

SDDP VERSÃO 17.0



Aprimoramentos de modelagem

▶ **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.

A partir desta versão, 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.

Como em todas as características do SDDP, o horizonte de estudo pode abranger várias décadas com resolução horária. Confira!

▶ DEMANDA FLEXÍVEL

Devido à inserção explosiva de energias renováveis, a flexibilidade se tornou um recurso essencial no planejamento e operação do sistema de energia. Desde seu início, o SDDP representa em detalhes elementos flexíveis como plantas hidrelétricas, baterias, reservatórios de combustível gerenciados, contratos e circuitos de transmissão. Nesta versão, adicionamos recursos do lado da demanda ao portfólio de flexibilidade:

▶ **Modelagem de atrasos/antecipações de consumo de energia** nos setores industrial, comercial e residencial, o que permite a representação de programas de gerenciamento pelo lado da demanda (Demand Side Management – DSM em inglês) e agregadores de flexibilidade. O deslocamento de carga está sujeito a fatores de aumento/diminuição mínimos e máximos de carga em cada período (bloco ou hora).

▶ **Também é possível** especificar uma janela de deslocamento¹ (em horas), determinando o intervalo de tempo no qual a carga pode ser deslocada.

▶ **Finalmente**, existe uma restrição de integralidade: a soma das cargas deslocadas ao longo das etapas de tempo deve ser igual ao consumo total original.

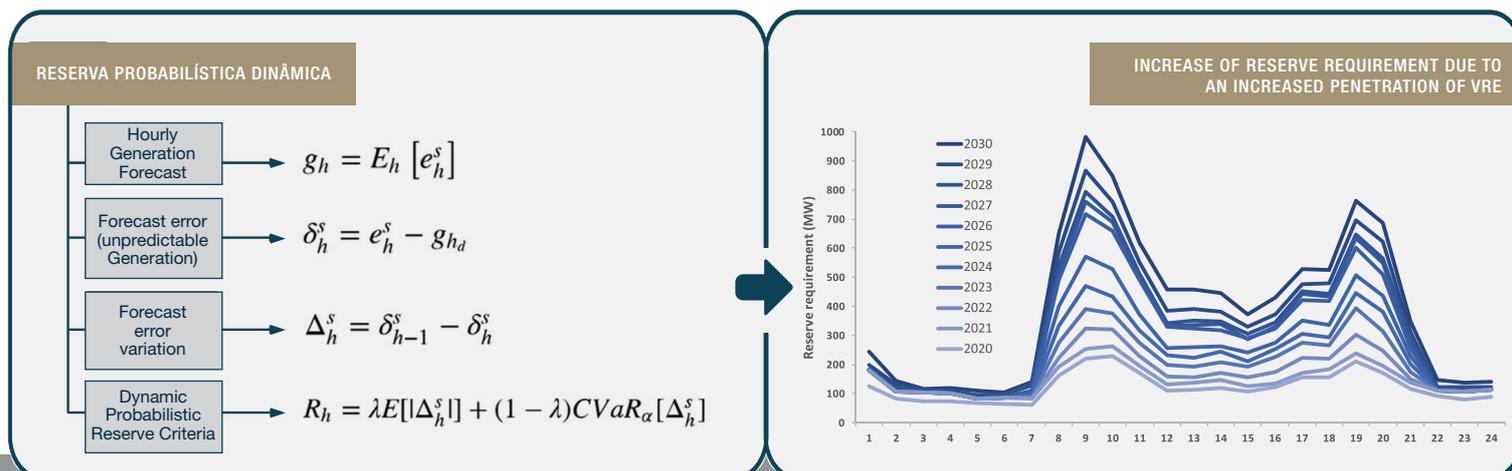
Outra característica de demanda flexível é um “fator de tolerância” do consumidor para redução de carga (não de deslocamento). Esta redução pode resultar, por exemplo, do controle do ar-condicionado por um agregador de flexibilidade. Esta tolerância tem um valor máximo (em p.u. da carga de referência) e um prêmio (em US\$/MWh).

Esta nova funcionalidade está disponível na tela
“Dados básicos > Demanda > Configuração de demanda flexível”.

▶ RESERVA PROBABILÍSTICA DINÂMICA (RPD)

As flutuações dos recursos de energia renovável variável (ERVs), tais como eólica e solar, exigem maiores requisitos de reserva de geração. Observe que esses requisitos de reserva estão relacionados aos erros de previsão e não à geração de ERV em si. Em outras palavras, se fosse possível prever com 100% de precisão a produção de ERV para o dia ou semana seguinte, nenhuma reserva de geração seria necessária. Um exemplo interessante foi a ocorrência de um eclipse solar total na Europa alguns anos atrás. Embora o eclipse tenha feito toda a geração solar chegar a zero, sua evolução temporal e espacial pôde ser prevista com precisão, e a programação detalhada de outras plantas foi preparada e implantada. Portanto, uma questão importante é: como calcular as reservas relacionadas às ERVs considerando os erros de previsão?

A PSR desenvolveu uma nova metodologia para este assunto, chamada Reserva Probabilística Dinâmica (RPD). Ela visa fornecer uma avaliação probabilística e dinâmica dos erros de previsão das ERVs, traduzindo estes erros na exigência de reserva sistêmica. A metodologia de cálculo da RPD é resumida e exemplificada a seguir:



Para maiores detalhes, por favor, consulte este artigo: <https://arxiv.org/abs/1910.00454>.

¹ Esta funcionalidade só está disponível em simulações horárias.

▶ 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? Na experiência do PSR de aplicar o HR a muitos sistemas com diferentes capacidades de armazenamento e mixes de geração, a resposta é: o tempo total de execução provavelmente será o mesmo ou ainda menor.

Esta nova funcionalidade está disponível na tela
“Opções de execução > Despacho econômico > Horizonte rolante”.

▶ 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.

Há uma nova opção intermediária para a representação da cronologia entre blocos de horas nesta nova versão. Com esta característica, 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. 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.

Este recurso está disponível apenas para casos semanais.

MELHOR REPRESENTAÇÃO DE NÃO-CONVEXIDADES

Na etapa de simulação 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. As versões anteriores do SDDP alcançaram convexidade criando aproximações lineares dos elementos não convexas. Nesta versão, implementamos uma estratégia melhorada para lidar com as não-convexidades no cálculo da FCF.

Há uma nova opção na tela “Opções de execução > Despacho econômico > Estratégia de solução” que ativa esta estratégia a partir de uma iteração inicial do algoritmo.

NETPLAN: ESTUDOS DETALHADOS DE REDES DE TRANSMISSÃO

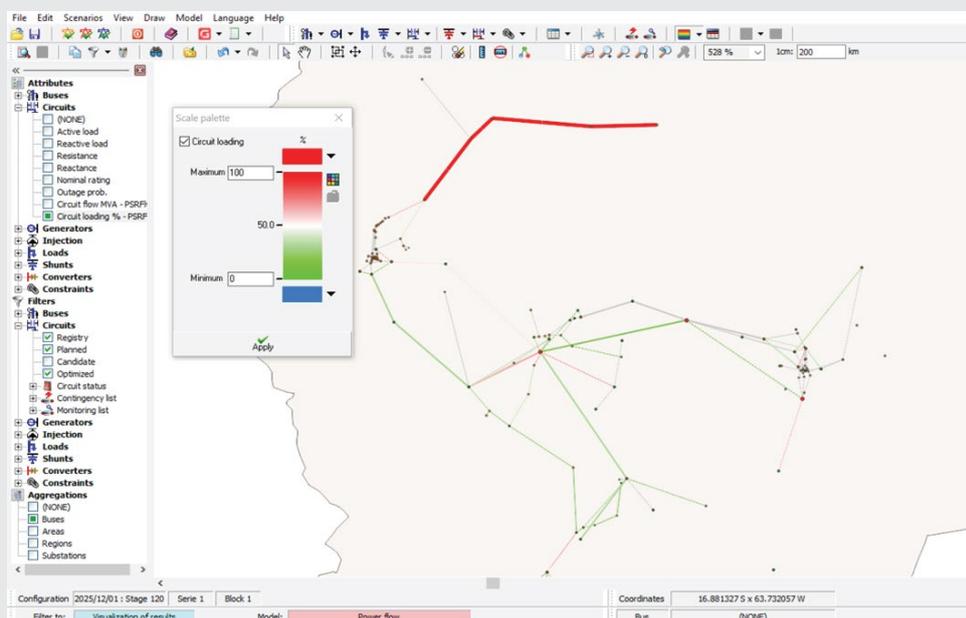
O SDDP 17.0 está totalmente integrado ao NetPlan 4.0, uma ferramenta que permite realizar estudos de:

- 1- planejamento detalhado da expansão e operação de redes de transmissão com representação de contingências
- 2- expansão de suporte de tensão
- 3- fluxo de potência
- 4- cálculo dos custos de uso do sistema de transmissão aos usuários finais (demandas e geradores).

As decisões de expansão da geração e de interconexões do OptGen² e as decisões operativas de despacho das unidades geradoras do SDDP são incorporadas, automaticamente, nas análises detalhadas da rede de transmissão com os módulos de otimização e simulação. Isso permite definir as ampliações necessárias para a rede de transmissão, levando em consideração as incertezas na produção de usinas renováveis (hidrelétricas, eólicas, solares, etc.) através dos conjuntos de cenários de geração e demanda obtidos através do SDDP. Ao final, as decisões de expansão da rede de transmissão que são obtidas pelo NetPlan são automaticamente incorporadas à base de dados para análise da operação no SDDP ou planejamento da expansão integrada geração-transmissão no OptGen.

O NetPlan possui uma interface gráfica amigável que permite visualizar o diagrama da rede, verificar/modificar os dados dos elementos e visualizar os resultados produzidos pelos modelos diretamente no diagrama.

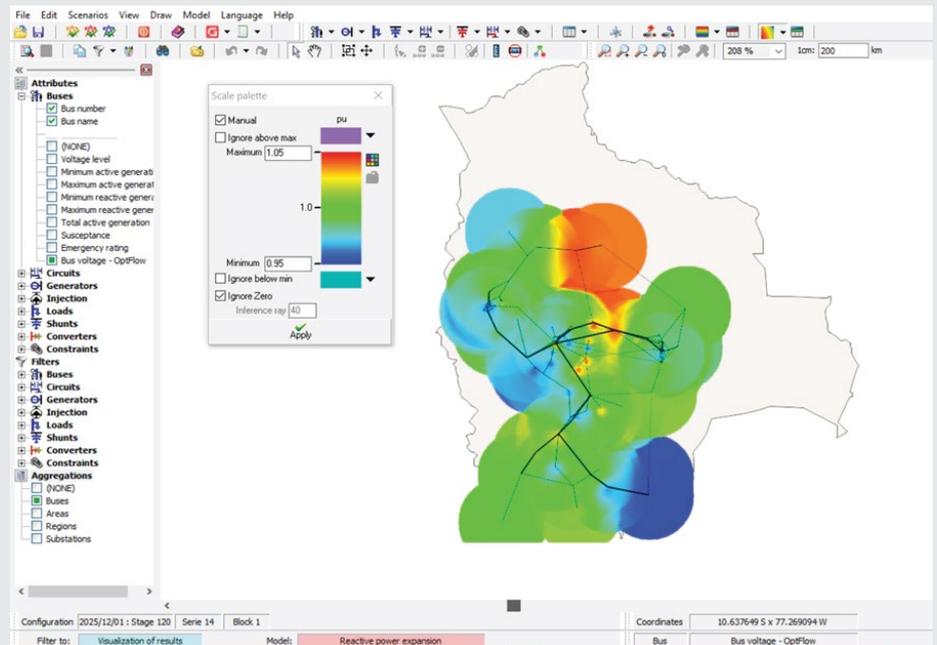
Por exemplo, é possível visualizar os circuitos que operam em sobrecarga de acordo com o despacho do SDDP, o que permite identificar os circuitos da rede onde seria indicado adicionar projetos candidatos ao módulo de expansão OptNet. Por sua vez, as decisões do plano de expansão da transmissão obtidas pelo OptNet também são ilustradas no diagrama.



² OptGen é o modelo de planejamento da expansão de geração e de interconexões inter-regionais.

Para mais informações, visite <https://www.psr-inc.com/software/?current=p4038>.

Além disso, resultados nodais como geração e demanda por barra, custos marginais, ângulo e magnitude de tensão podem ser visualizados. A figura ao lado ilustra o gráfico de “countoring” para a magnitude da tensão nas barras, calculadas pelo módulo de fluxo de potência ótimo OptFlow. Este tipo de resultado permite identificar regiões que apresentam deficiências de potência reativa (regiões coloridas em azul e vermelho no diagrama ao lado); e cujas barras seriam candidatas a expansão de capacitores e/ou reatores em estudos de planejamento de expansão de suporte de tensão.

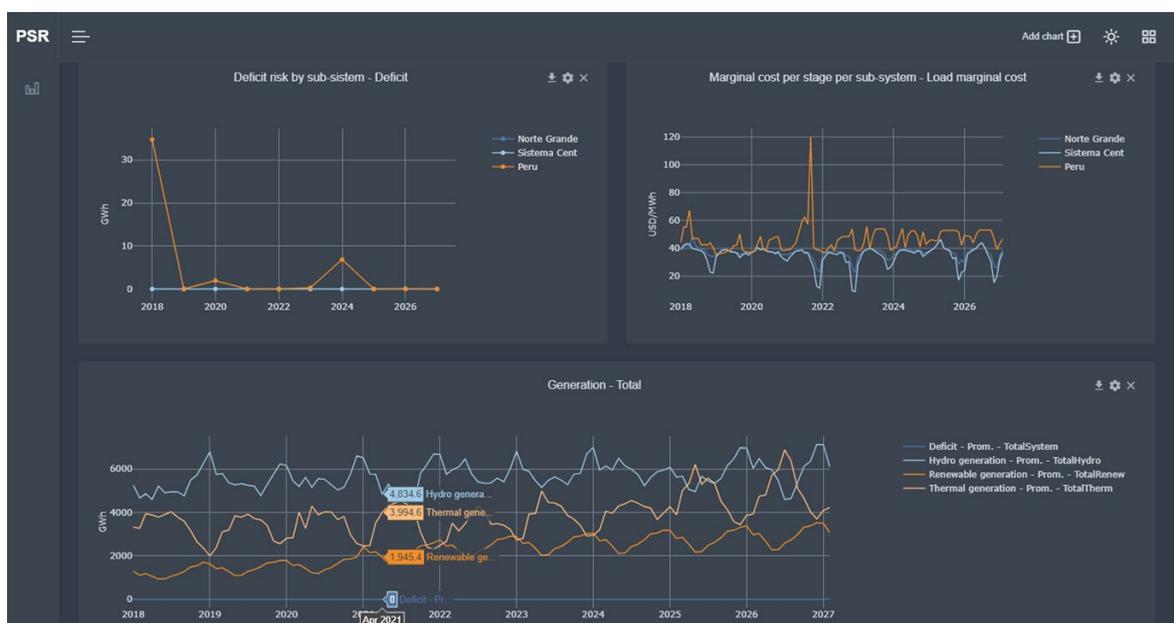


Para mais detalhes, visite nosso site <https://www.psr-inc.com/software-en/?current=p4046> ou contacte diretamente netplan@psr-inc.com

Visualização, tratamento de dados e saída

▶ 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 (📊) e selecione a opção “Grficador 4.0Beta”.
Para mais detalhes, visite a documentação do Graph em <https://psrenergy.github.io/graph-docs>



► 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:

```

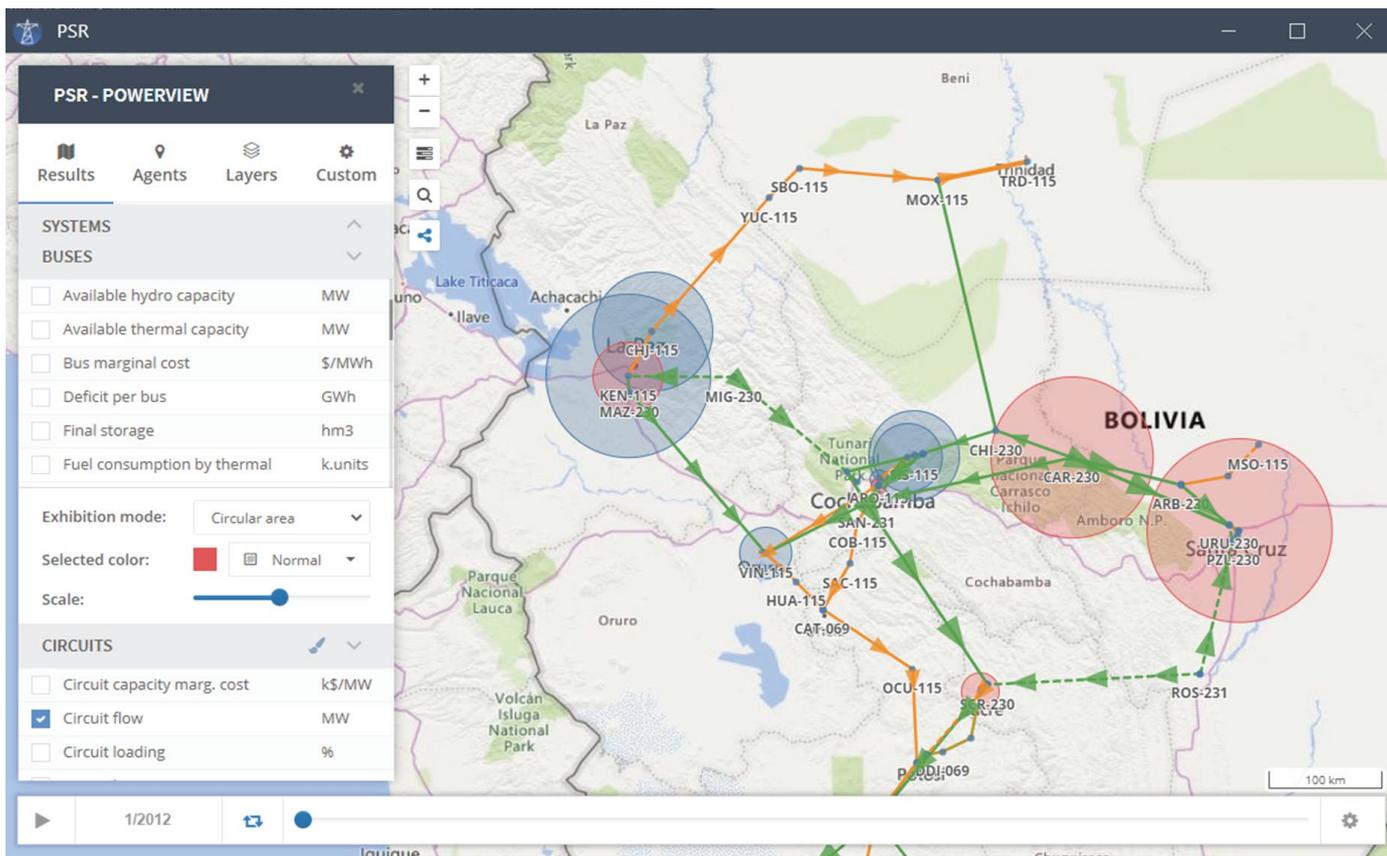
PSR
PSRIO Editor
PSRIO-Recipes
  limitepld.lua
  ons.lua
  sddp-dashboard.lua
  sddp-dashboard_prototypeOutput
  sddp-extras.lua
  sddp.lua
  sddp_prototypeOutputs.lua
  sddp-dashboard.lua
1 generic = Generic();
2 study = Study();
3
4 -- Cost Reports
5 interest = (1 + study.discount_rate) ^ ((study.stage - 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_perccosts", {remove_zeros = true});

```

Para mais detalhes, visite a documentação da PSRIO em <http://psr.me/psrio>
CONFIRA ESTA FUNCIONALIDADE!

Nova ferramenta Power View

Power View foi completamente reescrito e redesenhado, tornando-o muito mais rápido, moderno e bonito.



Está disponível na versão Beta para que os usuários possam usá-lo. 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/>
Planejamos descontinuar a versão antiga do Power View na próxima versão do SDDP.

Ferramenta integrada de clusterização

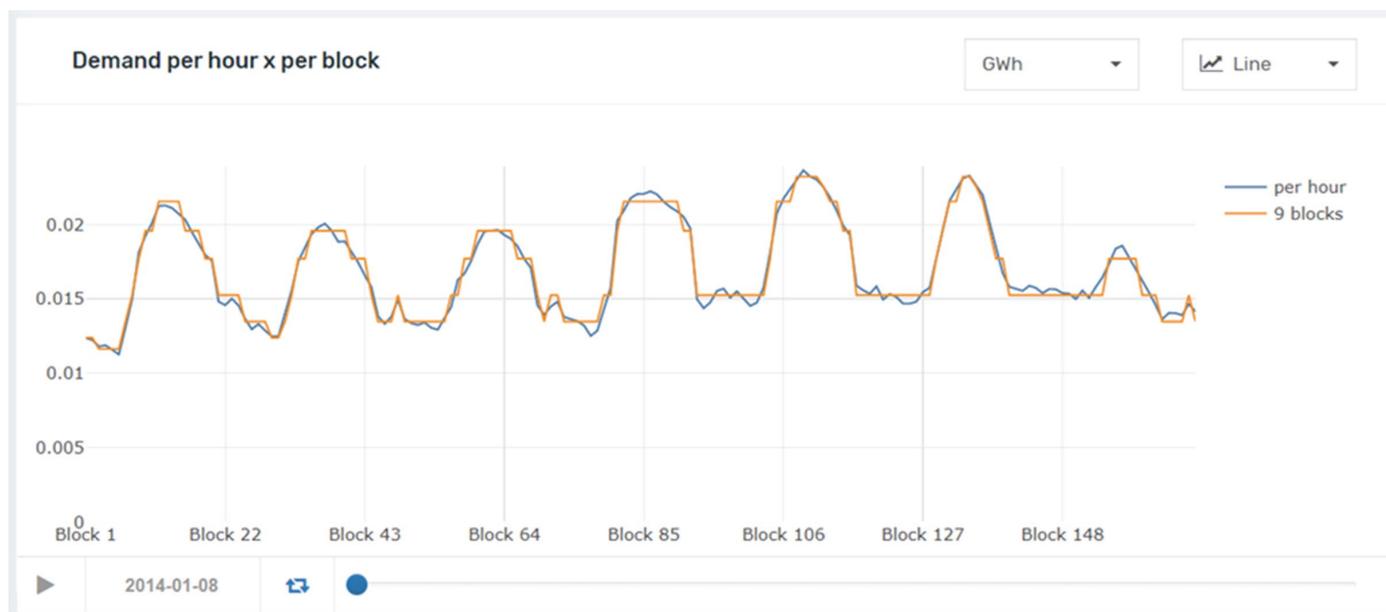
Um dos primeiros passos necessários para construir um caso do SDDP a partir do zero é a definição do número de blocos. Os blocos representam conjuntos de horas dentro de cada semana ou mês nos quais os dados do sistema são similares. Esta característica permite a consideração de diferentes configurações em cada etapa sem a entrada de uma grande quantidade de dados. A associação entre as horas e seus blocos correspondentes é informada nos chamados dados de “mapeamento hora-bloco”.

Nesta nova versão, duas novas funcionalidade relativas ao mapeamento hora-bloco estão disponíveis:

▶ **Representação por blocos:** esta funcionalidade ajuda a criar a partir do zero ou substituir o mapeamento hora-bloco para o número selecionado de blocos. É acessado em “Opções de execução > Clusterização > Representação por blocos”.

▶ **Remapeamento hora-bloco:** esta característica 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 no banco 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:



Para mais detalhes, consulte o Manual do Usuário do SDDP.

Outras melhorias

► O Dashboard foi redesenhado, tendo agora duas planilhas:

Qualidade da solução:

- 1- o relatório de convergência;
- 2- o gráfico dos custos operativos (diferentes termos não nulos da função objetivo do SDDP);
- 3- o mapa de calor 2D que mostra a proporção de penalidades por violação e déficit no custo de cada estágio/cenário; e
- 4- o mapa de calor 2D que mostra o processo de convergência por iteração e estágio.

Resultados: apresenta os seguintes resultados operativos:

- 1- custo marginal anual por subsistema;
- 2- risco de déficit por subsistema;
- 3- custo marginal por estágio por subsistema; e
- 4- os gráficos de geração.

► Novos dados para a demanda:

► **Diferentes cenários de demanda:** cenários horários de demanda de energia tanto para demandas inelásticas/elásticas quanto flexíveis podem agora ser definidos.

► **Em versões anteriores** só era possível definir uma única resolução de dados de demanda para todas as demandas, que é selecionada na tela “Opções de execução > Resolução de dados”. Agora, é possível escolher uma resolução para cada demanda, permitindo maior flexibilidade na definição dos dados. As opções de resolução são: blocos, horária, cenário horário ou geral (igual à opção definida na tela “Resolução de Dados”).

► **Transformadores defasadores:**

na tela “Dados básicos > Rede elétrica > Configuração do circuito”, os usuários podem informar os ângulos mínimo/máximo dos transformadores defasadores a serem considerados nas execuções de fluxo de potência linearizado realizadas pelo modelo SDDP.

► **Perdas quadráticas em elos CC:**

agora além dos fatores lineares, o usuário pode selecionar diretamente a nova opção “Quadrática”, introduzir o valor da resistência em %, e o modelo SDDP calculará automaticamente as perdas quadráticas;

► **Configuração de bacias hidrográficas:**

o usuário pode agora definir as bacias hidrográficas na “Configuração de bacias hidrográficas” e associar as estações hidrológicas às bacias hidrográficas;

► **Novas opções disponíveis para restrições gerais:**

novas variáveis³ podem ser adicionadas como termos das restrições genéricas definidas pelo usuário:

1) geração de usinas térmicas, 2) fluxo em elo CC, 3) geração de usinas hidrelétricas, 4) vazão incremental de usinas hidrelétricas, 5) demanda, 6) geração renovável, e 7) injeção líquida de bateria;

► **Novos dados/restrições de plantas hidrelétricas:**

► **Nova tabela de vazão (cronológica):** nas versões anteriores, apenas uma tabela “Defluência x Canal de fuga” podia ser definida na tela “Dados básicos > Usinas hidrelétricas > Configuração de hidrelétrica”. Agora, mais de uma tabela pode ser definida para modelar o comportamento sazonal⁴.

► **Nova opção disponível** para definir as restrições de conjuntos de reservatórios como uma porcentagem da energia armazenada máxima estabelecido na tela “Dados complementares > Usinas hidrelétricas > Restrições de conjuntos de reservatórios”.

► **Novos dados/restrições para contratos de combustível:**

► **Os dados de “Montante contratado”** tornam-se opcionais e são assumidos como ilimitados quando não são definidos.

► **Nova opção** para definir a unidade do “Montante consumido” em “unidades de combustível”.

► **Nova restrição de disponibilidade**, que pode ser definida cronologicamente na tela “Dados complementares > Combustível > Disponibilidade do contrato de combustível”.

► **Simulação final com cenários selecionados:**

a simulação de cenários selecionados está disponível para a opção de política evitando a necessidade de uma execução separada, como exigido nas versões anteriores.

³ Nosso objetivo é estender essa funcionalidade para cobrir todos os agentes. Diga-nos seus favoritos e ajude-nos a priorizar os próximos desenvolvimentos.

⁴ Se as tabelas sazonais estiverem definidas nessa tela, os dados de “Defluencia x Cota de canal de fuga” definidos na tela “Dados complementares > Usinas hidrelétricas > Modificação” serão ignorados.

► Novas funcionalidades para a representação horária:

► **Cenários de preço de combustível:** a incerteza nos preços dos combustíveis, definida na tela “Dados complementares > Combustível > Preço de combustível > Cronológico por cenário”, pode agora ser representada em execuções horárias.

► **Tabelas de fluxo hidro (cronológico):** as tabelas “Turbinamento x Eficiência” e “Volume x Turbinamento máximo”, definidas na tela “Dados Básicos > Usinas hidrelétricas > Configuração de usinas hidrelétricas”, podem agora ser representadas nas execuções horárias. Mais de uma tabela podem ser definidas para modelar o comportamento sazonal.

► Nova funcionalidade na interface:

Opção “Verificar dados” (): quando o usuário clica neste botão, todos os dados de entrada do SDDP são verificados para que possíveis inconsistências sejam encontradas e mostradas ao usuário para serem corrigidas antes de executar o modelo.

Para mais detalhes, consulte o Manual do Usuário do SDDP.

► REESTRUTURAÇÃO DOS ARQUIVOS DE DADOS DE ENTRADA

► O arquivo de dados do circuito (DCIRC.DAT) e o arquivo de dados de modificação do circuito (MCIRC.DAT) foram versionados para contemplar os dados de transformador defasador.

► O arquivo de dados do contrato de combustível (FUECNTXX.DAT) foi versionado para contemplar as mudanças mencionadas anteriormente.

A interface do SDDP abre um caso e aplica automaticamente o novo formato de dados, criando uma subpasta de backup (chamada **BAK**) antes do processo de conversão. Recomendamos enfaticamente a verificação dos dados convertidos antes de excluir a pasta de backup.

► 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 <http://psr.cloud/>.

A PSR oferece a todos os usuários SDDP o uso gratuito de até 64 horas de processadores no PSR Cloud; entre em contato com a PSR via sddp@psr-inc.com para obter mais detalhes.