

# Desafios da Modernização dos Modelos de Operação e Formação de Preço

2º Workshop  
on Computing  
Efficient Energy  
Prices

Os modelos de operação e formação de preço necessitam acompanhar o ritmo da modernização do setor elétrico. Entretanto, muitos desafios ainda precisam ser assimilados e confrontados pelos agentes e principais atores do setor.

Neste dia serão abordados alguns dos principais desafios **técnicos**, regulamentais e **práticos** a serem superados para uma maior sintonia entre as respostas dos modelos computacionais, a operação eletro-energética e o mercado brasileiro de energia elétrica.



**Eletrobras**  
Cepel

**Desafios Metodológicos, Computacionais e Práticos  
no Aperfeiçoamento dos Modelos**

---

André Luiz Diniz  
30/03/2021

---

## ➤ Modelos para planejamento e formação de preços no Brasil

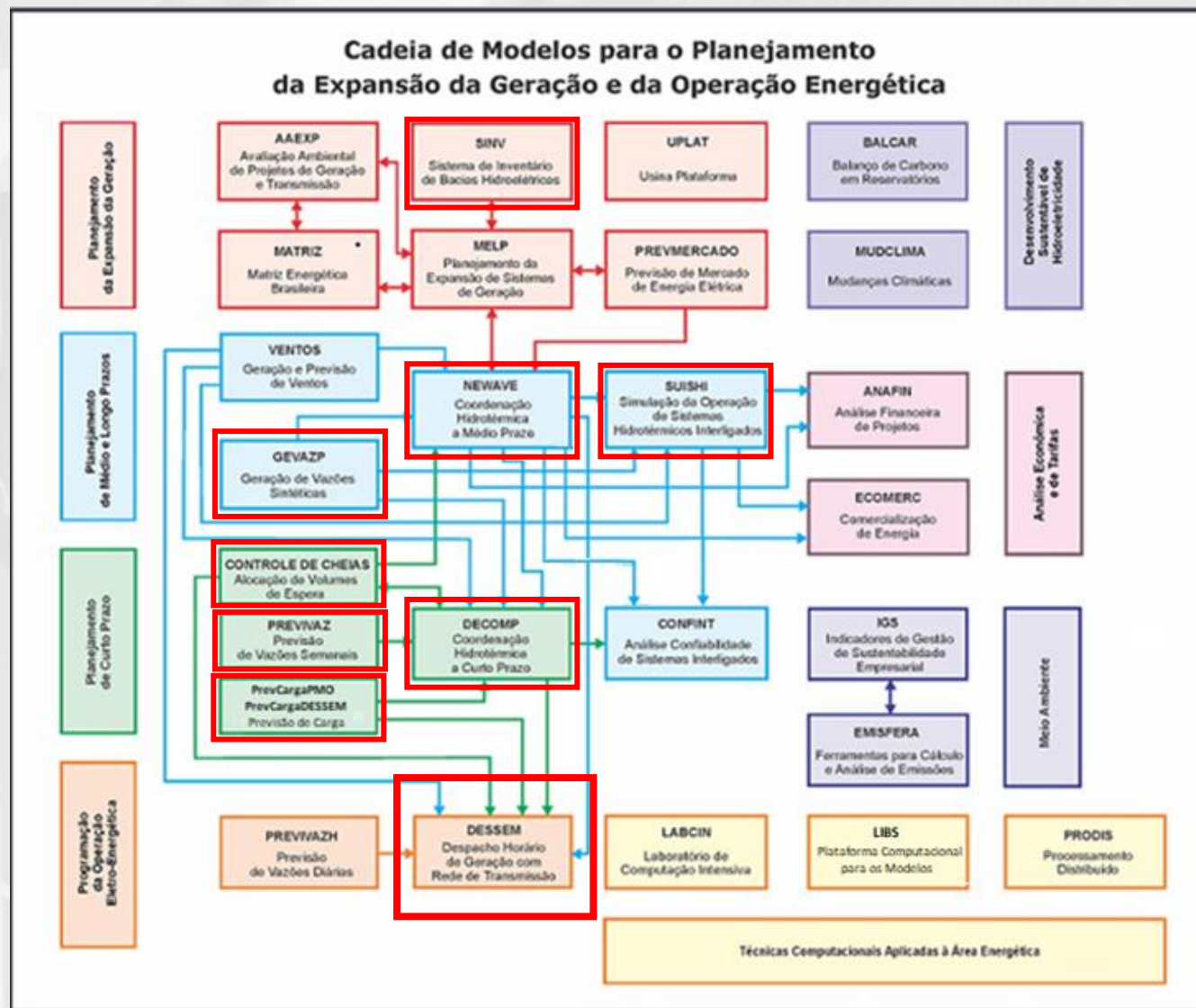
- ✓ Visão Geral
- ✓ Histórico de Evoluções Metodológicas

## ➤ Principais desafios metodológicos, computacionais e práticos para aprimoramento dos modelos

- ✓ Representação Temporal e de Cenários
- ✓ Modelagem da Transmissão
- ✓ Modelagem das Usinas Hidrelétricas e Reservatórios
- ✓ Modelagem das Usinas e Unidades Geradoras Térmicas
- ✓ Estratégia de Solução
- ✓ (Alguns) Aspectos Adicionais
- ✓ LIBS – Nova Plataforma Computacional para os modelos de otimização energética do CEPEL

## ➤ Conclusões

# Modelos de Planejamento da Operação Desenvolvidos pelo CEPEL



Desenvolvido pelo CEPEL,  
colaborando com as instituições  
e a comunidade científica

Validados em grupos de trabalho  
envolvendo ONS, CCEE, EPE, MME,  
ANEEL, e em forças tarefas com os  
agentes e instituições do setor

Aprovado para uso oficial pela agência  
regulatória (ANEEL)

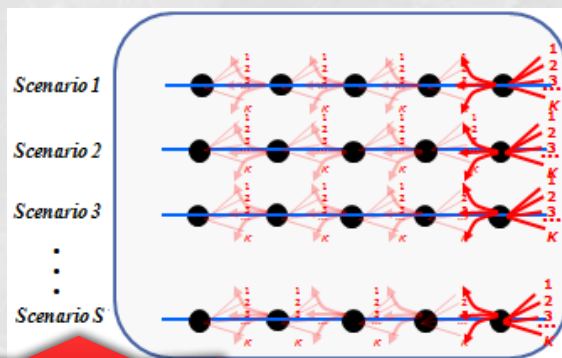
Utilizado por:

- CPAMP
- ONS (para o despacho)
- CCEE (para preços)
- EPE (para planejamento)
- Empresas e Agentes do setor

# Principais Funções dos Modelos (1/3)

## NEWAVE

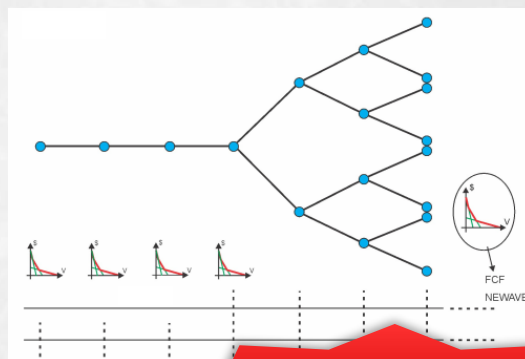
Cálculo da "Política de Operação"  
(valoração da água no tempo)



Otimização  
Estocástica  
(PDDE)

## DECOMP

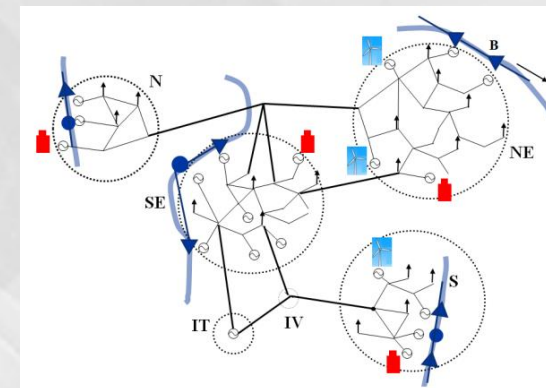
Refinamento da Política, com  
informações de mais curto prazo



Otimização  
Estocástica  
(PDD)

## DESSEM

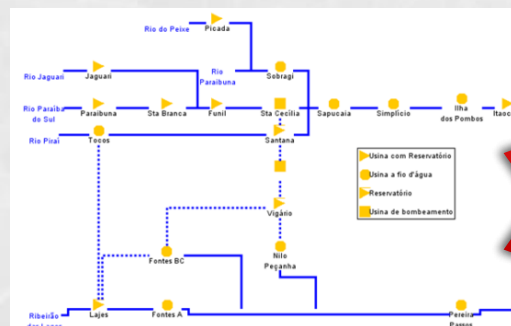
Cálculo do Despacho semi-  
horário e Preço horário



Programação  
Inteira Mista

## SUISHI

Simulação da política  
no longo prazo

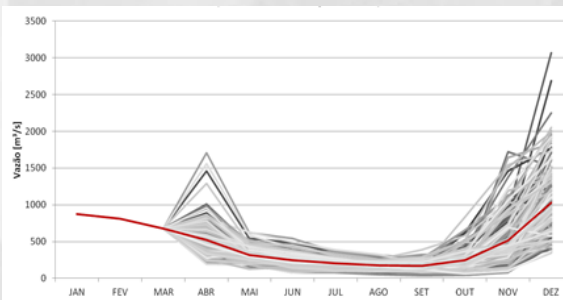


Simulação  
Não Linear  
Regras  
Heurísticas

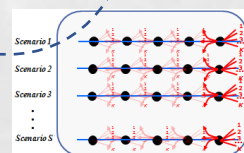
# Principais Funções dos Modelos (2/3)

## GEVAZP

Geração de cenários de afluência às usinas hidroelétricas



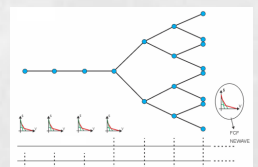
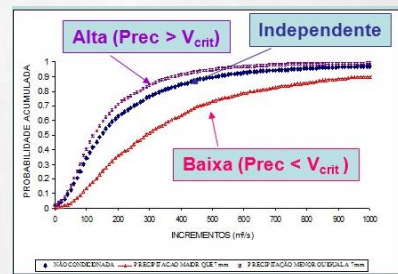
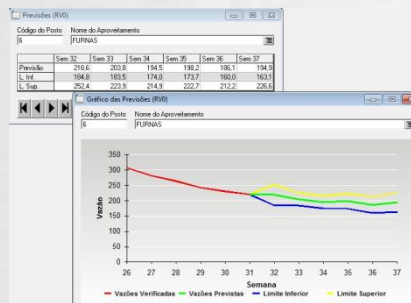
Distribuição conjunta de cenários de vento e vazão



**NEWAVE**

## PREVIVAZ

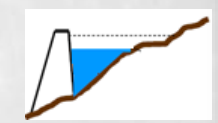
Previsão de afluências, com modelos estatísticos e considerando precipitação futura



**DECOMP**

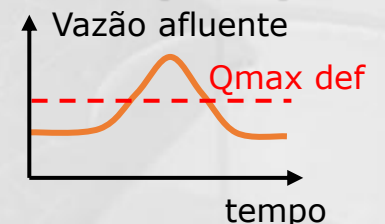
## CHEIAS

Plano anual de prevenção de cheias

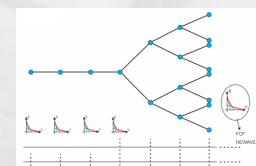


**SPEC: DIANA, CAEV e VESPO**

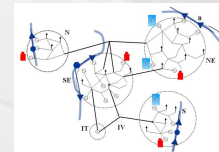
Diretrizes para Regras operativas de Controle de Cheias (ONS)



**PAVES, OPCHEN e OPCHEND**



**DECOMP**



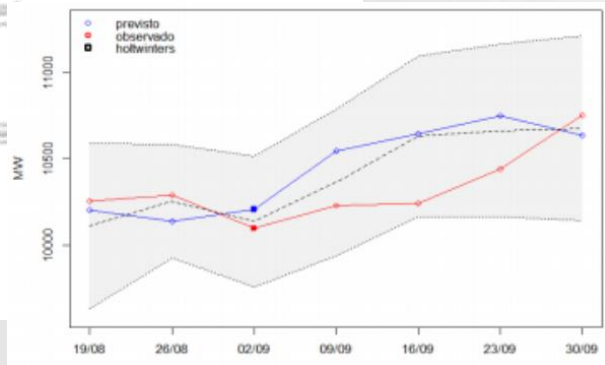
**DESSEM**

## PrevCargaPMO

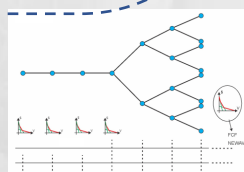
Previsão de Carga para o PMO

Previsões semanais

	A	B	C
1	inicio	fim	Demanda Media MW
2	24/12/2016	30/12/2016	37657
3	31/12/2016	06/01/2017	38482
4	07/01/2017	13/01/2017	38823
5	14/01/2017	20/01/2017	38776
6	21/01/2017	27/01/2017	38208
7	28/01/2017	03/02/2017	38861
8	04/02/2017	10/02/2017	40766



**DECOMP**

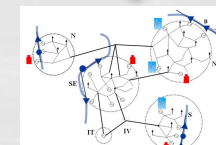
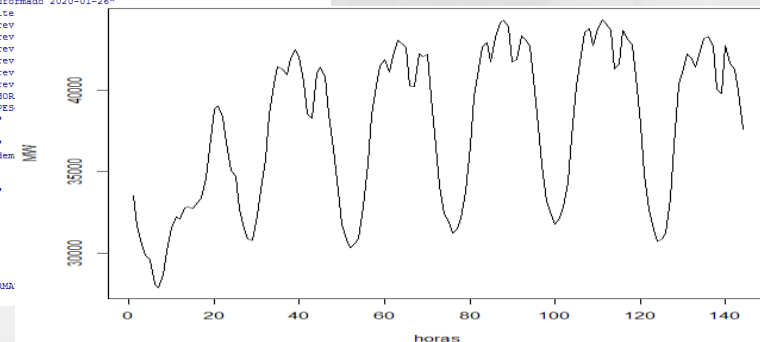


## PrevCargaDESSEM

Previsão de Carga para o DESSEM

```
CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Eletrica
PPPP RRRR EEEEE V V CCCC AAA RRRR GGGG AAA DDDD EEEEE SSSSS SSSSS EEEEE M M
P R R E V V C A A R R G G A A D D E E E E S S S S E S M M
PPPP RRRR EEEEE V V C A A RRRR G G G A A D D EEEEE SSSSS SSSSS EEEEE M M M
P R R E V V C AAAAA R R G G AAAAA D D E S S E M M
P R R EEEEE V CCCC A A R R GGGG A A DDDD EEEEE SSSSS SSSSS EEEEE M M
(1) "VERSÃO 1.1.0"
Loading required package: SparseM
Attaching package: 'SparseM'
The following object is masked from 'package:base':
    backsolve
(1) "Opcoes de execucao"
(1) "Treina modelos"
(1) "Dados em arquivos CSV"
(1) "Temperaturas maxima e minima no modelo de previsao da temperatura media diaria"
(1) "Sem geracao nao despachada"
(1) "Sem intercambio"
(1) "kernel radial no modelo SVM para previsao da demanda media diaria"
(1) "previsao dos perfis dos dias especiais por semelhanca"
(1) "Nome da serie: SECO 2020-01-19"
(1) "CONCLUIDA LEITURA DO ARQUIVO PARAMETROS.CSV"
(1) "Messages: Horizonte de previsao informado 2020-01-26"
(1) "Messages: Horizonte de previsao alte"
(1) "CONCLUIDA LEITURA DO ARQUIVO C:/prev"
(1) "CONCLUIDA LEITURA DO ARQUIVO C:/prev"
(1) "CONCLUIDA LEITURA DO ARQUIVO C:/prev"
(1) "CONCLUIDA LEITURA DO ARQUIVO C:/prev"
(1) "CONCLUIDA LEITURA DO ARQUIVO COM HOR"
(1) "CONCLUIDA LEITURA DO ARQUIVO DOS PES"
(1) "MONTAGEM DA SERIE DE CARGA GLOBAL"
(1) "TRATAMENTO DE DADOS"
(1) "TREINA MODELOS E EXECUTA PREVISAO"
(1) "Treina modelo 1 para previsao da dem"
(1) "Previsao para o dia 2020-01-19"
(1) "Previsao para o dia 2020-01-20"
(1) "ajuste por programacao quadratica"
(1) "Previsao para o dia 2020-01-21"
(1) "Previsao para o dia 2020-01-22"
(1) "Previsao para o dia 2020-01-23"
(1) "Previsao para o dia 2020-01-24"
(1) "CALCULA PREVISAO SEMI HORARIA"
(1) "AGREGA PREVISORES EM FATAMARES"
(1) "GRAVANDO ARQUIVOS DE SAIDA"
(1) "GRAVA ARQUIVO COM PREVISORES NO FORMA"
(1) "EXECUCAO CONCLUIDA COM SUCESSO"
```

Previsões horárias e semi-horárias até 8 dias à frente

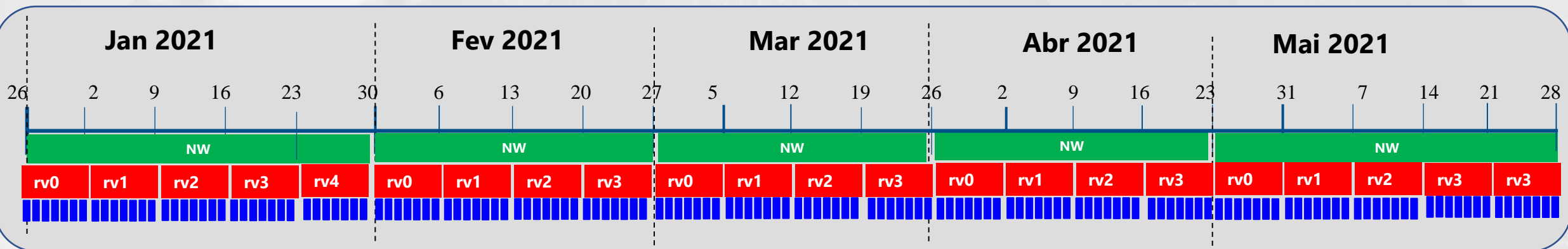


**DESSEM**

# Utilização Oficial dos Modelos

Atividade	Instituição	Modelos
Planejamento da Expansão (PDE)	EPE	NEWAVE, SUISHI
Cálculo da Garantia Física	EPE	NEWAVE, SUISHI
Preços de Leilões de Energia	EPE	NEWAVE, SUISHI
Planejamento da Operação Energética (PEN)	ONS	NEWAVE, DECOMP
Programa Mensal da Operação (PMO)	ONS	NEWAVE, DECOMP, DESSEM, GEVAZP, PREVIVAZ, PrevCargaPMO, SPEC, OPCHEN, OPCHEND
Formação do preço de energia (PLD)	CCEE	NEWAVE, DECOMP, GEVAZP, PREVIVAZ, DESSEM(2021), PrevCargaDESSEM(2022)
Inventário Hidrelétrico de bacias hidrográficas	ANEEL	SINV
Prevenção e Controle em Regime de Cheias	ONS	Sistema SPEC, OPCHEN, OPCHENS e OPCHEND

# Acoplamento entre os Modelos para Operação e Formação de Preço



**Aplicação**      **Horizonte**      **Discretização**      **Árvore de Cenários**      **Modelagem do Sistema**      **Estratégia de Solução**

curtíssimo	Diária	2 semanas	meia-hora	<p><b>NEWAVE</b> (desde 2000)</p> <p>↓ FCF</p> <p><b>DECOMP</b> (desde 2002)</p> <p>↓ FCF, metas</p> <p><b>DESSEM</b> (a partir de 2020/2021)</p>	Determinística	unit commitment, Fluxo DC	MILP
	Semanal	2 meses (pode ir até 1 ano)	Semanal / Mensal		Estocástica, Árvore Completa	Usinas Individualizadas, Intercâmbios	PDD
	Mensal	10 anos	Mensal		Estocástica, amostra de cenários	Reserv. Equivalentes (individualizado até 6 meses) Intercâmbios	PDDE



# Decisão Baseada em Minimização dos Custos, com Função de Custo Futuro Aversa ao Risco

## USINAS TÉRMICAS

- Representação explícita do custo incremental de geração (CVU)  $\left(\frac{\$}{MWh}\right)$
- Restrições de unit commitment X Valor de CVU

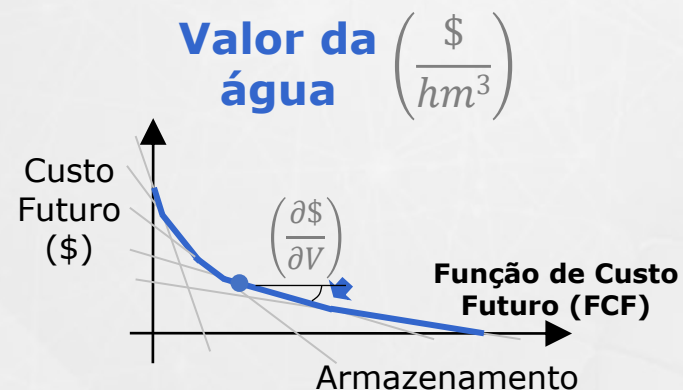
## USINAS HIDROELÉTRICAS

- Combinação de valores da água (função de custo futuro) e produtividade de geração

Custo de geração

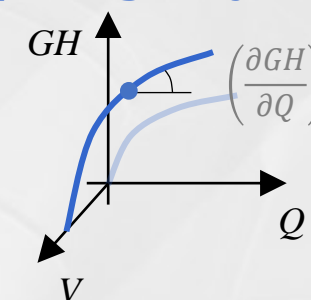
$$\left(\frac{\$}{MWh}\right)$$

=



×

Consumo de água para geração  $\left(\frac{hm^3}{MWh}\right)$

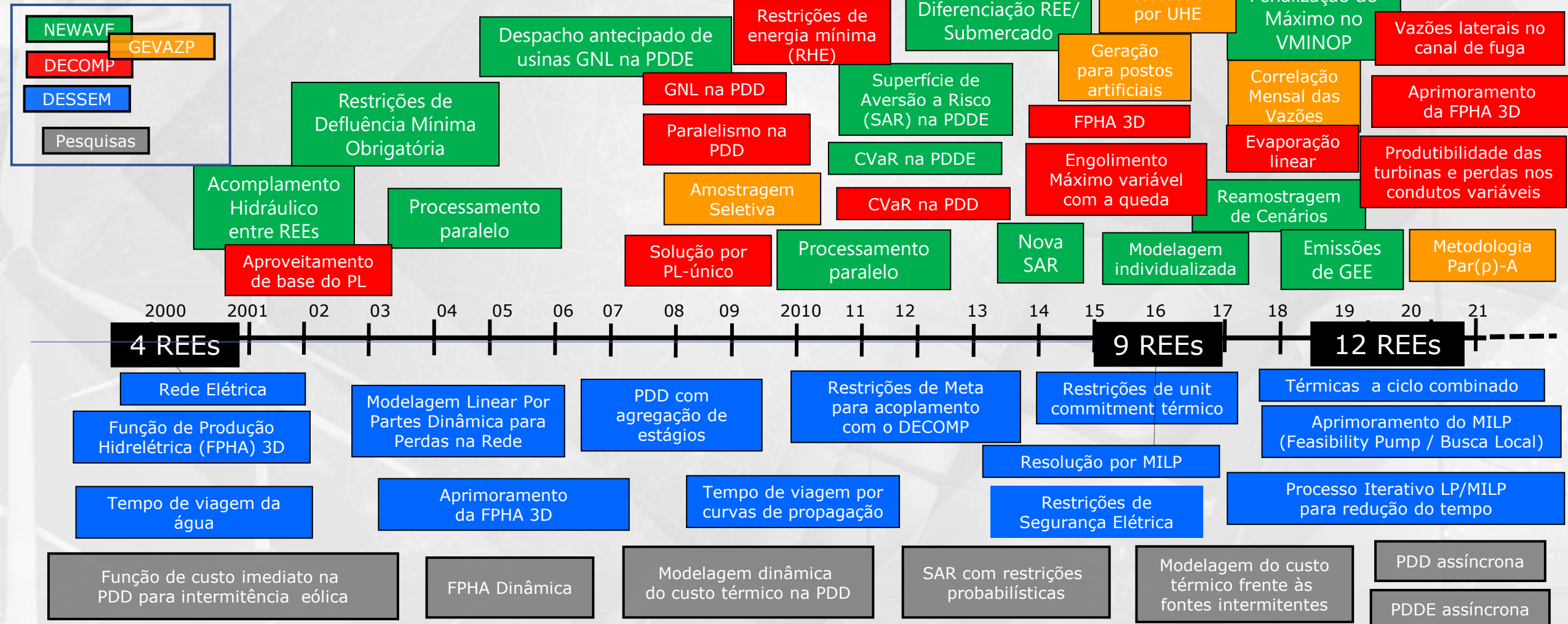


## NOVAS RENOVÁVEIS (EÓLICA, SOLAR)

- Procuram aproveitar a energia "grátis" o máximo possível
- Otimização: corte de geração voluntário / armazenamento (baterias, usinas reversíveis)

# Histórico das Principais Evoluções nos Modelos ao longo do tempo

- Os modelos vêm sendo continuamente aprimorados **há mais de 30 anos**
- Validações contínuas são feitas no âmbito da CPAMP e FTs



# Tipos de Desafios Técnicos e Práticos para os Modelos Computacionais

## DESAFIOS METODOLÓGICOS

Novas estratégias ou aprimoramento das existentes para a **modelagem** dos componentes e/ou de **resolução** dos problemas

## DESAFIOS COMPUTACIONAIS

Desenvolvimento de **arquitetura de software** adequada que promova **eficiência computacional** no tratamento dos **dados**, gerenciamento de **memória** e **tempo** de processamento

## DESAFIOS PRÁTICOS

**Disponibilidade e qualidade dos dados** na precisão e discretização exigidas.  
**Disponibilidade e Análise das restrições** dos modelos  
**Viabilidade de Execução** no tempo requerido

# Premissas a serem observadas para superar esses desafios

- **Balanceamento adequado** entre as representações dos componentes em cada modelo
- **Quais aproximações são inaceitáveis**, do ponto de vista conceitual?
- **Priorização dos detalhes** mais necessários em cada nível decisório
- Procurar manter a **coerência** entre modelos e em cada um (observados aspectos acima)

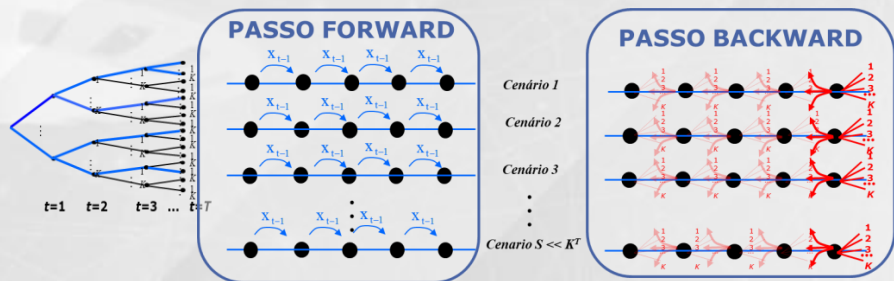


- **Qualidade dos resultados**
- Viabilidade prática do uso dos modelos



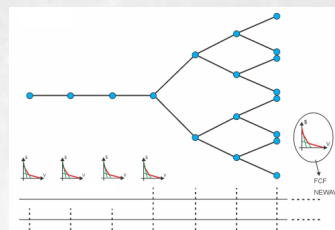
## Status Atual

### Cálculo da Política (NEWAVE)



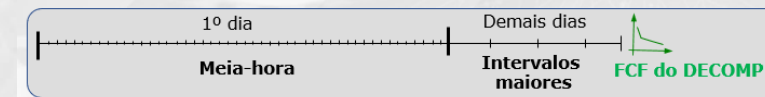
Discretização mensal, horizonte de 10 anos (PMO)

### Refinamento da Política (DECOMP)



Semanal/mensal, horizonte de 2 meses

### Despacho (DESSEM)



Até semi-horária,  
horizonte de 1 semana

#### DESAFIOS METODOLÓGICOS

#### Consideração da incerteza nos ventos

- Distribuições de probabilidade semanais/mensais dos ventos/produção eólica
- Correlação dos ventos com as vazões às UHEs

#### DESAFIOS METODOLÓGICOS

#### Consideração da estocasticidade

- Despacho único e robusto frente às incertezas
- Otimização robusta, Benders 2-estágios, restrições probabilísticas

Modelo integrado ventos + vazões em 2021 para a CPAMP (Par(p)-A conjugado com Weibull; Par(p) para ventos)

#### DESAFIOS COMPUTACIONAIS

#### Aumento do porte do problema

- Quantidade de cenários backward no NEWAVE
- Inclusão de cenários semanais no DECOMP (PDD)

#### DESAFIOS PRÁTICOS

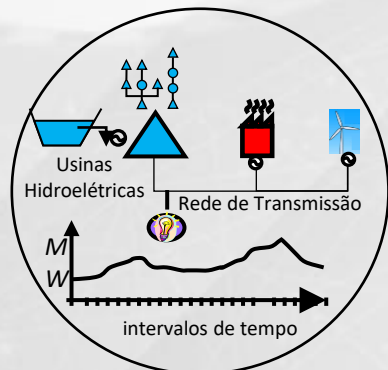
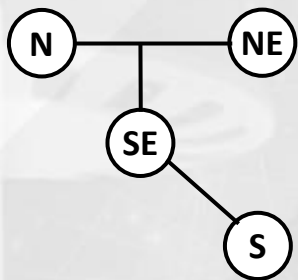
#### DESAFIOS COMPUTACIONAIS

#### DESAFIOS PRÁTICOS

#### Aprimoramentos na estrutura da árvore

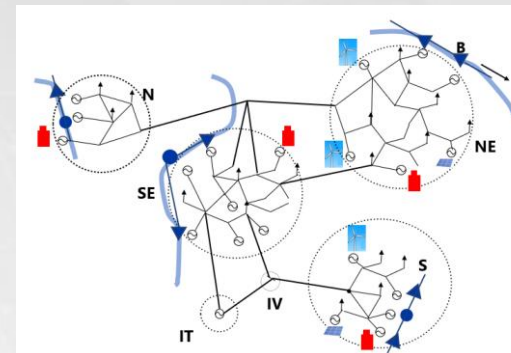
- Estratégia de solução por PDDE no DECOMP
- Extensão do horizonte do DECOMP para vários meses
- Extensão do horizonte do DECOMP para vários dias
- Consideração de UCT no DESSEM para vários dias
- Discretização semanal no NEWAVE

## Status Atual



Cálculo da Política  
(NEWAVE)

Refinamento da  
Política (DECOMP)



Despacho  
(DESSEM)

10.300 linhas  
7.613 barras

Submercados + restrições elétricas especiais (DECOMP)

Flow DC + restrições de segurança

## Representação da rede

- Cada PL do NEWAVE torna-se de grande porte (requer representação individualizada das usinas)
- Os PLs do DECOMP também crescem em porte (grande número de restrições operativas)
- Processo iterativo de linearização por partes dinâmica para as perdas no DESSEM

## Aprimoramento na modelagem

- Representação AC da rede
- Modelagem de Transmission Switching
- Consideração de contingências na rede

## Incorporação na PDD/PDDE

- Definição da melhor forma de incorporação iterativa das restrições de limite de fluxos e perdas
- Não convexidade das restrições de perdas

## Gerenciamento de informações

- Dados acurados da rede elétrica no horizonte do NEWAVE
- Gerenciamento (flexibilização) das violações nas restrições

DESAFIOS  
COMPUTACIONAIS

DESAFIOS  
PRÁTICOS

DESAFIOS  
METODOLÓGICOS

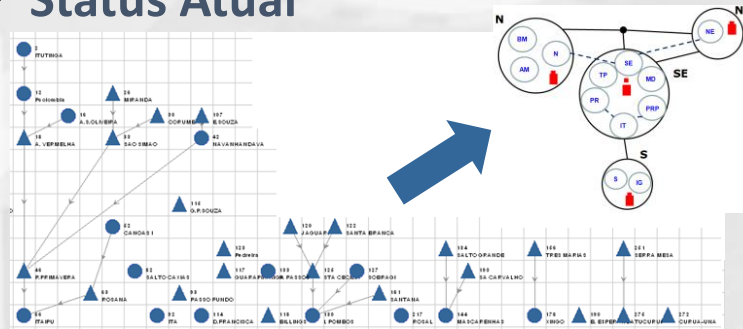
DESAFIOS  
COMPUTACIONAIS

DESAFIOS  
METODOLÓGICOS

DESAFIOS  
COMPUTACIONAIS

DESAFIOS  
PRÁTICOS

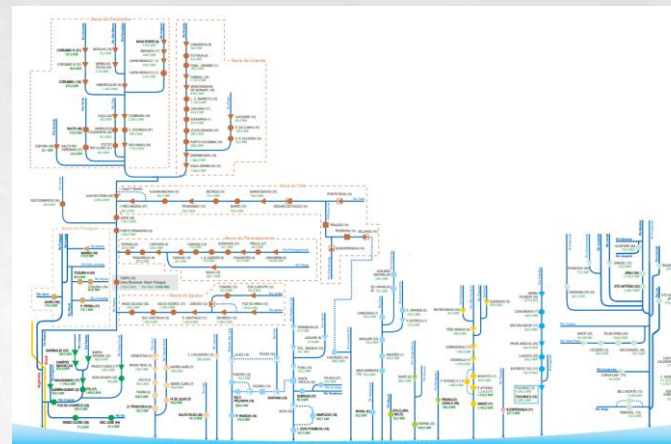
## Status Atual



○ 4 Submercados

○ 12 REEs

## Cálculo da Política (NEWAVE)



## Refinamento da Política (DECOMP)

Despacho (DESSEM)

162 UHEs

Fonte: ONS (adaptado)

## Representação individualizada do NEWAVE

- Cada PL do NEWAVE torna-se de grande porte (**necessária modelagem da FPHA**)
- Espaço de estados da função de custo futuro torna-se **muito** maior
- Maior dificuldade na geração de cenários representativos: > dimensão da árvore

DESAFIOS COMPUTACIONAIS

DESAFIOS PRÁTICOS

DESAFIOS PRÁTICOS

DESAFIOS METODOLÓGICOS

## Gerenciamento das informações

- Disponibilidade de restrições operativas para cada usina no horizonte do NEWAVE
- Flexibilização das violações de restrições

## Aprimoramentos na modelagem

- Restrições operativas dependentes da condição hidrológica e estados dos reservatórios no NEWAVE e DECOMP (não convexidades)
- Restrições de Unit Commitment hidráulico no DESSEM

Versão do NEWAVE híbrido disponibilizada em 2017 (a ser validada)

Versão do DESSEM em 2021 para CPAMP com restrições de unit commitment hidráulico

# Modelagem da Produtibilidade das Usinas Hidrelétricas

## Status Atual

Cálculo da Política (NEWAVE)

### Variação da produtividade com a altura de queda na modelagem dos REEs

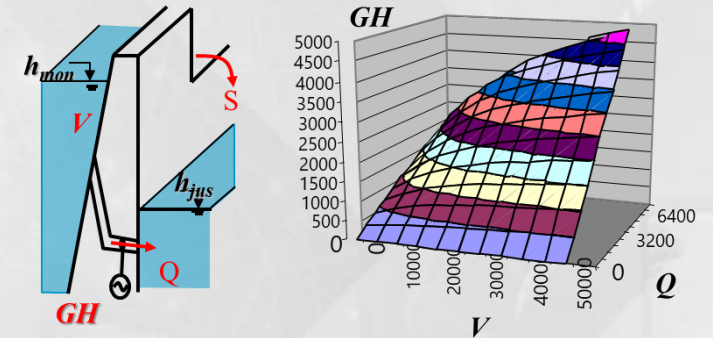
- Parábolas para ajuste da geração máxima em função da queda
- Parábolas para ajuste das energias afluentes e de evaporação, vazão mínima com a altura de queda

Refinamento da Política (DECOMP)

Despacho (DESSEM)

NEWAVE individualizado

### FPHA: Produtividade variável com a altura de queda (Função de Produção)



### Representação da usina como um todo

**Abr/2020:** Versão do DECOMP em validação na CPAMP com a produtividade e perdas variáveis com a altura de queda

**Set/2021:** Versão do DESSEM para a CPAMP com FPHA (da usina) variável de acordo com o número de unidades acionadas

### Obtenção análise dos dados

- Dados acurados de produtividade e perdas das usinas hidrelétricas
- Dados das curvas colinas e zonas proibidas

DESAFIOS PRÁTICOS

DESAFIOS METODOLÓGICOS

DESAFIOS COMPUTACIONAIS

DESAFIOS PRÁTICOS

### Aspectos mais complexos de modelagem

- Consideração da função de produção individualmente por cada unidade geradora da usina
- Representação explícita das não convexidades da função



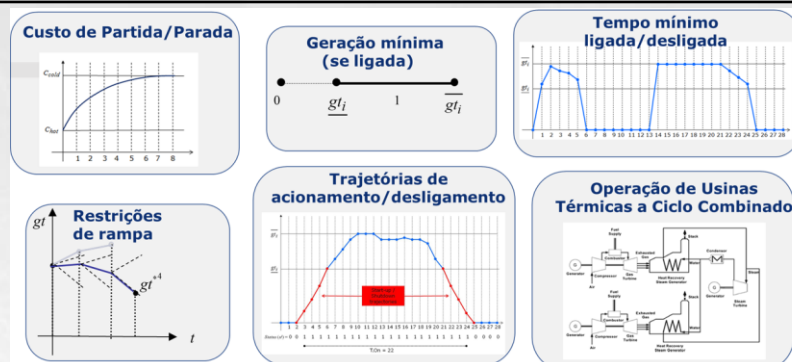
# Modelagem das Usinas e Unidades Geradoras Térmicas

## Status Atual

- Geração mínima (obrigatória)
- Custos lineares (CVUs) por usina

Cálculo da Política (NEWAVE)

Refinamento da Política (DECOMP)



Despacho (DESSEM)

## Restrições de Unit commitment térmico

### Consideração do impacto das fontes intermitentes no custo de geração térmica nos modelos NEWAVE e DECOMP

- Representação de “intra-stages” horários dentro dos períodos semanais e mensais (subproblemas)
- Custo de geração térmica não linear em função da geração térmica semanal/mensal (função de custo imediato)

DESAFIOS METODOLÓGICOS

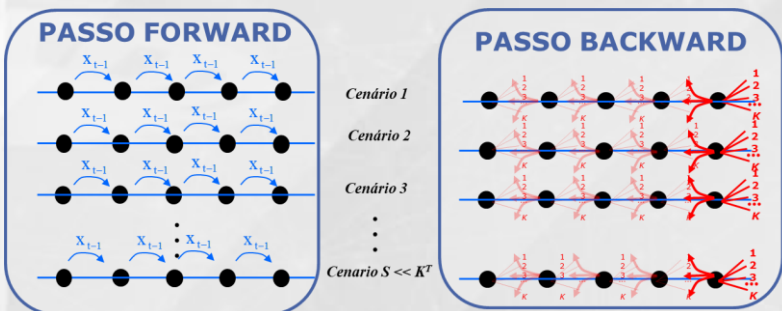
### Tempo de execução

- Tempo de processamento para construção da função de custo imediato (se durante a PDD ou PDDE)
- Dados de perfis típicos de carga líquida para serem seguidos pelas fontes hidráulica e térmica

DESAFIOS COMPUTACIONAIS

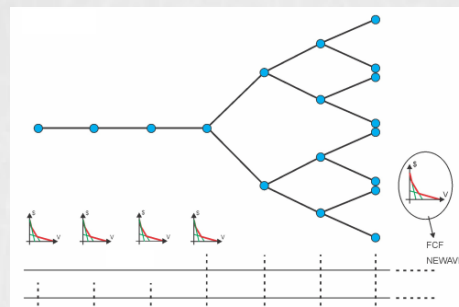
DESAFIOS PRÁTICOS

## Cálculo da Política (NEWAVE)



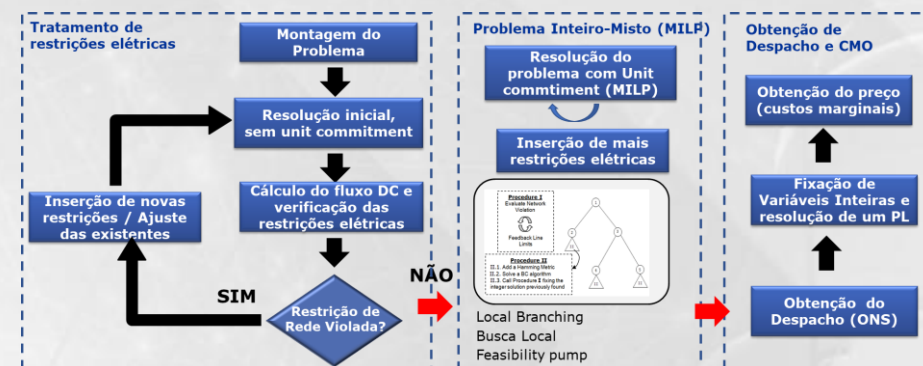
### Programação Dinâmica Dual Estocástica (PDDE)

## Refinamento da Política (DECOMP)



### Programação Dinâmica Dual (PDD)

## Despacho (DESSEM)



### MILP com Local Branching / Feasibility Pump

## PDDE e PDD

- Contínua Eficientização do Paralelismo (**cálculo da política ≠ Simulação Final !!**)
- Estratégias avançadas de gerenciamento e seleção dos cortes de Benders
- Consideração de **não convexidades** na PDDE

## Estocasticidade do DESSEM

- Otimização Robusta
- Programação Estocástica 2-estágios
- Programação com Restrições Probabilísticas

DESAFIOS METODOLÓGICOS

DESAFIOS COMPUTACIONAIS

DESAFIOS METODOLÓGICOS

DESAFIOS METODOLÓGICOS

DESAFIOS COMPUTACIONAIS

# (Alguns) Aspectos Adicionais

## Operação dos Reservatórios

DESAFIOS  
COMPUTACIONAIS

- Utilização das **curvas de propagação** na calha dos rios

DESAFIOS  
PRÁTICOS

- Implementação explícita da modelagem das **usinas reversíveis**

DESAFIOS  
METODOLÓGICOS

- **Tempo de viagem variável** com a vazão defluente
- **Otimização do controle de cheias** no modelo DESSEM (uso dos volumes de espera)

## Aversão a Risco

DESAFIOS  
PRÁTICOS

- **Calibração dos parâmetros do CVaR** para melhor captar a aversão ao risco

DESAFIOS  
METODOLÓGICOS

- **Restrições Probabilísticas** para atendimento às restrições no NEWAVE e no DECOMP

## Gerenciamento pelo lado da Carga

DESAFIOS  
PRÁTICOS

- Implementação da **Resposta da Demanda** nos modelos

DESAFIOS  
COMPUTACIONAIS

- Formalização dos dados e parâmetros para estas restrições

DESAFIOS  
METODOLÓGICOS

- Consideração de restrições mais complexas para **deslocamento e corte de blocos de carga**

# LIBS – Nova Plataforma Computacional para os modelos de otimização energética do CEPEL

## Tratamento de dados/resultados

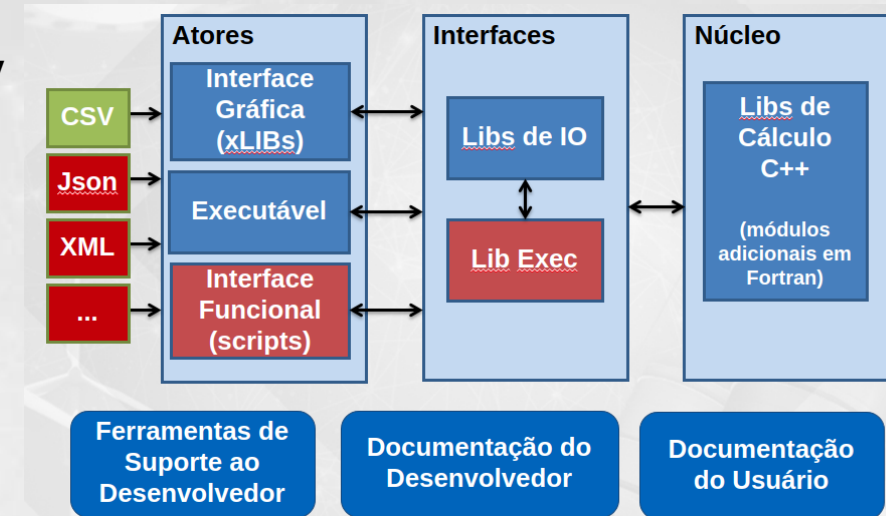
- Unificação dos dados de entrada dos modelos, em formato CSV
- Padronização dos arquivos de saída em formato CSV
- Unificação da leitura, validação e processamento de dados

## Implementação metodológica das funcionalidades

- Unificação dos códigos das funcionalidades dos modelos
- Programação Orientada a objetos em Linguagem C++

## Interface gráfica (plataforma XLIBs)

- Ambiente Web para realização de estudos e análises integradas utilizando os modelos
- Responsiva: utilização em computadores e dispositivos móveis)



**Versão do modelo DECOMP em validação pela CPAMP com aprimoramento da FPHA e produtibilidades da turbinas/perdas nos condutos variáveis tratadas por módulos das LIBS embutidas no programa**

- **Os modelos de otimização energética vem sendo desenvolvidos e aprimorados há mais de 30 anos**
  - ✓ Rigorosa validação metodológica, computacional e prática pela CPAMP e Forças-Tarefas
  - ✓ Colaboração com a comunidade científica e representantes do setor elétrico
- **Diversas Premissas devem ser observadas no avanço metodológico dos modelos**
  - ✓ Desenvolvimento e acompanhamento das novas estratégias
  - ✓ Razoabilidade de representação das diversas características e restrições operativas dos componentes do sistema em cada um dos níveis decisórios
  - ✓ Viabilidade computacional e prática da utilização das funcionalidades
- Está em desenvolvimento um novo ambiente computacional para desenvolvimento das funcionalidades, tratamento dos dados e utilização dos modelos



**A colaboração e participação de todas as instituições e agentes do setor elétrico, pesquisadores das universidades e comunidade científica é SEMPRE bem vinda!**

# Documentação Técnica dos modelos de Otimização Energética do CEPEL

## Disponíveis:

- Manuais, Relatórios e Notas Técnicas dos modelos NEWAVE, GEVAZP, DECOMP, PREVIVAZ, SUISHI, DESSEM

## Em breve:

- Extensão para os demais projetos, e inclusão de links para outras publicações científicas (ex: livros, artigos em congressos e revistas)

[www.cepel.br](http://www.cepel.br)



The screenshot shows the Eletrobras Cepel website. At the top left is the logo. On the right, there are links for 'Ouvidoria', 'Contato', 'Endereços', 'Programa de Estágio', and 'Visitas', along with language options 'English', 'Español', and 'Português'. A search bar with 'BUSCA' and an 'Ok' button is present. Below the navigation bar, there are links for 'O Cepel', 'Áreas de Atuação', 'Laboratórios e Centros', 'Linhas de Pesquisa', 'Produtos', and 'Sala de Imprensa'. The main content area features the title 'Documentação Técnica das Metodologias e Modelos de Otimização Energética do Cepel' and a map of South America with a technical diagram overlaid. A red arrow points to a small grey circle in the bottom right corner of the screenshot, which is a navigation dot.

# Publicações NEWAVE (1/5)

- Maria Elvira Piñeiro Maceira, Albert Melo, José Francisco Moreira Pessanha, Cristiane Cruz, Victor Almeida, Thatiana Justino. Representação das incertezas da fonte eólica no modelo NEWAVE.” Webinar Fontes Renováveis Variáveis contribuições para a modelagem das fontes renováveis variáveis no planejamento e operação do SIN, 2020
- A.L. Diniz; M.E.P. Maceira; R.J. Pinto; D.D.J. Penna; C.B. Cruz; C.L.V. Vasconcellos. “Estratégia de Seleção de Cortes de Benders para Redução do Tempo Computacional da Programação Dinâmica Dual Estocástica”.SOBRAPO/2020 - LII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Nov. 2020
- F. Treistman; M.E.P. Maceira; J.M. Damázio; C.B. Cruz. “Memory Enhancement of Periodic Time Series Model – An Application to Operation Planning of Hydro Dominated Systems”. ISF/2020. 40th International Symposium on Forecasting. 26-28 Outubro 2020
- F. Treistman; M.E.P. Maceira; J.M. Damázio; C.B. Cruz, “Periodic Time Series Model with Annual Component Applied to Operation Planning of Hydrothermal Systems”, PMAAPS/2020 - 16th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, 2020.
- A. L. Diniz, M. E. P. Maceira, C. L. V. Vasconcellos, D. D. J. Penna, “A combined SDDP/Benders decomposition approach with a risk-averse surface concept for reservoir operation in long term power generation planning”, Annals of Operations Research, v. 292, n.2, 649-681, 2020
- M. E. P. Maceira; C. B. Cruz; D. D. J. Penna ; A. L. Diniz ; A. C. G. Melo. ; F. Treistman; T.C. Justino. “Representação de Usinas Hidrelétricas Individualmente e de Forma Agregada na Programação Dinâmica Dual Estocástica - A Abordagem Híbrida”.XXV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica - SNPTEE , Belo Horizonte, MG, Brasil , 2019
- M. E. P. Maceira; C. B. Cruz; A.C.G. Melo; D.D.J. Penna; A.L. Diniz, F. Treistman. “Avaliação do Critério de Parada do Algoritmo de Programação Dinâmica Dual Estocástica quando se Utilizam Técnicas de Reamostragem de Cenários de Afluências”. XXV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica - SNPTEE , Belo Horizonte, MG, Brasil, 2019.

**Incerteza das fontes eólicas**

**Seleção de Cortes**

**PAR(p)-A**

- T. C. Justino; A. C. G. Melo, M. E. P. Maceira; C.B. Cruz; N. Maculan Filho. “Representação de Medidas de Mitigação de Gases de Efeito Estufa no Problema do Planejamento da Operação de Sistemas Hidrotérmicos Interligados.” XXV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica , Belo Horizonte, MG, Brasil, SNPTEE, 2019.
- M. E. P. Maceira, C. B. Cruz, D.D.J. Penna, A. L. Diniz, A. C. G. Melo, ““Hybrid Representation of Hydropower Plants and Inflow Scenarios Re-Sampling on SDDP: improvements in the official model used for operation planning of the Brazilian system” XV International Conference on Stochastic Programming, Trondheim, July 29 - August 2, 2019
- M. E. P. Maceira, A. L. Diniz, C. B. Cruz, D. D. J. Penna, C. V. Vasconcellos, A. C. G. Melo, “ “Combined Representation of Hydropower Plants on Stochastic Dual Dynamic Programming - The Hybrid Approach” The 6th International Workshop on Hydro Scheduling in Competitive Electricity Markets, Stavanger, Sep. 2018
- M.E.P. Maceira, D.D.J. Penna, A.L. Diniz, R.J. Pinto, A.C.G. Melo, C.V. Vasconcellos, C.B. Cruz , "Twenty Years of Application of Stochastic Dual Dynamic Programming in Official and Agent Studies in Brazil – Main Features and Improvements on the NEWAVE Model", 20th PSCC - Power Syst. Comp. Conf., Dublin, Ireland, June, 2018.
- C. L. Vasconcellos, A. L. Diniz, M.E.P. Maceira, C.L.T. Borges," Aprimoramentos na metodologia de superfície de aversão a risco (nova sar) para o problema de planejamento de longo/médio prazo da operação de sistemas hidrotérmicos”, XXIV SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Curitiba, out. 2017.
- A. L. Diniz, M.E.P. Maceira, C.L. Vasconcellos, D.D.J.Penna, “A two-level SDDP Solving Strategy with Risk-Averse multivariate reservoir Storage Levels for Long Term power Generation Planning”, Optimization Online, 2016 ([http://www.optimization-online.org/DB\\_FILE/2015/11/5186.pdf](http://www.optimization-online.org/DB_FILE/2015/11/5186.pdf))
- M.E.P. Maceira, L.G.B. Marzano, D.D.J. Penna, A.L. Diniz, T.C. Justino, "Application of CVaR risk aversion approach in the expansion and operation planning and for setting the spot price in the Brazilian hydrothermal interconnected system", International Journal of Electrical Power and Energy Systems, v.72, pp. 126-135. Nov. 2015.

**Modelagem Individualizada**

**Histórico de avanços no modelo**

**Nova SAR**



# Publicações NEWAVE (3/5)

- A. L. Diniz, C. L. Vasconcellos, M. E. P. Maceira, D. D. J. Penna, "Risk-Averse Storage Level Surface Applied to Long Term Hydrothermal Generation Planning within SDDP Solving Strategy", Euro Mini Conference on Stochastic Programming and Energy Applicationsins, Paris, France, Sept. 2014.
- A. L. Diniz, C. L. Vasconcellos, M. E. P. Maceira, D. D. J. Penna, "Risk-Averse Storage Level Surface Applied to Long Term Hydrothermal Generation Planning within SDDP Solving Strategy", Euro Mini Conference on Stochastic Programming and Energy Applicationsins, Paris, France, Sept. 2014.
- A.L. Diniz, M.E.P. Maceira, C.L. Vasconcellos, D.D.J. Penna, "Superfície de Aversão a Risco para o Planejamento da Operação de Sistemas Hidrotérmicos", XIII SEPOPE – Symposium of Simposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning, Foz do Iguaçu,, Brazil, May 2014. **SAR**
- M. E. P. Maceira, L. G. B. Marzano, D. D. J. Penna, A. L. Diniz, T. C. Justino, "Aplicação do Mecanismo de Aversão a Risco CVaR no Planejamento da Expansão e da Operação Energética e na Formação do PLD do Sistema Interligado Nacional" XIII SEPOPE – Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning, Brasília, Brazil, May 2014. **CVaR**
- M.E.P. Maceira, L.G.B. Marzano, D.D.J. Penna, A.L. Diniz, T.C. Justino, "Application of CVaR Risk Aversion Approach in the Expansion and Operation Planning and for Setting the Spot Price in the Brazilian Hydrothermal Interconnected System", 18th Power Systems Computational Conference – PSCC, Wroclaw, Poland, Aug. 2014.
- A. L. Diniz, M.E.P. Maceira, "Multi-lag Benders decomposition for power generation planning with nonanticipativity constraints on the dispatch of LNG thermal plants", In: Horand I Gassmann, William T Ziemba. (Org.). Stochastic Programming - Applications in Finance, Energy, Planning and Logistics. 1ed.: World Scientific, v. 4, p. 399-420, 2013. **GNL**
- R. J. Pinto, C. L. T. Borges, M. E. P. Maceira, "An Efficient Parallel Algorithm for Large Scale Hydrothermal System Operation Planning", IEEE Transactions on Power Systems, v.29, n.4, pp. 4888-4896, Nov. 2013. **Processamento Paralelo**
- M. I. Ennes, D.D.J. Penna, M. E. P. Maceira, A. L. Diniz, C. L. V. Vasconcellos, "Representação de subsistemas e submercados de forma diferenciada no planejamento da operação hidrotérmica, XXII SNTPEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Brasília, Brazil, Oct. 2013.

# Publicações NEWAVE (4/5)

- D. D. J. Penna, A. L. Diniz, M. E. P. Maceira, “Conditional Value-at-risk Versus Multidimensional Rule Curves Within the Risk-averse SDDP Approach”, XIII ICSP - International Conference on Stochastic Programming, Bergamo, Italy, Jul. 2013
- A. L. Diniz, M. P. Tcheou, M.E.P. Maceira, “Uma abordagem direta para consideração do CVAR no problema de planejamento da operação hidrotérmica” XII SEPOPE – Symp. Specialists in Electric Operational and Expansion Planning, Maio de 2012.
- M.P. Tcheou, R.N. Cabral, D.D.J. Penna, V.S. Duarte, M.E.P. Maceira, "Modelagem da função de perdas a fio d'água através do MARS (Multivariate Adaptive Regression Splines)", XII SEPOPE --Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning, Rio de Janeiro, Brasil, May. 2012.
- D. D. J. Penna, M. E. P. Maceira, J. M. Damazio, A. L. Diniz, “Aplicação de Reamostragem de Cenários Hidrológicos na Definição da Estratégia de Operação Energética de Médio Prazo”, Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning, May 2012.
- M. E. P. Maceira, V. S. Duarte, D. D. J. Penna, M. P. Tcheou, “An approach to consider hydraulic coupled systems in the construction of equivalent reservoir model in hydrothermal operation planning”, 17th Power Systems Computation Conference – PSCC, Stockholm, 2011.
- M. E. P. Maceira, V. S. Duarte, D. D. J. Penna, M. P. Tcheou, “An approach to consider hydraulic coupled systems in the construction of equivalent reservoir model in hydrothermal operation planning”, 17th Power Systems Computation Conference – PSCC, Stockholm, 2011.
- A. L. Diniz, M. E. P. Maceira, V. S. Duarte, T. N. Santos, M. P. Tcheou, A. L. Saboia, D. D. J. Penna, F. S. Costa, “Antecipação do despacho de usinas térmicas à GNL no problema de programação da operação de sistemas hidrotérmicos” XXI SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Oct. Florianópolis, 2011.
- D. D. J. Penna, M. E. P. Maceira, J.M. Damázio, “Selective sampling applied to long-term hydrothermal generation planning”, 17th PSCC - Power Syst. Comp. Conf., Stockholm, Sweden, Aug. 2011.

**Perdas a fio  
d'água (MARS)**

**Reamostragem**

# Publicações NEWAVE (5/5)

- A. L. Diniz, M. E. P. Maceira, M. P. Tcheou, T. N. Santos, V. S. Duarte, D. D. J. Penna, “Hydrothermal Generation Planning with Time-Linking Constraints on the Dispatch of Liquefied Natural Gas (LNG) Thermal Plants PSCC - Power Systems Computation Conference, Stockholm, Aug. 2011.
- A. L. Diniz, M. E. P. Maceira, M. P. Tcheou, “Long and Mid-term Generation Planning with Time-Linking Constraints on the Dispatch of Liquefied Natural Gas” XII International Conference on Stochastic Programming, Halifax, Canadá, 2010.
- M. E. P. Maceira, D. D. J. Penna, J. M. Damazio, V. S. Duarte, A. L. Diniz, “New Approach in Sampling Scenarios Tree Applied to Long-Term Generation Planning of Electric Power Systems” XII Int. Conference on Stochastic Programming, Halifax, Canadá, 2010.
- M.E.P. Maceira, V.S. Duarte, D.D.J. Penna, L.A.M. Moraes, A.C.G. Melo, “Ten years of application of stochastic dual dynamic Programming in official and agent studies in Brazil –Description of the NEWAVE program”, *16th Power Systems Computation Conference - PSCC*, Glasgow, SCO, July 2008.
- L.A. Terry, M.E.P. Maceira, C.V. Mercio, V.S. Duarte, "Equivalent reservoir model for hydraulic coupled systems", IX SEPOPE --Symposium of Simposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning, Rio de Janeiro, Brasil, May. 2004
- M. E. Maceira and J. M. Damázio, "The use of PAR(p) model in the stochastic dual dynamic programming optimization scheme used in the operation planning of the Brazilian hydropower system Operation Planning Studies of the Brazilian Generating System", 8th Int. Conf. on Probabilistic Methods Applied to Power Systems -PMAPS Ames, Iowa, Sept. 2004
- M.E.P. Maceira, L.A. Terry, F.S. Costa, J. M. Damazio, A C. G. Melo, “Chain of optimization models for setting the energy dispatch and spot price in the Brazilian system”, *Proceedings of the Power System Computation Conference - PSCC'02*, Sevilla, Spain, June 2002.
- M. E. P. Maceira, M. V. F. Pereira, “Representação da operação hidrotérmica cronológica ao despacho de geração analítico”, XII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, anais 2, 391-397, 1997., Recife, Brasil, Oct. 1993.

# Publicações GEVAZP (1/2)

**Cenários  
com ENOS**

**PAR(p)-A**


**Correlação  
mensal**

- Treistman, F., Maceira, M.E.P., Penna, D.D.J. et al. Synthetic scenario generation of monthly streamflows conditioned to the El Niño–Southern Oscillation: application to operation planning of hydrothermal systems. *Stoch Environ Res Risk Assess* 34, 331–353 (2020)
- F. Treistman, M. E. P. Maceira, J. M. Damázio and C. B. Cruz, "Periodic Time Series Model with Annual Component Applied to Operation Planning of Hydrothermal Systems," 2020 International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAAPS), Liege, Belgium, 2020, pp. 1-6
- Treistman, F., Penna, D., de Araújo, H., et al., "Impacto da aplicação da técnica de agregação na construção da árvore de cenários para o planejamento da operação de curto prazo". XXII SBRH, 2017, ABRH, Florianópolis, 2017.
- de Araújo, H., Penna, D., Treistman, F., et al., "Aplicação das correlações espaciais históricas na geração de cenários sintéticos multivariados para gerenciamento do sistema interligado nacional". XXII SBRH, 2017, Florianópolis-SC
- W. Oliveira, C. Sagástizabal, D. Penna, et al., "Optimal scenario tree reduction for stochastic streamflows in power generation planning problems", *Optimization Methods and Software*, 25:6, 917-936.
- D. Penna, M.E. Maceira, J. Damazio, et al., "Aplicação de reamostragem de cenários hidrológicos da estratégia de operação energética de médio prazo". XII Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica. Anais... . p.11, 2012. Rio de Janeiro, RJ.
- W. Oliveira, D. Penna., J. Damazio, et al. "Análise da Correlação Cruzada Através da Distribuição Lognormal Três Parâmetros", XVIII SBRH, 2009, Campo Grande- MS

# Publicações GEVAZP (2/2)

- M.E.P. Maceira, J. Damazio, “Stochastic streamflow model for hydroelectric systems using clustering techniques”, 2001 IEEE Porto Power Tech Proceedings, v. 3, p. 244–249, 2001.
- D. Penna, M. E. Maceira, D. Falcão, “Of The Par(p) Model In The Stochastic Dual Dynamic Programming Optimization Scheme Used In The Operation Planning Of The Brazilian Hydropower System”, 2006. U. Probab. Eng. Inf. Sci. 20, 1 (January 2006), 143–156.
- M.E.P. Maceira, C. Bezerra, “Stochastic streamflow model for hydroelectric systems”, 1997 International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS), Vancouver, Canada, 1997

# Publicações DECOMP (1/2)

- L. T. Yocogawa, L. C. Brandão, A. L. Diniz, "Modelagem da função de produção das usinas hidroelétricas considerando as características operativas das unidades geradoras" XXV SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica - Belo Horizonte - 2019
- L. C. Brandão, A. L. Diniz, "Programação Dinâmica Dual Assíncrona - aplicação ao problema de planejamento de curto/médio prazos da operação hidrotérmica" - XXV SNTPEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica - Belo Horizonte - 2019
- A. L. da Silva, B. H. Dias, A. L. Diniz, L. C. Brandão, "Modelagem alternativa da Função de Custo Imediato para consideração do despacho horário no problema de planejamento da operação resolvidos por PDD" - XXV SNTPEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica - Belo Horizonte - 2019
- A. L. Diniz, F. S. Costa, M. E. P. Maceira, T. N. Santos, L. C. Brandão, R. N. Cabral, " Short/Mid-Term Hydrothermal Dispatch and Spot Pricing for Large-Scale Systems - the Case of Brazil", 20th Power Systems Computation Conference, Dublin, Ireland, June 2018. 
- L.C. Brandão, A. L. Diniz, L. G. Simonetti, "Accelerating Dual Dynamic Programming for Stochastic Hydrothermal Coordination Problems", 20th Power Systems Computation Conference, Dublin, Ireland, June 2018.
- L.C.Brandão, A.L. Diniz, "Programação Dinâmica Dual: estratégias eficientes aplicadas a problemas estocásticos de coordenação hidrotérmica", XXIV SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Curitiba, out. 2017.
- R. N. Cabral, A. L. Diniz, "Assessment of a new State-Dependent Dynamic Piecewise Linear Model of Thermal Generation Costs for Hydrothermal Coordination". 2016 IEEE PES General Meeting, Boston, USA, 2016
- A. L. Diniz, A. L. Saboia, R. M. Andrade, "An Exact Multi-Plant Hydro Power Production Function for Mid/Long Term Hydrothermal Coordination", 19th PSCC – Power Systems Computation Conference, Genoa, June 2016.
- L. C. B. Santos, A. L. Diniz, "Advances in tree traversing strategies and cut sharing for multistage Benders decomposition - application to the stochastic hydrothermal coordination problem in a parallel processing environment", ICSP – Int. Conf. Stoch. Programming, Rio de Janeiro, 2016.

# Publicações DECOMP (2/2)

- M. E. P. Maceira, L. G. B. Marzano, D. D. J. Penna, A. L. Diniz, T. C. Justino, “Aplicação do Mecanismo de Aversão a Risco CVaR no Planejamento da Expansão e da Operação Energética e na Formação do PLD do Sistema Interligado Nacional” XIII SEPOPE – Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning, Brasília, Brazil, May 2014.
- M.E.P. Maceira, L.G.B. Marzano, D.D.J. Penna, A.L. Diniz, T.C. Justino, “Application of CVaR Risk Aversion Approach in the Expansion and Operation Planning and for Setting the Spot Price in the Brazilian Hydrothermal Interconnected System”, 18th Power Systems Computational Conference – PSCC, Wroclaw, Poland, Aug. 2014.
- A. L. Diniz, M. I. A. Ennes, R. N. Cabral "Dynamic Piecewise Linear Models for Nonlinear Hydrothermal Scheduling Problems", 4th International Workshop on Hydro Scheduling in Competitive Electricity Markets, Bergen, Norway, June 2012.
- A. L. Diniz, M. P. Tcheou, M. E. P. Maceira, “A direct approach to consider CVaR in the hydrothermal power generation planning” XII SEPOPE - Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning, May 2012.
- **R. J. Pinto, A.L.G.P. Sabóia, R.N. Cabral, F.S. Costa, A.L.Diniz e M. E. P. Maceira, “Metodologia para aplicação de processamento Paralelismo no planejamento de curto-prazo (modelo DECOMP)”, XX SNPTEE- Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Recife, Novembro 2009.**
- A. L. Diniz, F. S. Costa, A. L. G. Pimentel, L. N. R. Xavier, M. E. P. Maceira, “Hydro Plants Energetic Production Function Improvement in a Hydrothermal System Mid-Term Operation Planning Model”, EngOpt International Conference on Engineering Optimization, Rio de Janeiro, Jun. 2008.
- L. N. R. Xaver, A. L. Diniz, F. S. Costa, M. E. P. Maceira, “Aprimoramento da modelagem da Função de Produção Energética das usinas hidroelétricas no modelo DECOMP : Metodologia e resultados”, XVIII SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Curitiba, 2005.

# Publicações DESSEM (1/3)

**Estratégia de solução MILP com UCT e rede**

**Restrições de segurança da rede elétrica**

**Tempo de viagem / modelagem dos rios**

- T. N. Santos, A. L. Diniz, C H. Saboia, R.N. Cabral, L.F. Cerqueira, "Hourly pricing and day-ahead dispatch setting in Brazil: the dessem model", *Electric Power Systems Research*, v.189, 2020.
- T. N. Santos, A.L. Diniz, C.H. Saboia, C.E. Vilas Boas, J.M. Ferriera, F.Mourão, R.N. Cabral, L.F. Cerqueira, C. A. Araujo Jr., E. D. Carvalho, R. A. Kammler, "Incorporação de restrições operativas detalhadas utilizadas na elaboração do Programa Diário de Operação do Operador Nacional do Sistema (ONS) no modelo de Despacho Hidrotérmico de Curto Prazo", *XXV SNPTEE, Belo Horizonte, 2019.*
- B. P .Cotia, C. L. T. Borges, A. L. Diniz, "Optimization of wind power generation to minimize operation costs in the daily scheduling of hydrothermal systems", *Int. J. of Electrical Power & Energy Systems*, v. 113, pp. 539-548, Dec. 2019
- T. N. Santos, A. L. Diniz, C. T. Borges, "A New Nested Benders Decomposition Strategy for Parallel Processing Applied to the Hydrothermal Scheduling Problem", *IEEE Transactions on Smart Grid*, v. 8, n.3, pp. 1504-1512, 2017.
- C. H. Saboia, A. L. Diniz, " A local branching approach for network-constrained thermal unit commitment problem under uncertainty", 19th Power Systems Computation Conference (PSCC), Genoa, Italy, Jun. 2016..
- A. L. Diniz, T. M. Souza, "Short-Term Hydrothermal Dispatch With River-Level and Routing Constraints", *IEEE Transactions on Power Systems*, v.29, n.5, pp. 2427 – 2435, Sep. 2014.
- T.N. Santos, C.E.V. Boas,, F.P. Mourão, A.L. Diniz, "Restrições de metas semanais na política de operação do sistema elétrico brasileiro", XII SEPOPE - Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning, Rio de Janeiro, May2012.
- T. N. Santos, A. L. Diniz, "Alternative Approaches to Consider DC-Power Flow with Losses in a Linear Program for Short Term Hydrothermal Scheduling" *IEEE T&D Conference and Exposition Latin America*, 2012, Montevideo, Uruguai, Sep. 2012



# Publicações DESSEM (2/3)

- T. M. Souza, A. L. Diniz, “An accurate representation of water delay times for cascaded reservoirs in hydro scheduling problems”, IEEE/PES General Meeting, San Diego, July 2012.
- T. N. Santos, A. L. Diniz, “A Dynamic Piecewise Linear Model for DC Transmission Losses in Optimal Scheduling Problems”, *IEEE Transactions on Power Systems*, v.26, n.2, pp. 508-519, 2011.
- A. L. Diniz, “Processo iterativo de construção da função de produção das usinas hidroelétricas para o problema de coordenação hidrotérmica”, *XX Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – SNPTEE*, Recife, PE, 2009
- T. N. Santos, A.L. Diniz, “A Comparison of Static and Dynamic Models for Hydro production in Generation Scheduling Problems”, *2010 IEEE-PES General Meeting*, Minneapolis, USA, 2010/
- T. N. Santos, A. L. Diniz, “Feasibility and optimality cuts for the multi-stage Benders decomposition approach: application to the network constrained hydrothermal scheduling”, *Proceedings of the 2009 IEEE PES General Meeting*, Calgary, Canada, 2009.
- T. N. Santos, A.L.Diniz, “A New Multiperiod Stage Definition for the Multistage Benders Decomposition Approach Applied to Hydrothermal Scheduling”, *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 24, n.3, pp. 1383-1392, Aug. 2009.
- A. L. Diniz, M.E.P. Maceira, “A four-dimensional model of hydro generation for the short-term hydrothermal dispatch problem considering head and spillage effects”, *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 23, n.3, pp. 1298-1308, Aug. 2008.
- M. G. Martinez, C. A. Sagastizábal, A. L. Diniz, “A Comparative Study of two Forward Dynamic Programming Techniques for solving Local Thermal Unit Commitment Problems”, *16th Power Systems Computation Conference - PSCC*, Glasgow, SCO, July 2008.

**Modelagem DC com perdas da rede elétrica**

**Função de Produção hidroelétrica**

- L.M.P. Costa, A.L. Diniz, T. N. Santos, “Sensitivity analysis on different types of electrical *network modeling for the network constrained hydrothermal scheduling problem*”, *IEEE/PES Transm. Distr. Conf. Expos. Latin America*, Bogotá, Colômbia, Jul 2008.
- A. L. Diniz, C. A. Sagastizabal, M. E. P. Maceira, “Assessment of Lagrangian Relaxation with Variable Splitting for Hydrothermal Scheduling”, *2007 IEEE PES General Meeting*, Tampa, Florida, Jun 2007.
- A. L. Diniz, L. A. Terry, M. E. P. Maceira, F. S. Costa, et al, C. A. Sagastizabal, D. B. Chaves, L. C. F. Sousa, E. C. Finardi, “Hydro unit-commitment via lagrangian relaxation. Application to the brazilian optimization model for short term scheduling of hydrothermal interconnected systems – DESSEM”, *Proceedings of the IX Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning– SEPOPE*, Rio de Janeiro, Brazil, May 2004
- A. Belloni, A. L. Diniz, M. E. P. Maceira, C. A. Sagastizabal, “Bundle relaxation and primal recovery in unit commitment problems. The Brazilian case”, *Annals of Operations Research*, v.120, n. 1-4, pp. 21-44, Apr. 2003.
- A. L. Diniz, L. C. F. Sousa, M. E. P. Maceira, S. P. Romero, F. S. Costa, C. A. Sagastizabal, A. Belloni, “Estratégia de representação DC da rede elétrica no modelo de despacho da operação energética – DESSEM”, VIII SEPOPE – Symposium of Simposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning, Brasilia, Brazil, 2002
- M. E. P. Maceira, L. A. Terry, A. L. Diniz, L. C. F. Sousa, F. S. Costa, S. P. Romero, S. Binato, S. M. Amado, C. E. Vilasboas, R. Vilanova, “Despacho de geração horário com representação detalhada de restrições hidráulicas”, VII SEPOPE –Symposium of Simposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning, Foz do Iguacu, Brazil, May 2000.

**Modelagem DC  
da rede elétrica**

**Modelo DESSEM  
sem rede, semUCT**

**OBRIGADO!**

**[dessem@cepel.br](mailto:dessem@cepel.br)**



**Eletrobras  
Cepel**



MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA

