

# Webinar UCH

## Hydrothermal Unit-Commitment Problem of a Large-Scale System with Representation of Forbidden Zones

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

Realização:



ccee



09/06/2021

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

GT METODOLOGIA

**Membros:**

MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA



**Assessoria Técnica:**



# Publicação científica

**Autores:** Bruno Colonetti, Erlon Finardi, Lucas Borges Picarelli

**Título:** Hydrothermal Unit-Commitment Problem of a Large-Scale System with Representation of Forbidden Zones

**Journal:** Energies

**Volume:** 15

**Ano:** 2022

**DOI:** <https://doi.org/10.3390/en1501003>

**URL:** <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/1/39>

# Agenda

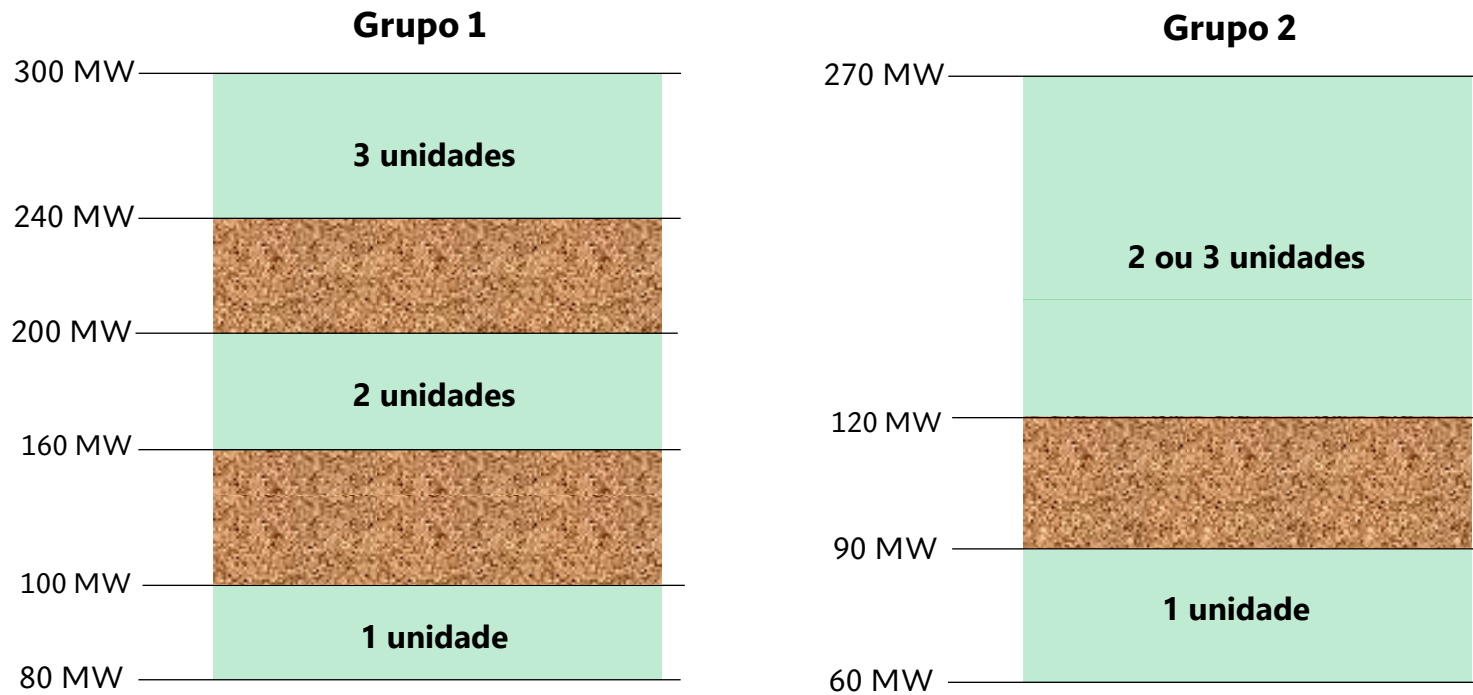
1. Contextualização
2. Modelo
3. Metodologia de solução
4. Experimentos computacionais e resultados

# 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
- Modelo por faixas: cada faixa de geração é representada explicitamente
  - Uma variável binária para cada faixa de operação e função de produção agregada em volume, turbinamento e vertimento
  - Limites de geração são impostos por faixa de geração
- **Vantagens**
  - Número reduzido de variáveis binárias
- **Desvantagens**
  - Não permite a inclusão direta de outras restrições operacionais individuais (e.g., tempos mínimos em operação e fora de operação)

# Modelo de Unit Commitment Hidráulico: exemplo

- Modelo por faixas: cada faixa de geração é representada explicitamente
  - Grupo 1: Três unidades com faixa operativa entre 80 e 100 MW
  - Grupo 2: Três unidades com faixa entre 60 e 90 MW



Pelo cinco variáveis binárias  
(para representar as regiões em  
verde)

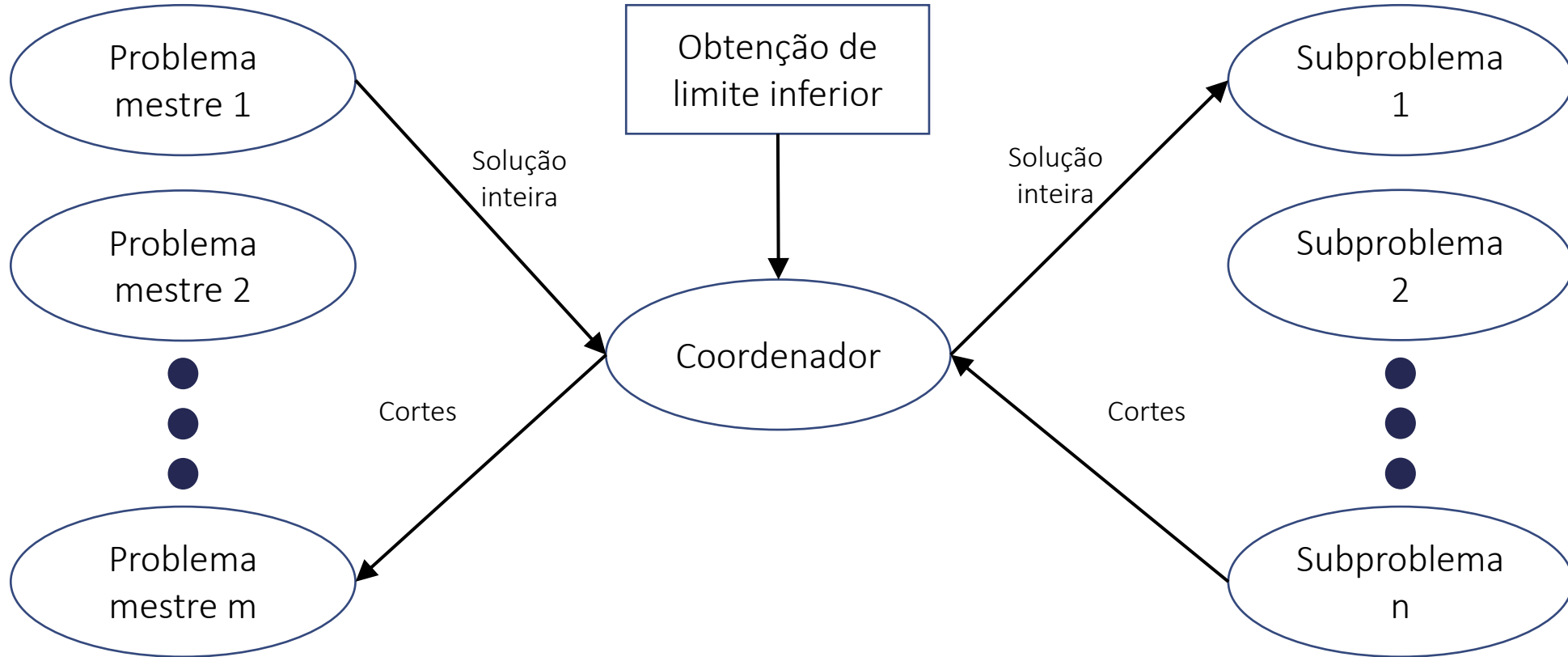
# Modelo de Programação Diária

- 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 faixa de geração
  - Tempo de viagem de água constante, desvios de água, bombeamento
  - Função de produção aproximada por modelo linear por partes côncavo
  - **161 reservatórios e 310 faixas operativas**
- Modelo de rede
  - Modelo DC para todos os 48 períodos
  - **7,475 barras e 10,702 linhas de transmissão**

Restrições	Variáveis contínuas	Variáveis binárias
1.127.204	1.098.849	99.632

# Metodologia de Solução

- Benders distribuído



# Experimentos Computacionais

- 10 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 5 vezes
- Comparação do modelo sem faixas (sem variáveis binárias para as hidrelétricas) e o modelo com faixas

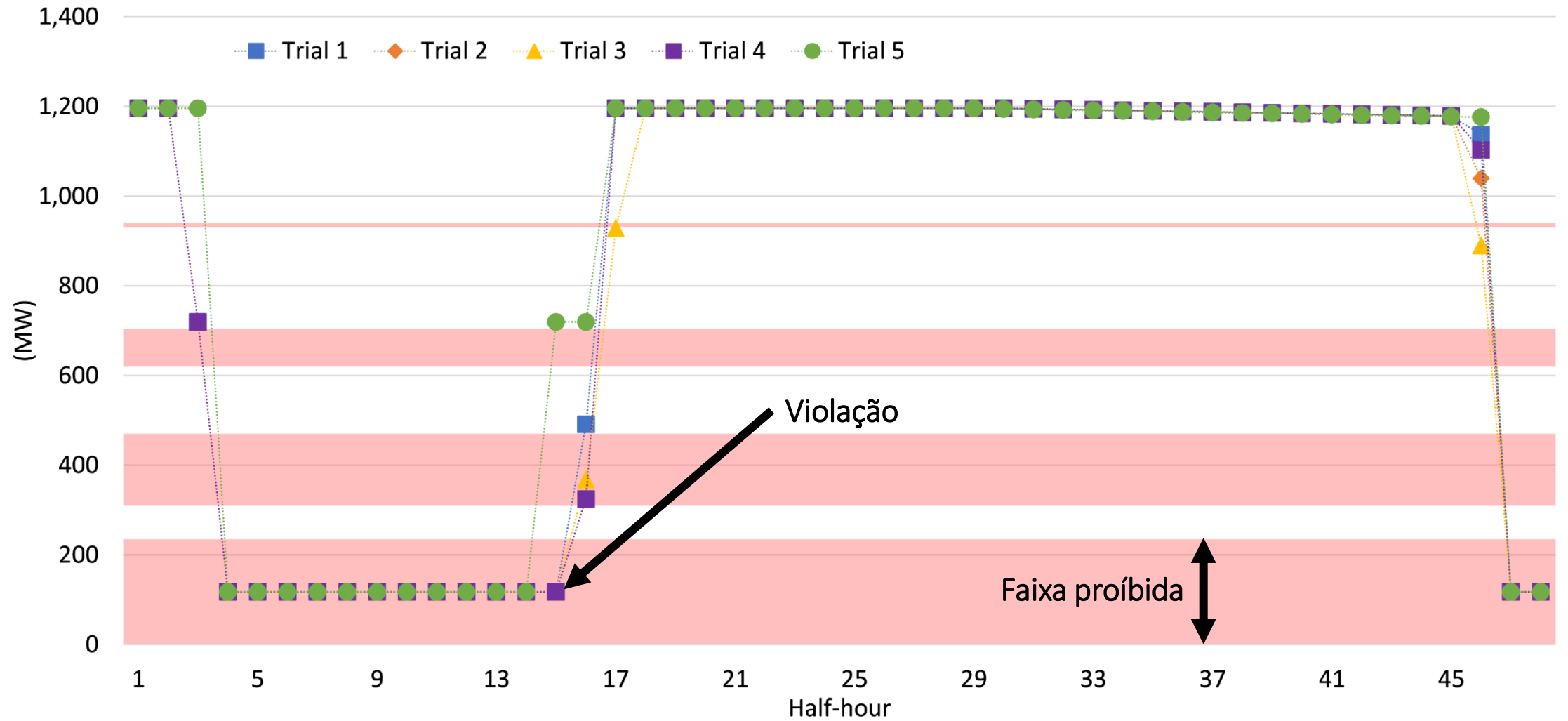


# Resultados: gaps e tempos

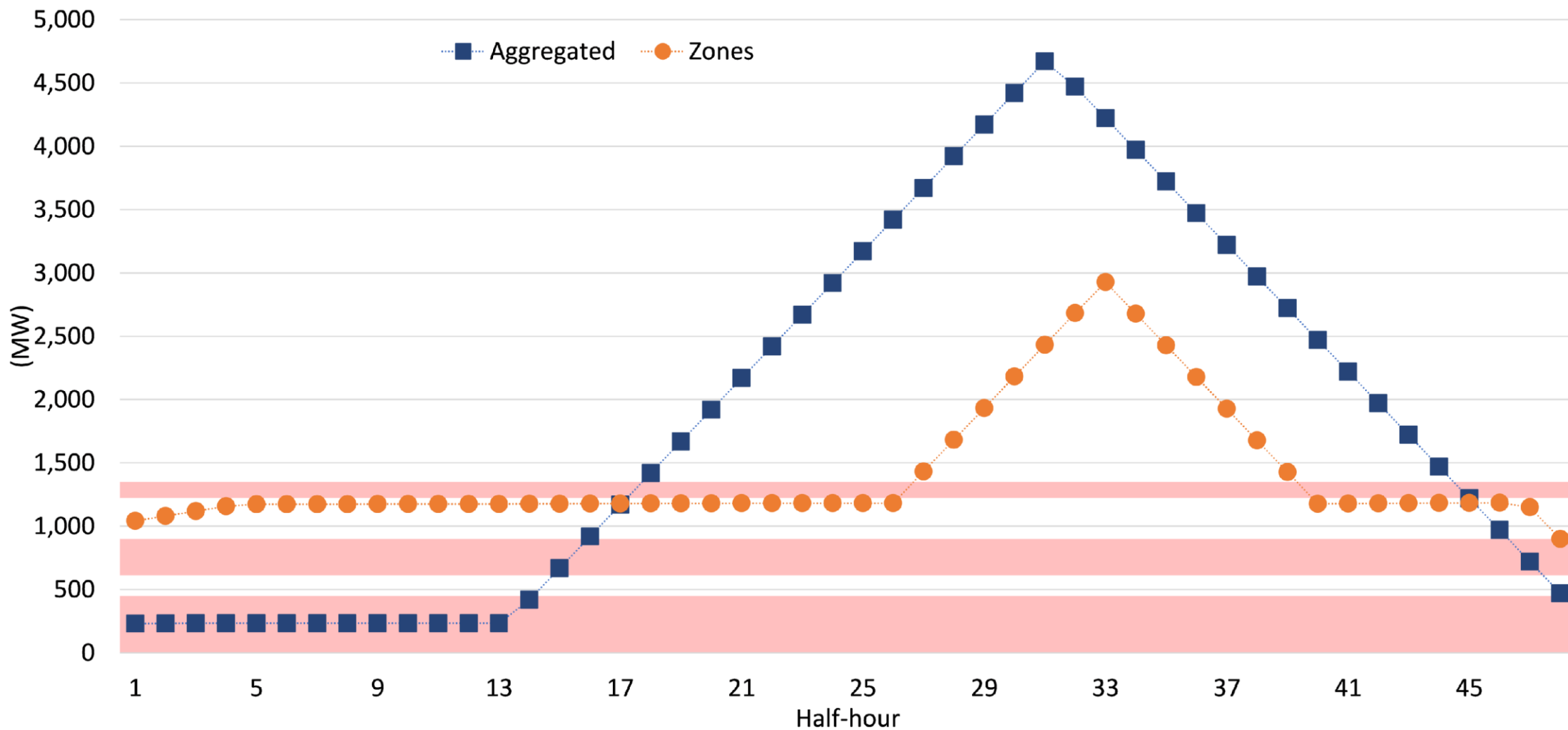
Case	Model	Gap (%)		Tempo (minutos)	
		(Min)	(Max)	(Min)	(Max)
1	agregado	0,08469	0,09997	12,9	18,1
2	agregado	0,02814	0,03443	8,3	8,8
3	agregado	0,09221	0,09900	9,9	11,1
4	agregado	0,06305	0,08920	7,2	7,9
5	agregado	0,07830	0,09717	8,3	8,6
6	agregado	0,08576	0,08773	7,1	7,3
7	agregado	0,08845	0,09110	9,9	10,1
8	agregado	0,04545	0,04703	6,4	6,6
9	agregado	0,06790	0,07598	10,7	11,1
10	agregado	0,06971	0,07142	6,4	6,9
1	faixas	0,07192	0,09950	13,4	15,5
2	faixas	0,04846	0,05652	11,0	11,3
3	faixas	0,08398	0,09919	13,1	14,2
4	faixas	0,09761	0,09932	7,1	8,2
5	faixas	0,09156	0,09637	8,8	10,3
6	faixas	0,09554	0,09932	7,1	7,5
7	faixas	0,08423	0,09940	12,1	15,0
8	faixas	0,07677	0,08203	6,3	6,7
9	faixas	0,08678	0,09973	12,9	14,5
10	faixas	0,07502	0,08391	7,2	7,4

- Com a metodologia proposta, o tempo de resolução do problema com faixas se torna factível e comparável ao tempo tomado para resolver o modelo sem faixas
- Soluções inteiras dentro de um gap de 0,1% são encontradas, na maior parte das vezes, em até 20 min

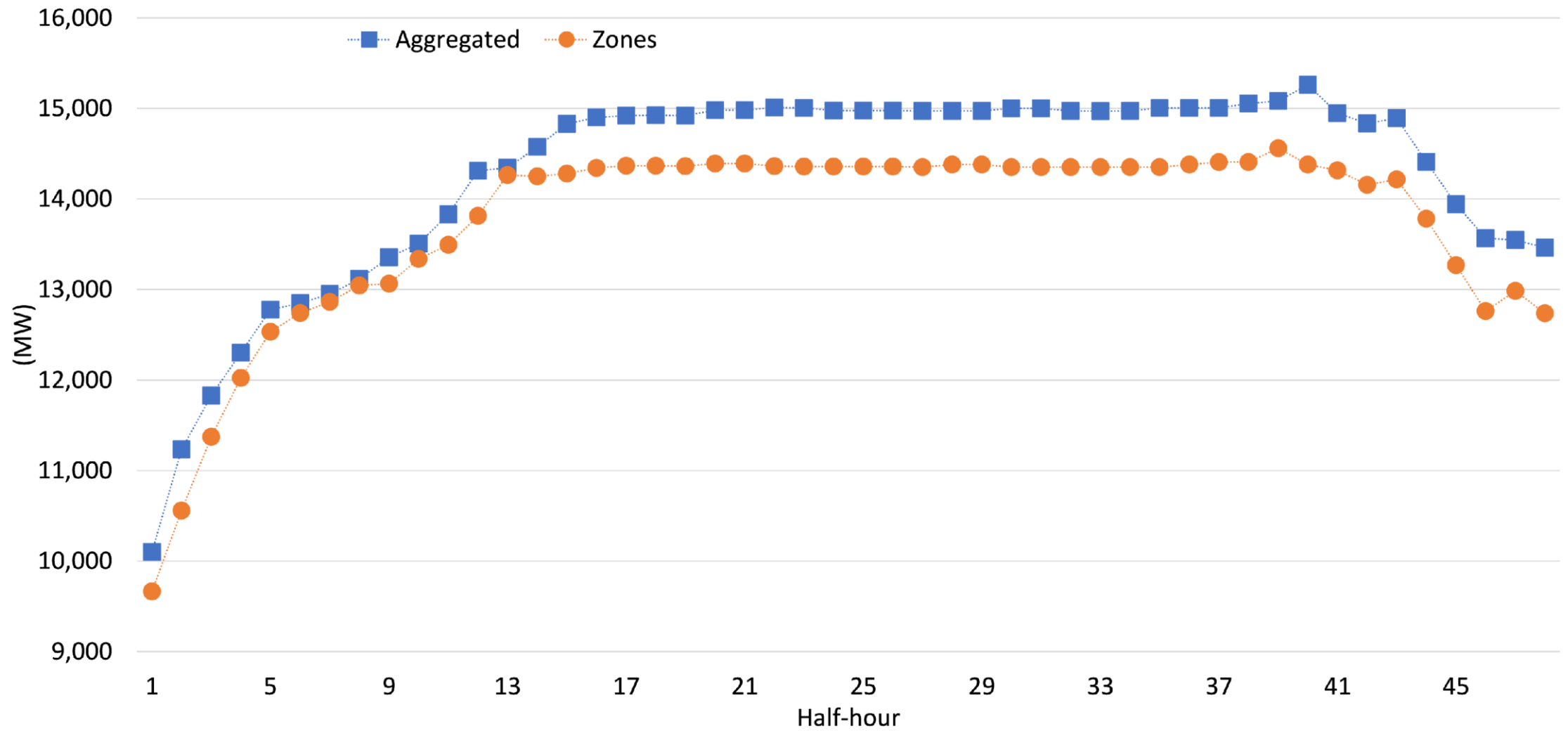
# Resultados: exemplo de violação no modelo sem faixas para a usina de Salto Caxias no caso 4



# Resultados: operação de Belo Monte no Caso 9 nos modelos sem faixas e com faixas



# Resultados: geração termelétrica no Caso 8



# Resultados: energia armazenada nos reservatórios no fim de cada dia operativo para os 10 casos

<b>Caso</b>	<b>Sem faixas (MWmês)</b>	<b>Com faixas (MWmês)</b>	<b>Diferença (%)</b>
1	82.422,81	82.250,89	0,209
2	84.745,53	84.625,32	0,142
3	176.786,30	176.525,38	0,148
4	175.045,97	174.860,81	0,106
5	166.101,05	165.726,75	0,225
6	163.724,82	163.439,12	0,175
7	98.864,34	98.622,75	0,244
8	95.847,21	95.747,30	0,104
9	70.478,36	70.083,39	0,560
10	69.455,02	69.158,44	0,427

# Obrigado!

Realização:



*LabPlan/UFSC*  
*erlon.finardi@ufsc.br*

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

GT METODOLOGIA

**Membros:**

MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA

**ANEEL**  
AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA

**ONS**

**epe**

**Assessoria Técnica:**

**Eletrobras**  
Cepel