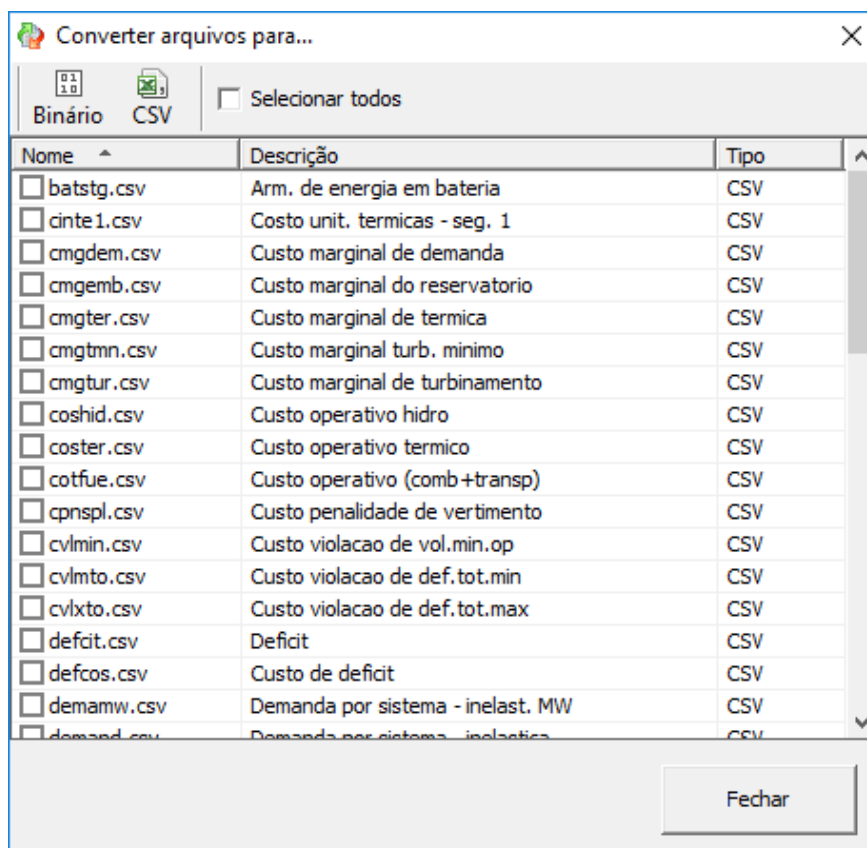
⁵ A simulação final é executada depois da política de operação e é a fase na qual o SDDP escreve os arquivos de saída

23.2.1 O processo de conversão via interface gráfica

Existe um novo botão chamado “Converter arquivos para...” na tela da interface SDDP que pode ser acessado pela barra de ferramentas, como mostrado abaixo:



Esta ferramenta permite a conversão de binário para o formato CSV de saídas selecionadas (para casos que geram saídas no formato binário).



Este procedimento deve ser feito depois da execução de cada caso.

23.2.2 O processo de conversão via linha de comando

O conversor é uma ferramenta chamada `BIN2CSV.EXE`, localizada na pasta `Oper` no diretório de instalação do SDDP. Esta ferramenta possibilita que o usuário converta uma única saída ou todas as saídas de uma vez para o formato CSV ou vice-versa.

Se a ferramenta for chamada pela linha de comando sem nenhum argumento, ela mostrará as opções disponíveis:


```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Version 10.0.15063]
(c) 2017 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\>cd C:\PSR\Sddp15Beta\Oper

C:\PSR\Sddp15Beta\Oper>bin2csv.exe
BIN2CSV - version 1.5 (90f6e21-win32-intel15-release)

Converts SDDP output files in binary format (hdr/bin)
to csv format

Usage:

bin2csv [OPTIONS] -file <full filename without extension>
bin2csv [OPTIONS] -path <path containing indice.grf file>

Options
  -bin          convert CSV to HDR/BIN format
  -path_out <PATH> Optional path for output files
                 If not informed, output will be created in the input path
  -csv-as-dat   use DAT extension when converting from HDR/BIN to CSV
  -v            increase verbosity to print debug information
  -help        shows this help

Remarks:
  Use simple quotes at the beginning and ending of filenames/paths with spaces

Report bugs to <sddp@psr-inc.com>

C:\PSR\Sddp15Beta\Oper>_

```

23.2.2.1 Convertendo um único arquivo

Para converter o arquivo “Custo marginal de demanda” de formato binário para formato CSV, por exemplo, o conversor deve ser chamado da linha de comando utilizando a seguinte sintaxe:

```
bin2csv.exe -file C:\PSR\Sddp15.0\Example\cmgdem
```

o conversor imprime na tela a seguinte mensagem:

```

BIN2CSV - version 1.5 (90f6e21-win32-intel15-release)

Converting from HDR/BIN to CSV:
  Input  : C:\PSR\Sddp15.0\Example\cmgdem.hdr
  Input  : C:\PSR\Sddp15.0\Example\cmgdem.bin
  Output : C:\PSR\Sddp15.0\Example\cmgdem.csv

Done!

```

23.2.2.2 Convertendo todas as saídas

Para converter todas as saídas geradas pela execução do caso “Example” de formato binário para CSV, o conversor deve ser chamado da linha de comando utilizando a seguinte sintaxe:

```
bin2csv.exe -path C:\PSR\Sddp15.0\Example
```

o conversor imprime na tela a seguinte mensagem:

```
BIN2CSV - version 1.5 (90f6e21-win32-intell15-release)

Converting from HDR/BIN to CSV:
  Input : C:\PSR\Sddp15.0\Example\inflow.hdr
  Input : C:\PSR\Sddp15.0\Example\inflow.bin
  Output: C:\PSR\Sddp15.0\Example\inflow.csv

(...)

Converting from HDR/BIN to CSV:
  Input : C:\PSR\Sddp15.0\Example\gerhid.hdr
  Input : C:\PSR\Sddp15.0\Example\gerhid.bin
  Output: C:\PSR\Sddp15.0\Example\gerhid.csv

Converting from HDR/BIN to CSV:
  Input : C:\PSR\Sddp15.0\Example\gerter.hdr
  Input : C:\PSR\Sddp15.0\Example\gerter.bin
  Output: C:\PSR\Sddp15.0\Example\gerter.csv

Converting from HDR/BIN to CSV:
  Input : C:\PSR\Sddp15.0\Example\cmgdem.hdr
  Input : C:\PSR\Sddp15.0\Example\cmgdem.bin
  Output: C:\PSR\Sddp15.0\Example\cmgdem.csv

Converting from HDR/BIN to CSV:
  Input : C:\PSR\Sddp15.0\Example\duraci.hdr
  Input : C:\PSR\Sddp15.0\Example\duraci.bin
  Output: C:\PSR\Sddp15.0\Example\duraci.csv

(...)

Done!
```

23.2.3 Automatização do processo via *post-run hook*

O esquema *post-run hook* serve para desencadear scripts customizados depois de uma execução bem-sucedida de estudos. Para habilitar o *post-run hook*, é necessário colocar o arquivo `post-run.bat` na pasta `Oper` do diretório de instalação SDDP. Depois de uma execução bem-sucedida, o script será chamado e o diretório do caso será passado como argumento.

Existe um exemplo do script na pasta `Oper` do diretório de instalação SDDP, chamado `post-run.sample` que pode ser copiado e renomeado para `post-run.bat` para habilitar o script definido pelo usuário.

```

:: An example hook script that is called after a successful
:: run is made.
::
:: To enable this hook, rename this file to "post-run.bat".

:: -----
:: Main parameters
:: -----
SET PATH_DATA=%~f1
SHIFT

:: -----
:: User-defined action
:: -----

:: example.exe %PATH_DATA%

```

Script `post-run.sample`

Este esquema pode ser usado para a automatização da execução de qualquer procedimento depois do SDDP. Por exemplo, descreveremos nas próximas seções como automatizar a execução do módulo GRAPH e do conversor BIN2CSV.

23.2.3.1 Automatização da execução do modulo GRAPH

Para automatizar a execução do módulo GRAPH depois da execução do SDDP, é necessário abrir o módulo GRAPH, definir os gráficos de interesse e selecioná-los para serem criados. Esta definição será salva no arquivo `instruc.grf` que servirá de arquivo de entrada para que o módulo GRAPH gere os arquivos de estatísticas automaticamente.

Adicionalmente, o script abaixo deve ser definido para a automatização da execução do módulo GRAPH:

```

:: An example hook script that is called after a successful
:: run is made.
::
:: To enable this hook, rename this file to "post-run.bat".

:: -----
:: Main parameters
:: -----
SET PATH_DATA=%~f1
SHIFT

:: -----
:: Running GRAPH module
:: -----
IF EXIST "%PATH_DATA%\instruc.grf" (
  ECHO -----
  ECHO Running Graph...
  ECHO -----
  CALL graf.exe
  ECHO.
)

```

script `post-run.bat` para a automatização da execução do modulo GRAPH

23.2.3.2 Automatização da execução da ferramenta de conversão

Para automatizar a execução da ferramenta de conversão BIN2CSV depois da execução do SDDP, é necessário a definição no script `post-run.bat` das chamadas da ferramenta de conversão, de acordo com as saídas que precisam ser convertidas.

```

:: An example hook script that is called after a successful
:: run is made.
::
:: To enable this hook, rename this file to "post-run.bat".

:: -----
:: Main parameters
:: -----
SET PATH_DATA=%~f1
SHIFT

:: -----
:: Running BIN2CSV conversion tool
:: -----
ECHO -----
ECHO Converting files to CSV format
ECHO -----
bin2csv.exe -file %PATH_DATA%\cmgdem
bin2csv.exe -file %PATH_DATA%\gerter
bin2csv.exe -file %PATH_DATA%\gerhid

```

script post-run.bat para a automatização da conversão de arquivos em formato binário para formato CSV

No exemplo acima, os arquivos binários “Custo marginal de demanda”, “Geracao termica” e “Geracao hidro” são convertidos para o formato CSV depois da execução do SDDP.

24 ESTRATÉGIA DE HORIZONTE ROLANTE

O *trade-off* entre os benefícios imediatos de gerar mais energia hidrelétrica hoje, esvaziando os reservatórios; e o aumento esperado dos custos futuros porque menos energia hidrelétrica é transferida para as etapas seguintes é o núcleo do algoritmo do SDDP. Uma questão interessante relacionada a este *trade-off* é: até que ponto no futuro os custos operacionais são afetados pela decisão de programação de hoje? É intuitivo ver que este “horizonte de influência” depende da capacidade de armazenamento do sistema. A maioria dos sistemas tem armazenamento sazonal, o que significa que sua decisão de programação não afeta a operação do próximo ano. Alguns sistemas têm armazenamento anual, o que se traduz em um horizonte de influência de um ano adicional. E alguns sistemas têm armazenagem plurianual, com horizontes de influência correspondentes em torno de três anos.

A estratégia “Horizonte Rolante” (HR) consiste em dividir o horizonte de estudo e calcular a política de operação do sistema para cada um dos sub-horizontes de forma encadeada. Isto significa que um estudo SDDP para um longo horizonte de planejamento, de por exemplo, 15 anos, pode ser realizado por um esquema de HR: primeiro para os anos 1-5 (três anos “verdadeiros”, mais dois de *buffer*); depois para os anos 4-8 (usando como armazenamentos iniciais para janeiro do ano 4 os armazenamentos finais no final de dezembro do ano 3); para os anos 7-11; e assim por diante.

Quais são as vantagens de usar este esquema de HR? O benefício mais significativo é garantir que os custos marginais e outros resultados para os anos posteriores sejam tão precisos quanto os dos primeiros anos.

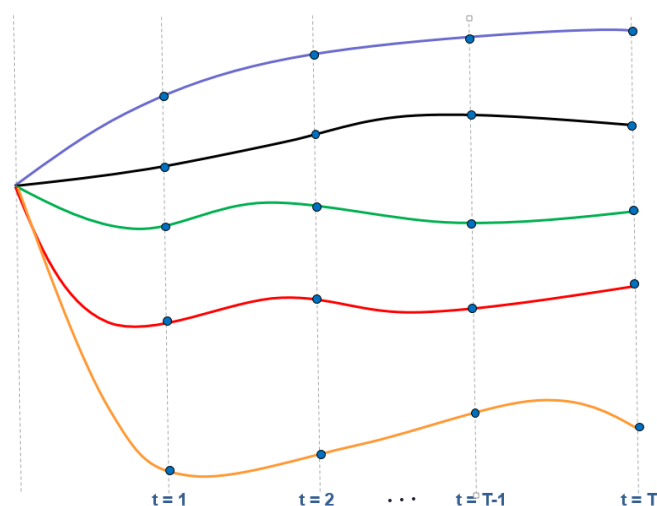
Dado este benefício do esquema de HR, a próxima pergunta é: o tempo total de execução irá aumentar? De acordo com testes empíricos envolvendo muitos sistemas com diferentes capacidades de armazenamento e *mixes* de geração, a resposta é: o tempo total de execução com a aplicação de HR provavelmente será o mesmo ou ainda menor. Esta nova funcionalidade está disponível na tela “Opções de execução > Despacho econômico > Horizonte rolante”.

25 EXECUÇÃO PARALELA

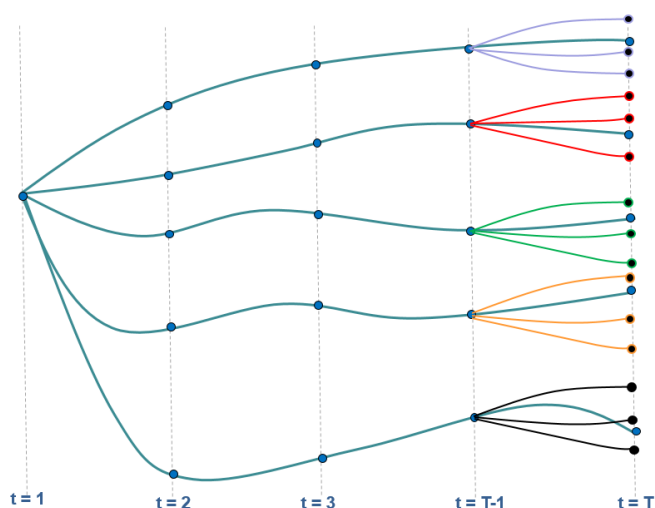
25.1 Distribuição paralela

O esquema de execução paralela do SDDP é gerenciado da seguinte maneira:

Fase Forward: os cenários são solucionados em paralelo pelos processos envolvidos na execução. Após a solução de todos os cenários, o algoritmo avança para o próximo estágio.



Fase Backward: todos os cenários backward associados a um dado cenário forward em um dado estágio são solucionados pelo mesmo processador. Após a solução de todos os cenários backward de todos os cenários forward, o algoritmo retrocede para o estágio anterior.



Mais informações sobre as fases forward e backward do algoritmo SDDP podem ser encontradas no Manual de Metodologia do SDDP.

Resultados: durante a fase de simulação final, o primeiro processo do nó “master” fica dedicado à escrita de todos os resultados.

25.2 Seleção do número de nós e processos

Como cada cenário forward será solucionado por no máximo um processador, não há razão para utilizar mais processadores que o número de cenários forward. Na verdade, se o número de processadores exceder o número de cenários forward, a comunicação entre eles pode resultar em uma degradação significativa de performance. Para atingir melhor performance, a PSR recomenda que o número de processos paralelos definidos pelo usuário não deve exceder: (i) o número de núcleos físicos do processador e (ii) o número de cenários forward.

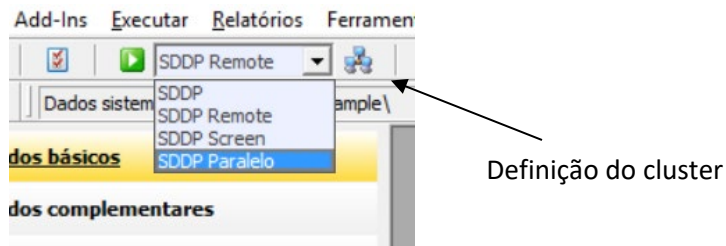
Testes internos mostraram que, em muitos casos, o número de processadores ideal a utilizar deve variar entre um terço e a metade do número de cenários forward do estudo. Entretanto, a PSR encoraja que os usuários realizem seus próprios testes de performance para definir a configuração mais eficiente para seus casos. Caso qualquer tipo de ajuda seja necessária, por favor contacte o suporte técnico do SDDP por e-mail.


25.3 Configurando a execução paralela

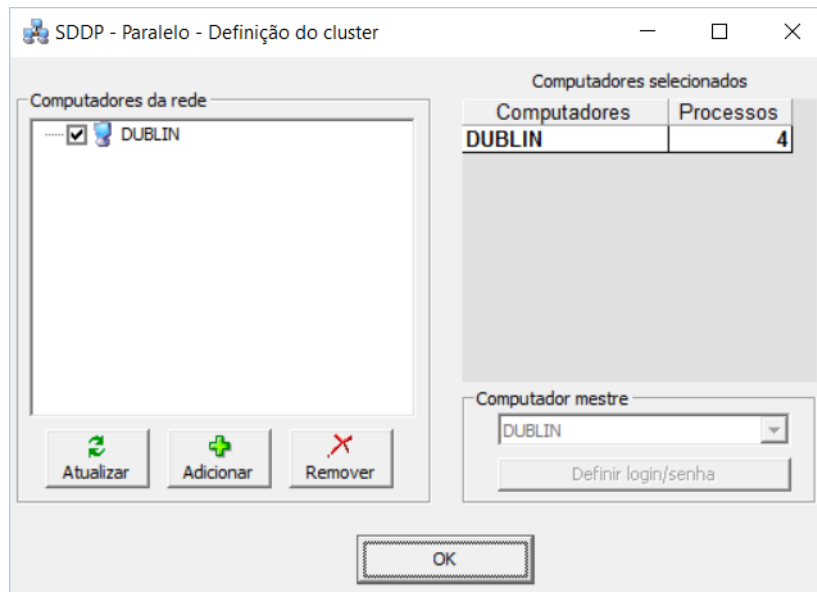
A licença padrão do SDDP permite o processamento paralelo utilizando todos os processadores disponíveis em seu computador. A execução paralela pode ser dos seguintes modos:

25.3.1 A partir da interface gráfica

Pode ser definida facilmente pela interface, através da seleção da opção “SDDP Paralelo” na barra de tarefas:



Também é necessário definir as informações a respeito dos nós que serão utilizados na execução paralela na tela “Definição do cluster”, acessada pelo botão . Nesta tela, é possível selecionar os computadores que serão usados na execução e o número de processos que cada um utilizará:



25.3.2 A partir da linha de comando

Se não se deseja utilizar a interface para a execução de casos em paralelo, os seguintes passos devem ser seguidos:

Passo 1) Criar o arquivo MPD.HOSTS

Arquivo texto contendo o nome de todos os computadores que participarão na execução e o número de processos em cada computador. Cada linha do arquivo deve ser definida como:

```
<Nome do computador >:<Número de processos>
```

A primeira linha define o computador mestre. Este arquivo deve estar localizado no mesmo diretório da aplicação “sddpar.exe” (o diretório padrão é <Diretório de instalação do SDDP\OPER>). Um exemplo deste arquivo é mostrado abaixo:

```
DUBLIN: 4
```

Passo 2) Executar a aplicação “sddpar.exe” a partir da linha de comando. Os seguintes argumentos devem ser definidos:

```
--path=<PATH>          <PATH>: caminho para o subdiretório “Oper” do
                        SDDP
--mpipath=<PATH>       <PATH>: caminho para o diretório de instalação do
                        MPI
```

É possível verificar se a execução é realizada em modo paralelo ou não através do log de execução na parte que indica “Tipo de processamento” (“SEQUENCIAL” ou “PARALELO”), que aparece tanto na saída em tela como no arquivo sddp.out. No caso de modo “PARALELO”, o número total de processos também é especificado, como mostrado na figura a seguir.


```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
c:\PSR\Sddp14\Oper>sddpar.exe --path="C:\PSR\Sddp14\Oper" --mpipath="C:\Program Files\MPICH2\bin"
SDDP Uersion 14.0.3 (Big Cut)
SignatureId: 2990413-win64-intel115-XPRESS-bigcut-release

Lendo arquivo de Opcoes de Execucao e Dados Gerais
Copia licenciada para: PSR License authorization file
DADOS DO ESTUDO - DIRETORIO: \\DUBLIN\sddpdat_c\PSR\SDDP14\EXAMPLE\
DADOS HIDROLOGIA - DIRETORIO: \\DUBLIN\sddpdat_c\PSR\SDDP14\EXAMPLE\
Caso: Caso ejemplo / Sample case

Lendo arquivo de parametros adicionais
Pacote de otimizacao utilizado: Xpress - Versao: 28.01.04

Tipo de processamento: PARALELO
Configuracao do cluster:
.No. #Proc. Nome do computador
-----
1 4 dublin.eedn.com
TOTAL: 1 no(s)
4 processos

Lendo arquivo de Sistemas

Sistema: System 1 - Lendo dados...
Lendo dados de cadastro de demanda
*Atencao: Arquivo nao encontrado - será considerada uma unica demanda associada a este sistema
Lendo arquivo de dados de demanda (demanda)
Lendo arquivo de configuracao hidro
Lendo arquivo de Configuracao de Combustivel
Lendo arquivo de Configuracao Termica
Lendo arquivo de Defluencia total minima

Gerando o arquivo de vazoes...
Cputime Criacao do arquivo de vazoes = 0 s

Calculo da Politica Operativa: System 1
Relatorio de Convergencia
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Iter | Zinf | Zsup | Gap | Tol | CPURec | CPUFwr |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 1 | 340.27 | 305.09 | -35.180 | 80.050 | 0 | 0 |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
Cputime Politica Operativa = 0 s

Simulacao Operativa: System 1
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
Custo Medio 296.86
Cputime Simulacao Operativa = 0 s
SDDP Success

SDDPTASK success

c:\PSR\Sddp14\Oper>_

```

Exemplo de execução em paralelo

26 EXECUÇÃO REMOTA

No menu principal do SDDP se tem acesso à *Execução Remota* do programa, pressionando o botão de execução, conforme ilustrado abaixo:



Ao entrar nesta tela se deve informar o usuário, a senha de seu cadastro no portal da PSR. Caso ainda não seja um usuário cadastrado, pressione o botão *[Cadastrar]*, conforme ilustrado na figura abaixo.

PSR Cloud - Execução remota - Versão 3.1.0

Digite o usuário, a senha, selecione o cluster e o número de processos para que o estudo corrente seja executado remotamente

Usuário [\[Cadastrar\]](#)

Senha

Cluster de servidores remotos Importar cluster

Número de processos

Executar

Sair

Cancelar

Atualizar status

O passo seguinte é importar a lista de clusters disponíveis. Selecione o cluster desejado e o número de processos que serão utilizados (este número deve ser necessariamente um múltiplo de 8).

Ao pressionar o botão *Executar* a base de dados local começa a ser carregada para um servidor remoto. A tela a seguir mostra que este passo da execução foi finalizado com sucesso.

PSR Cloud - Execução remota - Versão 3.1.0

Digite o usuário, a senha, selecione o cluster e o número de processos para que o estudo corrente seja executado remotamente

[Cadastrar]

Usuário: user

Senha: xxxxxxx

Cluster de servidores remotos: PSR007V_LIN

Número de processos: 24

Importar cluster

Executar

Sair

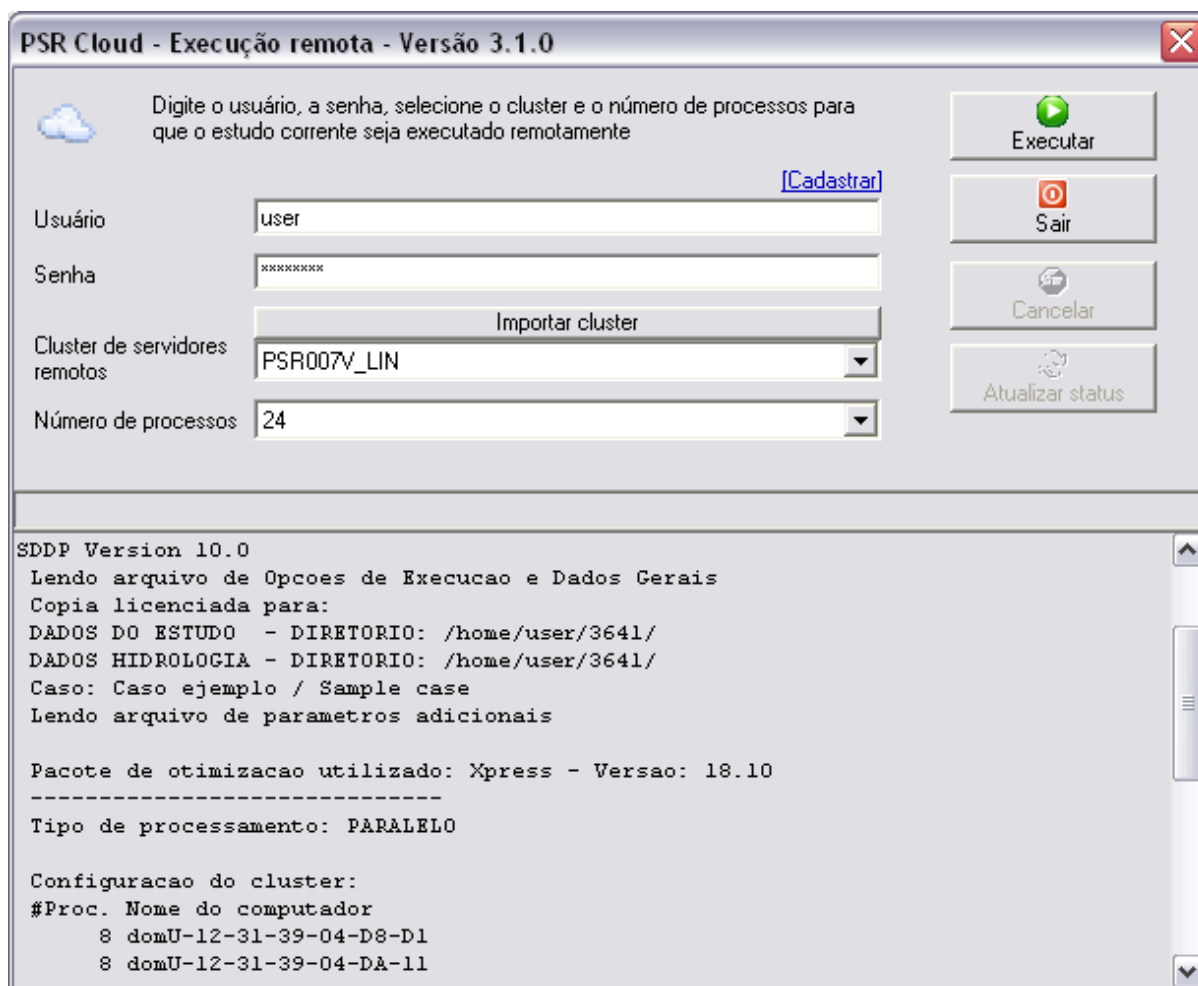
Cancelar

Atualizar status

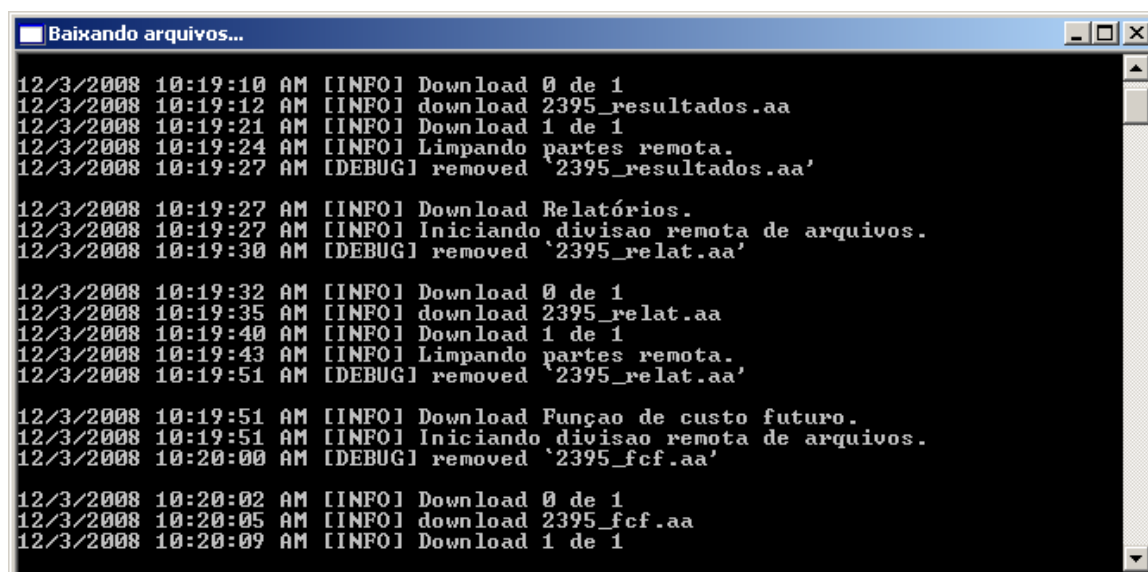
Novo

adicionado na fila com sucesso.

Durante a execução são realizadas atualizações periódicas do status de convergência. O relatório resultante é mostrado como ilustrado na seguinte figura. A atualização do status pode também ser solicitada pelo usuário, pressionando o botão *Atualizar status* disponível na interface gráfica.



Uma vez finalizada a execução, tem início o download dos resultados do servidor remoto para a máquina local. Este procedimento é automático, como mostrado na seguinte tela.



Finalizado o download dos resultados para o diretório de dados, é possível acessar todos os arquivos gerados pelo programa (arquivos de relatórios, saídas csv para utilização do

programa gráficas, função de custo futuro e volumes iniciais, etc.), da mesma maneira de uma execução local.

Caso encontre alguma dificuldade na execução remota do SDDP, por favor entre em contato com o suporte através do e-mail sddp@psr-inc.com.

27 SAÍDAS ADICIONAIS

O modelo SDDP produz, adicionalmente às saídas em planilhas selecionadas pelo usuário, os seguintes arquivos:

Nome	Tipo	Descrição
sddp.out	ASCII	Contém a reprodução dos dados do estudo; o relatório de convergência por iteração e o tempo total de processamento.
sddpcope.csv	Microsoft Excel	Contém o resumo dos custos operativos por série, assim como o desvio padrão, custo mínimo, máximo e médio.
sddpgrxx.csv	Microsoft Excel	Contém o resumo da geração final, por usina, do sistema xx.
sddpctxx.csv	Microsoft Excel	Contém o resumo do custo final, por usina, do sistema xx.
sddprisk.csv	Microsoft Excel	Contém o risco de déficit anual por sistema.
sddpconv.csv	Microsoft Excel	Contém um resumo do processo de convergência
sddpcmga.csv	Microsoft Excel	Contém o custo marginal da demanda médio anual

28 MÓDULO GRAFICADOR

28.1 Introdução

O programa SDDP possui um módulo para graficar os resultados da simulação. Para acessá-lo clique no em seu ícone no menu superior, conforme ilustrado abaixo.



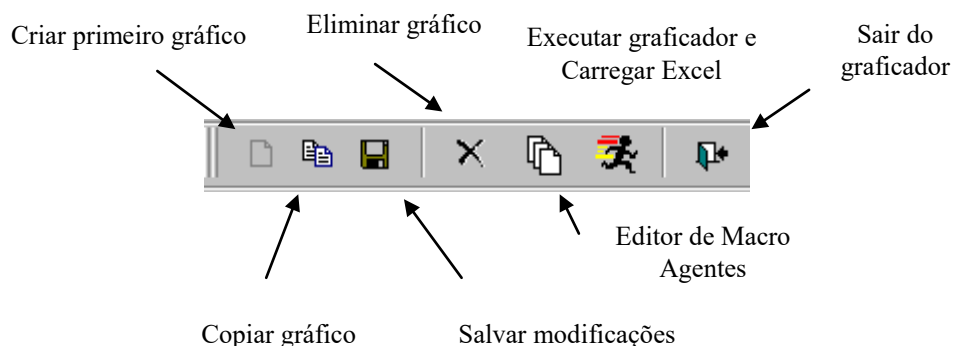
Posteriormente, o programa entra na tela principal do graficador. Existem seis atividades na tela do graficador do SDDP:

- Opções gerais
- Seleção de etapa
- Seleção de patamar
- Seleção de séries
- Título dos eixos
- Seleção de variáveis, agentes e macro agentes

Também existe a opção Macro Agente que permite a definição dos macro agentes. Macro Agentes são agentes compostos pela combinação linear de n agentes. Por exemplo, podemos definir um macro agente chamado HidroX. Este macro agente está associado a uma variável (por exemplo, Geração Hidro), e contém a soma da geração das usinas hidroelétricas da empresa X. Os agentes selecionados seriam as usinas hidroelétricas de X. Dois Macro Agentes são gerados automaticamente: TotalHidro (com a produção hidroelétrica total) e TotalTerm (com a produção térmica total).

Uma vez escolhidas todas as opções, pressione o botão Graficar para gerar estes gráficos no Excel.

28.2 Opções gerais



a) Criando o primeiro gráfico

Se não existem gráficos, a única opção disponível é Adicionar. Pressione no ícone de criação de novos gráficos. Entre com o nome do gráfico e pressione o botão Ok. Note que todas as opções estão habilitadas na tela principal.

b) Selecionando gráficos

O programa SDDP permite a definição de vários gráficos. Escolha um gráfico a partir do menu localizado na parte superior da tela, que contém a lista de todos os gráficos criados.

c) Mudando o nome dos gráficos

Para modificar o nome de um gráfico siga o seguinte procedimento:

- Escolha o gráfico da lista.
 - Entre com o novo nome. Note que as modificações são realizadas automaticamente na lista.
- d) Copiando gráficos (criando novos gráficos)

Copie gráficos existentes com o seguinte procedimento:

- Selecione um gráfico da lista.
- Pressione o botão Copiar Gráfico.
- Entre com o nome do novo gráfico e pressione o botão Ok. Um novo gráfico se cria, com os mesmos parâmetros do gráfico original.

e) Eliminando gráficos

Elimine gráficos com o seguinte procedimento:

- Selecione o gráfico da lista.
- Pressione o botão Eliminar.
- Confirme a eliminação do gráfico.

28.3 Seleção de etapa

A seleção é realizada da lista de Etapas, como é mostrado na seguinte figura:

Detalhes da interface:

- Título:** Etapas
- Inicial:** 1
- Final:** 8
- Patamares:** 1
- Lista de Patamares:** 1999, 2000 (selecionado), 2001

Importante: não faça uma seleção inválida de etapas, como, por exemplo, ter uma etapa inicial posterior à etapa final. Este erro somente é detectado quando se executar o graficador através do botão **Graficar**.

28.4 Seleção de patamares de demanda

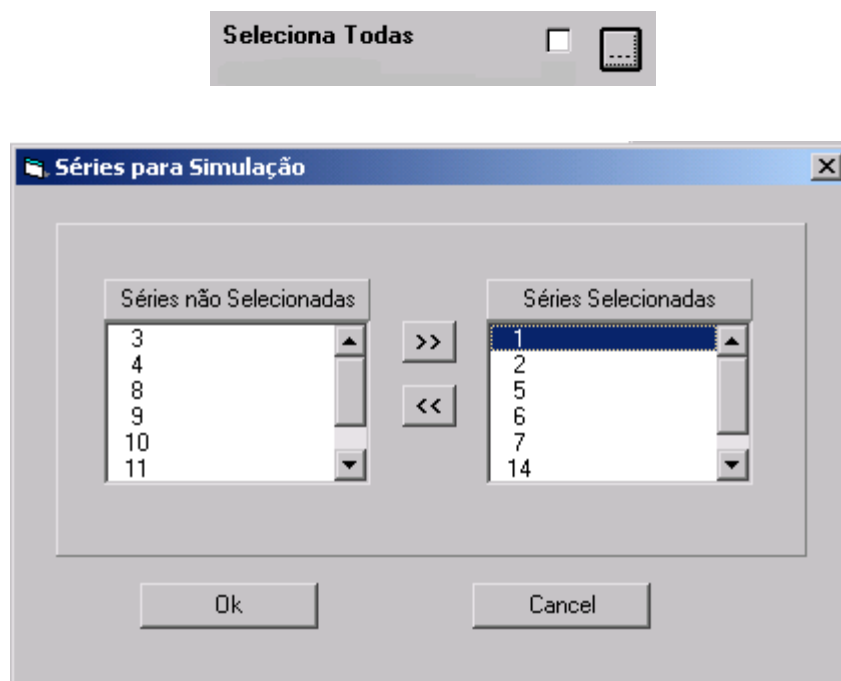
Pressione os botões dos patamares que deseja selecionar. Pressione novamente para cancelar a seleção.

As opções são:

Somar valores por patamar	Agrega valores por etapa
Somar etapas por ano	Agrega valores por ano

28.5 Seleção de séries

Se a opção *Selecionar Todas* não está marcada, ao pressionar o botão à direita da caixa de seleção, pode-se selecionar séries específicas:



As cinco opções restantes do módulo de Séries estão descritas na tabela seguinte:

Grafica Séries	serão graficadas as trajetórias individuais associadas aos cenários de hidrologia
Grafica Média	a média das sequências selecionadas será graficada
Grafica Desvio Padrão	grafica o desvio padrão das sequências selecionadas
Grafica quantia superior	grafica a quantia superior de x%, que é o valor Q_x tal que $P(Q < Q_x) = x / 100$, onde Q é a variável selecionada
Grafica quantia inferior	grafica a quantia inferior de x%, que é o valor Q_x tal que $P(Q > Q_x) = x / 100$, onde Q é a variável selecionada

28.6 Título dos eixos (opcional)

Entre com os títulos para os eixos X, eixo Y, e eixo secundário. Esta informação não é obrigatória.

28.7 Seleção de variáveis, agentes e macro agentes


As variáveis são entidades com características do sistema que se aplicam aos agentes. Como exemplo a variável Geração Hidroelétrica se aplica às usinas hidroelétricas que vêm a ser os agentes. Analogamente, a variável Consumo de Combustíveis se aplica aos combustíveis, que são os agentes neste caso.

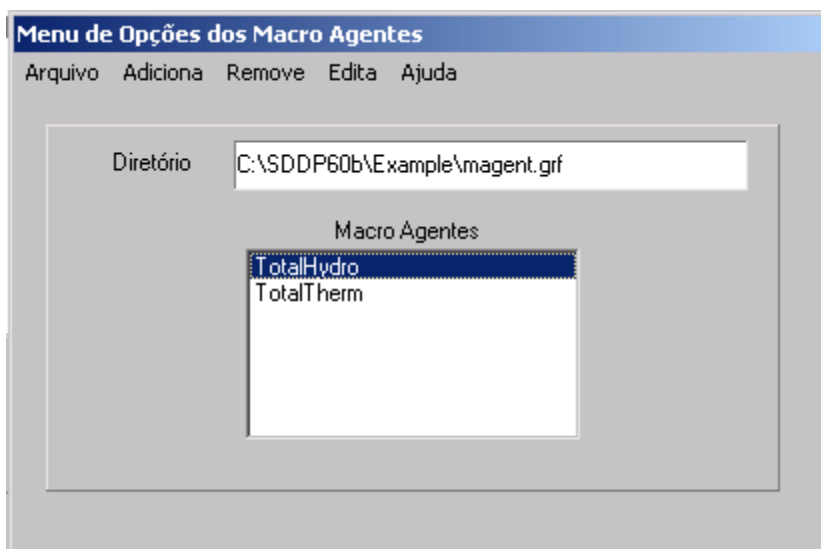
Selecione variáveis pressionando o botão Variáveis, na tela principal do graficador.

Logo aparecerá uma nova tela. A seleção das variáveis é efetuada com os botões (<<) e (>>). Pressionando a tecla CTRL conjuntamente com as flechas a cima ou abaixo, podem-se escolher múltiplas variáveis. As variáveis selecionadas aparecem na lista de Variáveis Selecionadas da tela principal.

O processo de seleção de agentes e de macro agentes é análogo ao de variáveis.

28.8 O editor de macro agentes

O SDDP permite criar arquivos com a definição de macro agentes  – que resulta em uma maior flexibilidade, já que arquivos de macro agentes podem ser criados sobre medida para determinados estudos. O módulo de definição de macro agentes é acessado através do ícone do editor de Macro Agentes, localizado na parte superior da tela do graficador.



Para ler um arquivo de macro agentes existente, escolha a opção **Abrir** do menu Arquivo.

Para criar um novo arquivo, editar o macro agente atual e depois gravar com o nome de um novo arquivo (opção **Salvar como**)

- Adicionando macro agentes:
Adicione gráficos com o seguinte procedimento:
 - (a) Pressione o botão Adicionar
 - (b) Entre com o nome do novo macro agente. Pressione Ok.
 - (c) Escolha uma variável para a qual o novo macro agente se aplica. Pressione Ok.

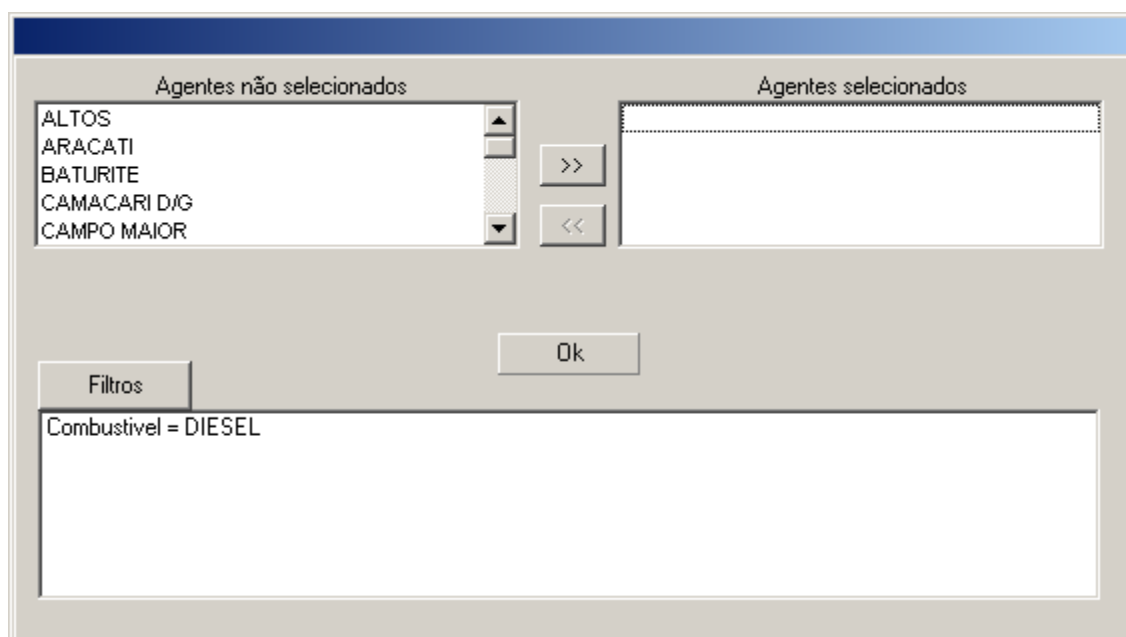
- (d) Selecione agentes. Entre com seus respectivos coeficientes. Se nenhum coeficiente é especificado, SDDP assume o valor 1. Isto significa que a combinação linear é, na verdade, convertida em uma soma. Pressione o botão Ok.
- Eliminando um macro agente:
 - (a) Escolha o macro agente da lista dos macro agentes.
 - (b) Pressione o botão Elimina.
 - (c) Confirme a eliminação do macro agente
- Editando um macro agente:
 - (a) Selecione o macro agente da lista
 - (b) Pressione o botão Editar
 - (c) Selecione a variável correspondente a este macro agente
 - (d) Agora adicione ou elimine os agentes da lista, modifique os coeficientes, etc. Pressione o botão Ok.

28.9 Filtros

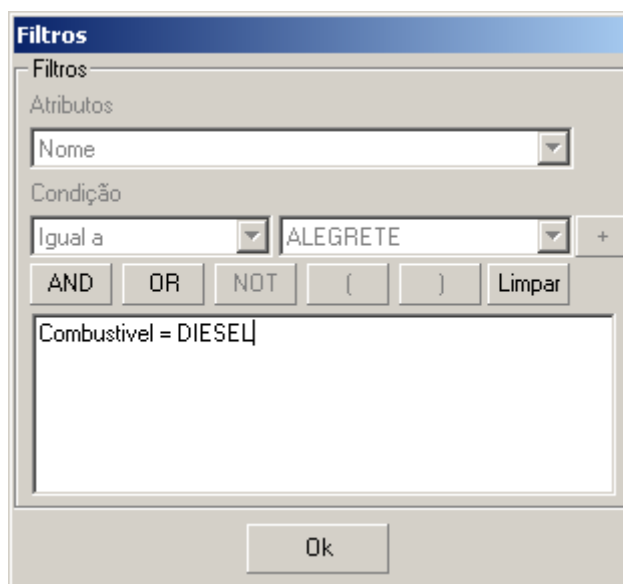
Os filtros são ferramentas do ambiente do graficador que facilitam a seleção dos agentes mediante o uso de atributos.

Dado o conceito de *Variável* (geração térmica, fluxo nos circuitos, custo marginal de demanda, etc.) e *Agentes* (hidroelétricas, térmicas, barras, etc.), os *Filtros* consistem em ferramentas utilizadas para selecionar *Agentes* mediante o valor de um *Atributo* ou mediante a composição de vários *Atributos*.

O botão de seleção de filtros, dentro da tela de seleção de agentes, é mostrado a seguir:

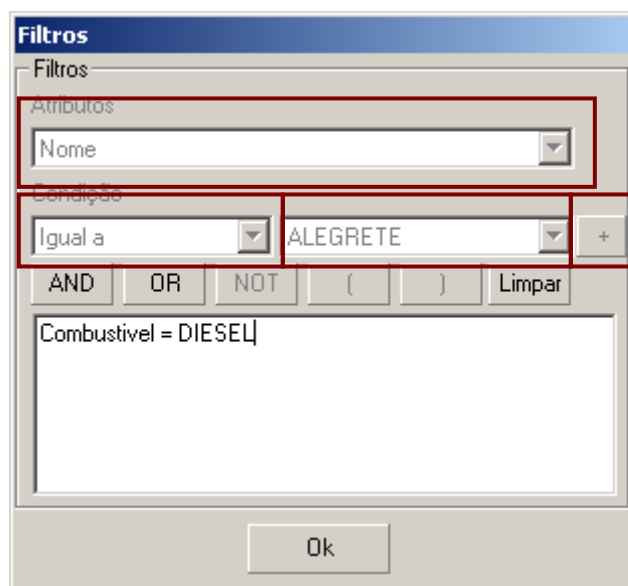


Uma vez pressionado o botão Filtros, a seguinte tela é ativada:



A tela de seleção de filtros permite criar e executar sofisticados filtros para a seleção precisa dos agentes através de combinações de restrições aos atributos. Para realizar estas combinações são disponíveis operadores lógicos **AND**, **OR** e **NOT**, além de parêntesis **(** e **)**, que ajudam na construção da expressão lógica desejada.

Para adicionar uma restrição a um determinado atributo, os seguintes passos devem ser seguidos:




1. Selecionar o atributo
2. Selecionar o tipo de restrição:
 - **Entre**
 - **Igual a**
 - **Maior que**
 - **Maior ou igual a**
 - **Menor que**

– Menor ou igual a

3. Informar o valor da restrição

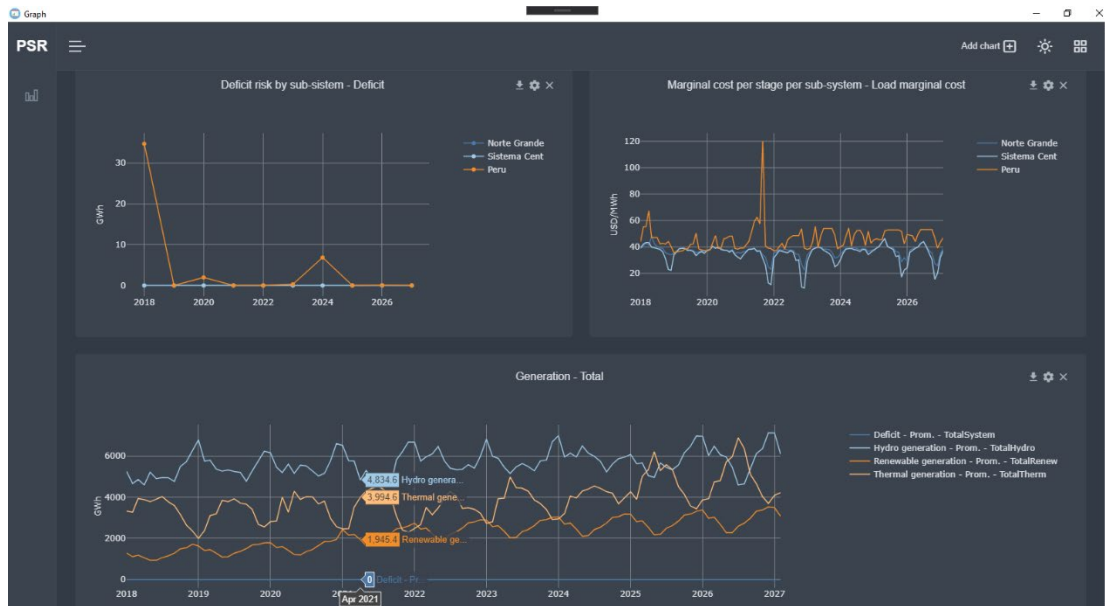
4. Pressionar o botão de adicionar 


Para eliminar a expressão utilize o botão .

Uma vez escolhidas todas as opções, pressione o botão Graficar para gerar estes gráficos no Excel.

28.10 Nova ferramenta de visualização

Uma nova ferramenta para a visualização dos resultados do SDDP está disponível. As opções de seleção padrão para gerar um novo gráfico são basicamente as mesmas do módulo graficador tradicional, enquanto a interface principal foi redesenhada para uma melhor experiência do usuário. Os gráficos são organizados em um *dashboard* intuitivo e personalizável para facilitar a visualização dos resultados do SDDP:



Para acessá-la, clique na seta ao lado do botão do módulo graficador () e selecione a opção “Graficador 4.0Beta”.

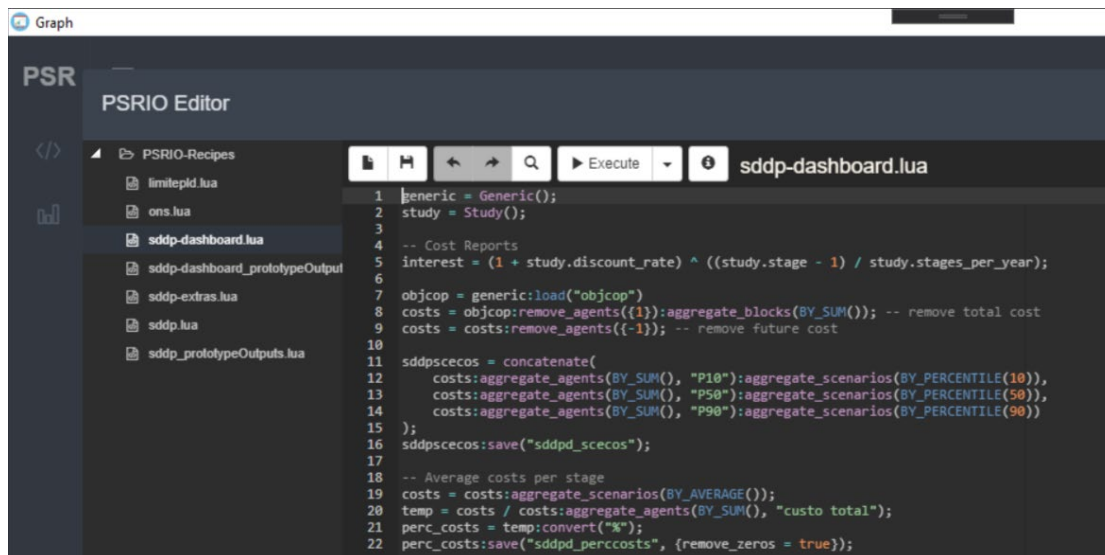
Para mais detalhes, visite a documentação do Graph em <https://psrenergy.github.io/graph-docs>.

29 PSRIO

O processamento dos dados de entrada e saída é um passo fundamental para a compreensão dos resultados, preparação de estudos e ligação com outros modelos. O uso de ferramentas tradicionais como Excel ou rotinas feitas sob medida para processar arquivos específicos é trabalhoso, repetitivo e propenso a erros. Além disso, elas trazem limitações relacionadas à escalabilidade devido ao aumento do volume de resultados originados pela maior complexidade e detalhe na representação do SDDP.

Com foco nesta questão, desenvolvemos o PSRIO para complementar o conjunto de ferramentas de processamento e visualização da PSR. É um intérprete de script para a linguagem Lua com extensões para o manuseio de bases de dados de modelos da PSR (entrada e resultados) que realiza várias operações matemáticas, estatísticas e de processamento de dados especificadas pelo usuário de forma rápida, personalizável e extremamente amigável. É possível realizar operações como adicionar resultados de agentes, calcular percentis, converter unidades e várias outras com poucas linhas de script sem se preocupar com fórmulas ou *loops* de programação para leitura, processamento e escrita de arquivos. Os resultados são salvos no formato padrão, e a ferramenta Graph pode criar *dashboards* a partir deles, podem ser usados no Excel, diretamente em relatórios, ou mesmo como entrada para outro modelo. Os scripts do usuário, conhecidos como “arquivos de receitas”, são salvos no diretório do caso e processados automaticamente após o SDDP concluir a execução.

É integrado ao Graph 4.0, que contém um editor PSRIO integrado que permite a criação, personalização e execução dos arquivos de receitas, como mostrado abaixo:



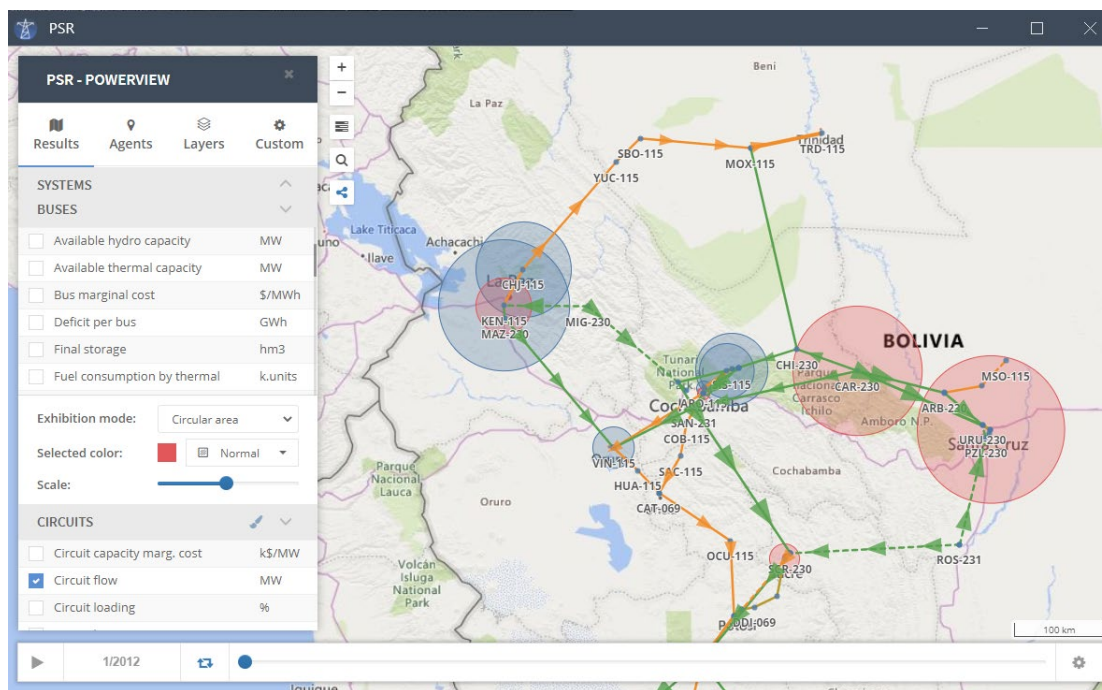
```


1 generic = Generic();
2 study = Study();
3
4 -- Cost Reports
5 interest = (1 + study.discount_rate) ^ ((study.stage - 1) / study.stages_per_year);
6
7 objcop = generic:load("objcop")
8 costs = objcop:remove_agents({1}):aggregate_blocks(BY_SUM()); -- remove total cost
9 costs = costs:remove_agents({-1}); -- remove future cost
10
11 sddpscecos = concatenate(
12     costs:aggregate_agents(BY_SUM(), "P10"):aggregate_scenarios(BY_PERCENTILE(10)),
13     costs:aggregate_agents(BY_SUM(), "P50"):aggregate_scenarios(BY_PERCENTILE(50)),
14     costs:aggregate_agents(BY_SUM(), "P90"):aggregate_scenarios(BY_PERCENTILE(90))
15 );
16 sddpscecos:save("sddpd_scecos");
17
18 -- Average costs per stage
19 costs = costs:aggregate_scenarios(BY_AVERAGE());
20 temp = costs / costs:aggregate_agents(BY_SUM(), "custo total");
21 perc_costs = temp:convert("%");
22 perc_costs:save("sddpd_percscosts", {remove_zeros = true});
  
```

Para mais detalhes, visite a documentação da PSRIO em <https://psrenergy.github.io/psrio-docs/>.

30 POWER VIEW PARA RESULTADOS DE ESTUDOS DE TRANSMISSÃO

O Power View é uma ferramenta para a visualização gráfica de resultados de estudos relacionados à transmissão dos modelos da PSR. Esta ferramenta permite a visualização em mapa, em ambiente georreferenciado e integrado, de fluxos de circuitos animados, carregamento de circuitos e informações relacionadas à geração e a carga por barra. Também é possível mostrar uma evolução cronológica animada das variáveis ao longo do período de estudo.



Para acessá-lo, basta clicar na seta ao lado do botão Power View () e selecionar a opção “Power View Beta”.

Para mais detalhes, visite a documentação em <https://psrenergy.github.io/powerview-docs/>.

31 POSSÍVEIS PROBLEMAS RELACIONADOS À CHAVE FÍSICA DO SDDP

31.1 Error Code 03

O erro identificado como *Error Code 03* está associado a um problema da chave física, e pode dever-se a um dos seguintes motivos:

- 1) Chave física mal encaixada ou com defeito;
- 2) Usuário do SDDP não habilitado para utilizar a versão corrente do programa.

Para verificar estes possíveis problemas, proceda como a seguir:

Passo 1) Verificar problema de encaixe da chave física no computador # 1. Retirar e colocar a chave novamente. Se o problema continua, prosseguir com o Passo 2;

Passo 2) Colocar a chave física em um computador # 2 que tenha a mesma versão do SDDP instalada e verificar se ela funciona. Caso não funcione, prosseguir com o Passo 3. Se funcionar, o erro pode estar associado a um problema físico da porta do computador #1;

Passo 3) Colocar uma segunda chave física que funcione no computador # 1. Verificar se ela funciona. Caso funcione, o problema é da chave física, por favor entrar em contato com a PSR para substituição. Caso não funcione, vá para o Passo 4;

Passo 4) O programa SDDP verifica se o usuário está habilitado a utilizar a versão corrente do programa, o que corresponde a estar atualizado com a taxa de manutenção anual do programa. Caso não seja um usuário habilitado, o SDDP irá apresentar *Error Code 03* como mensagem de saída.

31.2 Error Code 12

O erro identificado como *Error Code 12* ocorre quando o driver da chave não foi instalado corretamente. Em geral isto ocorre quando o SDDP foi instalado sem direitos de administrador.

Para verificar este possível problema proceda como a seguir:

Verificar se o programa SDDP foi instalado como administrador (Windows NT, 2000, 2003, XP e Vista). Caso contrário instalá-lo e verificar se a chave funciona. Caso a chave não funcione, contatar a PSR.

32 PSR CLOUD

O PSR Cloud é o nosso ambiente web que pode ser usado para executar o SDDP, evitando assim a necessidade de os usuários investirem em computadores de alto desempenho. É um esquema de pagamento por execução e por processador utilizado, em que os usuários podem alterar o número de processadores. As máquinas disponíveis para a execução são constantemente atualizadas. Para mais detalhes sobre o PSR Cloud, por favor, visite <https://www.psr-inc.com/software/?current=p4081>.

A PSR oferece a todos os usuários SDDP o uso gratuito de até 72 horas de processadores no PSR Cloud; entre em contato com a PSR via sddp@psr-inc.com para obter mais detalhes.