

Webinar UCH

A novel cooperative multi-search benders decomposition for solving the hydrothermal unit-commitment problem

Laboratório de Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica (LabPlan)/UFSC

Realização:



09/06/2021

CPAMP - Comissão Permanente para Análise de Metodologias
e Programas Computacionais do Setor Elétrico
GT METODOLOGIA

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

Membros:



Assessoria Técnica:



Publicação científica

Autores:	Bruno Colonetti, Erlon Finardi, Paulo Larroyd, Felipe Beltrán
Título:	A novel cooperative multi-search benders decomposition for solving the hydrothermal unit-commitment problem
Journal:	International Journal of Electrical Power & Energy Systems
Volume:	134
Ano:	2022
DOI:	<u>https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107390</u>
URL:	<u>https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142061521006293</u>

Agenda

1. Contextualização
2. Modelo
3. Metodologia de solução
4. Experimentos computacionais e resultados

Contextualização

- Contribuições para o planejamento e a programação da operação do SIN
 - Trabalhos de mestrado e doutorado
 - Desenvolvimento de uma cadeia de modelos de otimização com apoio de projetos de P&D
- Resultado
 - 2009 → modelos de médio e curto prazo de coordenação hidrotérmica baseados no DECOMP e NEWAVE
 - 2019 → modelo de programação diária baseado no DESSEM
- Aplicabilidade das soluções propostas
 - Características matemáticas do problema
 - Problema linear inteiro-misto (PLIM)
 - Características gerais do problema
 - Unit commitment hidrotérmico com predominância de hidrelétricas
 - Determinístico
 - Mercado *Tight Pool*: minimização de custos com despacho centralizado
 - As propostas são gerais o suficiente para acomodar qualquer modelo de programação diária desde que formulado como um PLIM

Modelo de Unit Commitment Hidráulico

- Polinômios de cota montante, cota jusante, eficiência e perda hidráulica foram retirados dos arquivos “hidr.dat” de decks do Decomp
- Individualizado: cada unidade geradora é representada individualmente
 - Uma variável binária para cada unidade geradora e função de produção individualizada em volume, turbinamento e vertimento
 - Limites de geração são impostos por unidade
- Vantagens
 - Inclusão de outras restrições operacionais individuais (e.g., tempos mínimos em operação e fora de operação)
- Desvantagens
 - Inclusão de muitas variáveis binárias adicionais
 - Individualização da função de produção adiciona muitas restrições



- Uma variável binária para cada unidade geradora em cada período
- 18 variáveis binárias no total por período

https://en.wikipedia.org/wiki/Belo_Monte_Dam

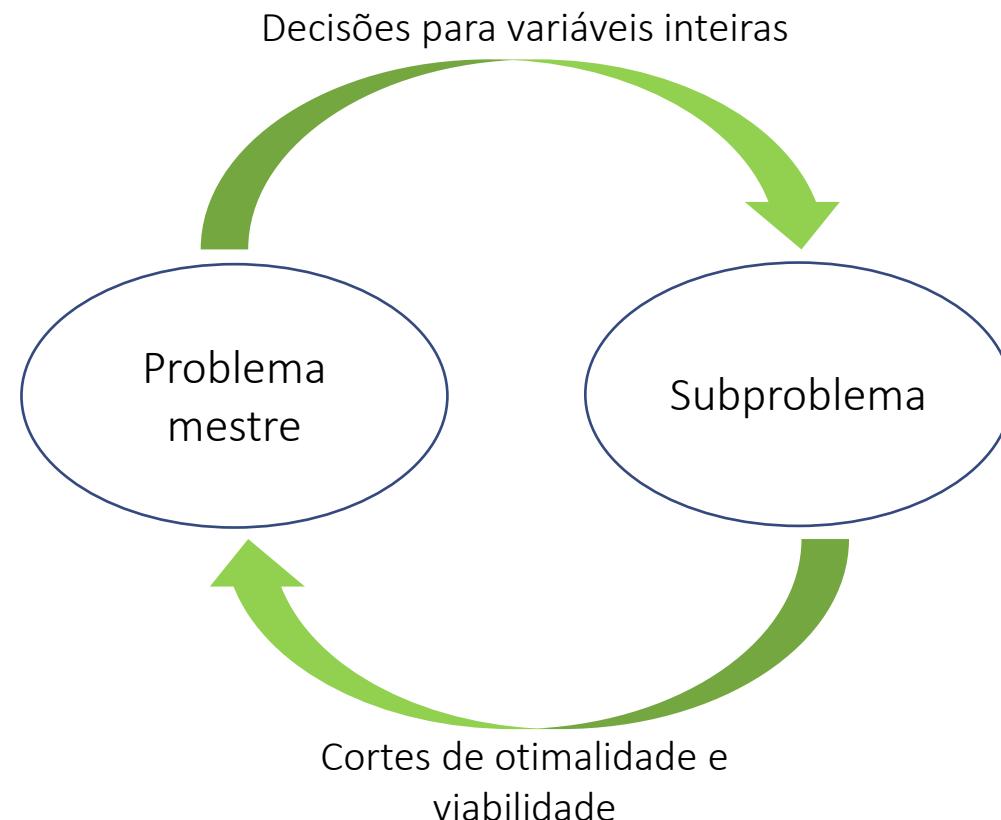
Modelo de Programação Diária

- Características gerais
 - Horizonte de 24 horas dividido em 48 períodos de 30 minutos
- Modelo termelétrico
 - Unit commitment termelétrico
 - Restrições de mínimos tempos em operação e fora de operação
 - Rampas de tomada e alívio de carga
 - Trajetórias de acionamento e desligamento
 - Atualmente desconsidera ciclo combinado e representa a operação individual de cada unidade
 - **329 unidades geradoras**
- Modelo hidrelétrico
 - Commitment hidráulico por unidade
 - Tempo de viagem de água constante, desvios de água, bombeamento
 - Função de produção aproximada por modelo linear por partes côncavo
 - **161 reservatórios e 731 unidades geradoras**
- Modelo de rede
 - Modelo DC para todos os 48 períodos
 - **7,475 barras e 10,702 linhas de transmissão**

Restrições	Variáveis contínuas	Variáveis binárias
1.397.974	1.285.905	119.888

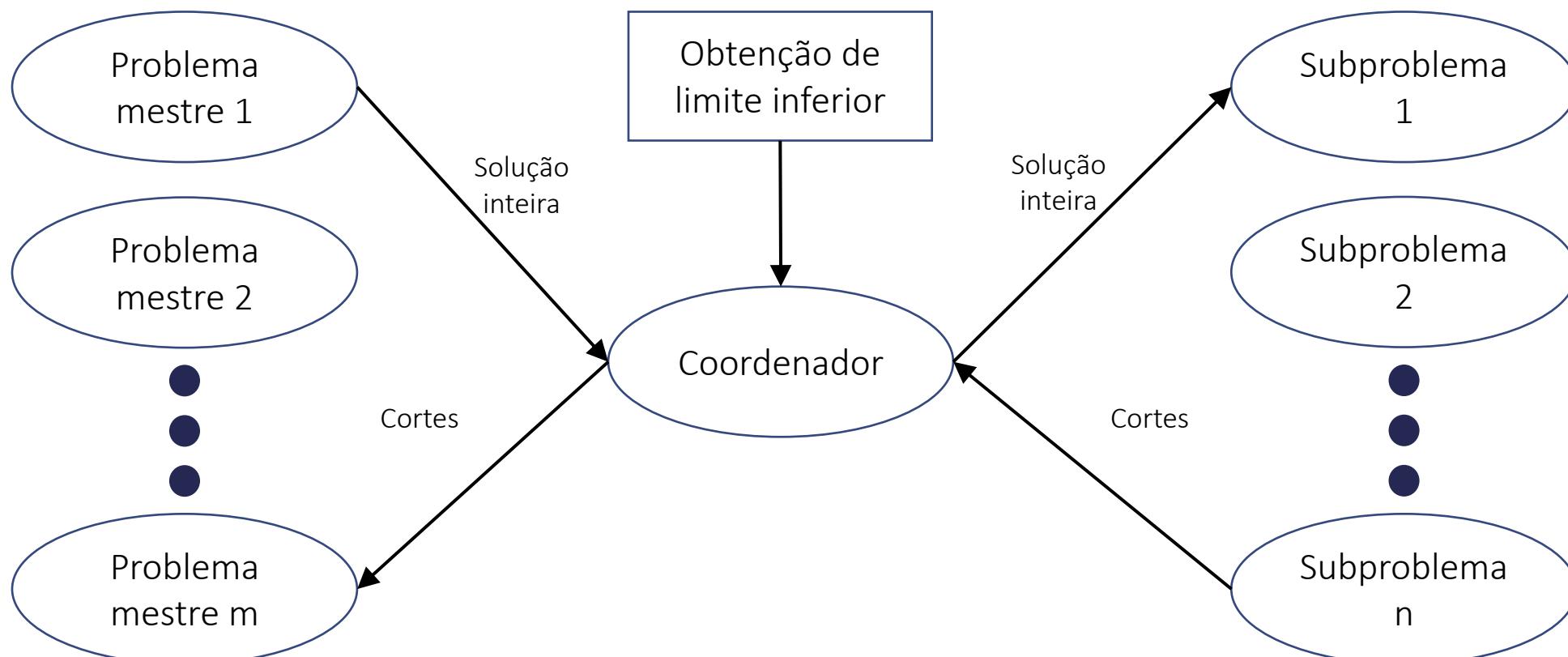
Metodologia de Solução (i)

- Solvers comerciais podem apresentar uma performance insatisfatória quando aplicados diretamente em problemas de grande porte
- Estratégias de decomposição são alternativas que permitem que o problema original seja quebrado em problemas menores
- Decomposição de Benders



Metodologia de Solução (ii)

- A decomposição de Benders pode realizar muitas iterações para alcançar uma solução satisfatória
- Assim, faz-se necessário o uso de técnicas de aceleração
- Com a atual oferta de computação distribuída, é natural recorrer a esse recurso como ferramenta para aceleração da convergência do método



Experimentos Computacionais

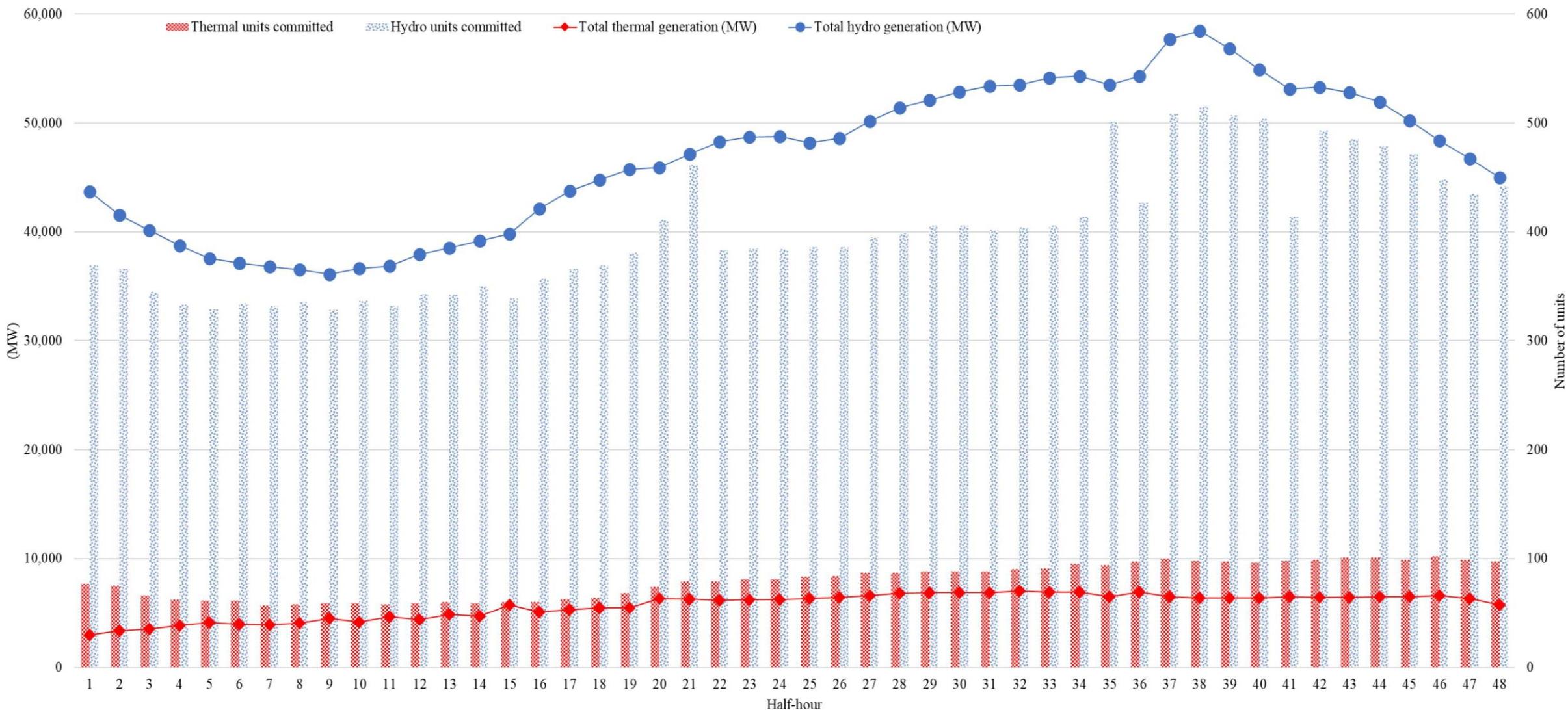
- 25 casos de programação diária baseados no DESSEM
- Tolerância de gap de otimalidade de 0,1%, mesma tolerância utilizada no DESSEM
- Comparação entre Gurobi e Benders distribuído
- Os tempos limites são de 3 horas
- Os códigos foram escritos em Python
- Os experimentos são conduzidos numa máquina com 2 processadores Intel Xeon E5-2660 de 2.60-GHz com 128 GB de RAM
- Devido ao caráter assíncrono da metodologia, os experimentos com o Benders distribuído são repetidos 10 vezes
- Os resultados apresentados a seguir são as médias aritméticas das respectivas métricas

Resultados

Caso	Gurobi					Benders distribuído					
	Limite Superior (10 ⁶ \$)	Limite inferior (10 ⁶ \$)	Gap (%)	Tempo (min)	Limite Superior (10 ⁶ \$)	Limite inferior (10 ⁶ \$)	Gap (%)	Tempo (min)	Speedup	Gap improv.	
1	60,573.21	60,308.39	0.4372	180	60,362.02	60,307.73	0.090	13	13.8	4.9	
2	60,730.46	60,437.44	0.4825	180	60,492.76	60,436.75	0.093	13	13.8	5.2	
3	60,232.31	60,231.73	0.0010	102	60,283.84	60,230.85	0.088	13	7.8	0	
4	60,619.68	60,290.37	0.5432	180	60,347.69	60,289.62	0.096	14	12.9	5.7	
5	60,691.71	60,270.13	0.6946	180	60,325.56	60,269.48	0.093	12	15.0	7.5	
6	57,076.53	56,840.65	0.4133	180	56,892.03	56,839.90	0.092	11	16.4	4.5	
7	57,412.09	56,935.07	0.8309	180	56,987.10	56,934.18	0.093	14	12.9	8.9	
8	57,284.93	57,044.32	0.4200	180	57,096.84	57,043.36	0.094	11	16.4	4.5	
9	57,368.64	57,170.37	0.3456	180	57,219.46	57,169.49	0.087	11	16.4	4.0	
10	57,417.06	57,263.04	0.2683	180	57,309.11	57,262.04	0.082	10	18.0	3.3	
11	121,346.49	120,386.48	0.7911	180	120,493.66	120,385.53	0.09	14	12.9	8.8	
12	120,260.56	120,258.70	0.0015	178	120,373.36	120,257.88	0.096	10	17.8	0	
13	121,971.17	120,337.35	1.3395	180	120,449.07	120,336.54	0.093	13	13.8	14.4	
14	120,390.43	120,389.37	0.0009	175	120,500.74	120,388.54	0.093	16	10.9	0	
15	122,195.66	120,376.12	1.4890	180	120,482.81	120,375.50	0.089	10	18.0	16.7	
16	83,350.65	82,905.68	0.5339	180	82,979.15	82,904.63	0.090	10	18.0	5.9	
17	83,419.51	82,875.54	0.6521	180	82,947.85	82,874.42	0.089	10	18.0	7.3	
18	83,404.96	82,928.44	0.5713	180	83,003.16	82,927.65	0.091	13	13.8	6.3	
19	83,558.69	83,134.23	0.5080	180	83,209.03	83,133.46	0.091	10	18.0	5.6	
20	83,239.99	83,177.53	0.0750	160	83,255.09	83,176.75	0.094	9	17.8	0.8	
21	60,354.62	60,023.51	0.5486	180	60,075.98	60,022.57	0.089	11	16.4	6.2	
22	60,331.78	60,065.63	0.4411	180	60,120.68	60,064.83	0.093	10	18.0	4.7	
23	60,383.50	60,141.42	0.4009	180	60,197.41	60,140.58	0.094	12	15.0	4.3	
24	60,420.42	60,202.67	0.3604	180	60,256.68	60,201.78	0.091	11	16.4	4.0	
25	60,428.92	60,253.09	0.2910	180	60,308.11	60,252.21	0.093	12	15.0	3.1	

- A metodologia proposta é, em média, 15 vezes mais rápida que o Gurobi
- Soluções inteiras dentro de um gap de 0,1% são encontradas, na maior parte das vezes, em até 15 min

Resultados



Obrigado!

Realização:



CPAMP - Comissão Permanente para Análise de Metodologias
e Programas Computacionais do Setor Elétrico
GT METODOLOGIA

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

Membros:



Assessoria Técnica:



LabPlan/UFSC
erlon.finardi@ufsc.br