

# Webinar UCH

## Parallel Dual Dynamic Integer Programming for Large-Scale Hydrothermal Unit-Commitment

*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

**ANEEL**  
AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA



**Assessoria Técnica:**



# Publicação científica

**Autores:** Bruno Colonetti, Erlon Finardi, Samuel Brito, Victor Zavala

**Título:** Parallel Dual Dynamic Integer Programming for Large-Scale Hydrothermal Unit-Commitment

**Submetido:** IEEE Transactions on Power Systems

**Ano:** 2022

**DOI:** -

**URL do preprint:** [http://www.optimization-online.org/DB\\_HTML/2022/03/8829.html](http://www.optimization-online.org/DB_HTML/2022/03/8829.html)

# Agenda

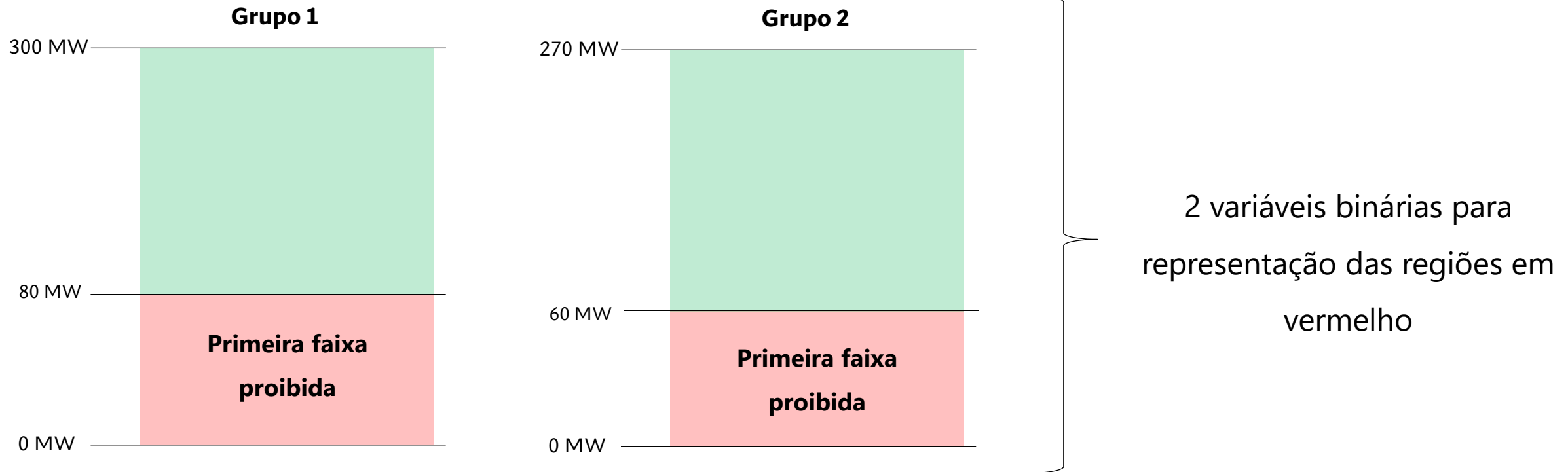
1. Contextualização
2. Modelo
3. Metodologia de solução
4. Experimentos computacionais e resultados

# Contextualização

- A metodologia de programação dinâmica dual é utilizada há, pelo menos, 20 anos para a operação do sistema brasileiro
- Diferente da decomposição de Benders, a programação dinâmica permite a resolução de subproblemas menores
- Por sua vez, a decomposição em problemas menores pode permitir modelagens mais avançadas
- A aproximação de custos futuros dentro do modelo de programação diária pode ser usada nas decisões pós DESSEM

# Modelo de hidrelétricas

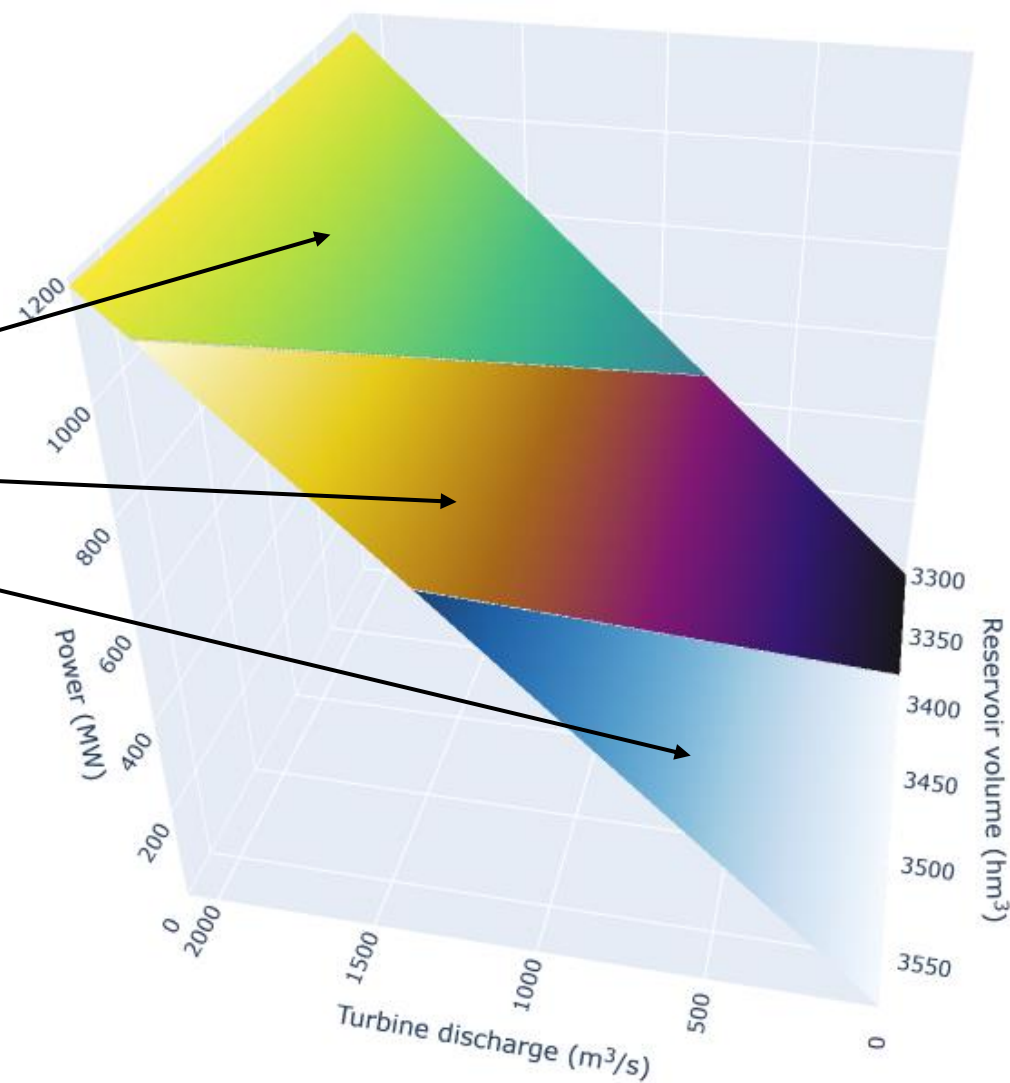
- A primeira faixa proibida é representada por uma variável binária
- Exemplo
  - Grupo 1: Três unidades com faixa operativa entre 80 e 100 MW
  - Grupo 2: Três unidades com faixa entre 60 e 90 MW



# Modelo de hidrelétricas

Uma variável binária por  
plano da aproximação da  
FPH

Se a planta for despachada,  
um, e somente um, dos  
planos deve ser escolhido



# Modelo de Programação Diária

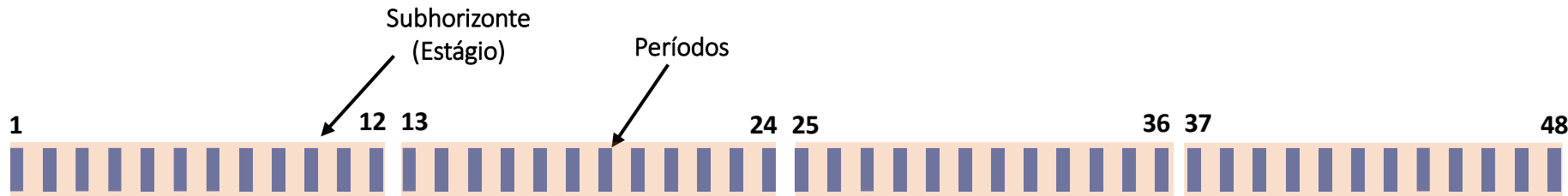
- Características gerais
  - Horizonte de 24 horas dividido em 48 períodos de 30 minutos
- Modelo termelétrico
  - Unit commitment termelétrico
  - Restrições de mínimos tempos em operação e fora de operação
  - Rampas de tomada e alívio de carga
  - Trajetórias de acionamento e desligamento
  - Atualmente desconsidera ciclo combinado e representa a operação individual de cada unidade
  - 329 unidades geradoras
- Modelo hidrelétrico
  - Representação da primeira faixa proibida
  - Tempo de viagem de água constante, desvios de água, bombeamento
  - Função de produção aproximada por modelo linear por partes côncavo e variável binária por plano
  - 161 reservatórios e 150 faixas proibidas
- Modelo de rede
  - Modelo DC para todos os 48 períodos
  - 7,475 barras e 10,702 linhas de transmissão

Restrições*	Variáveis contínuas*	Variáveis binárias
679,417	616,762	74,880

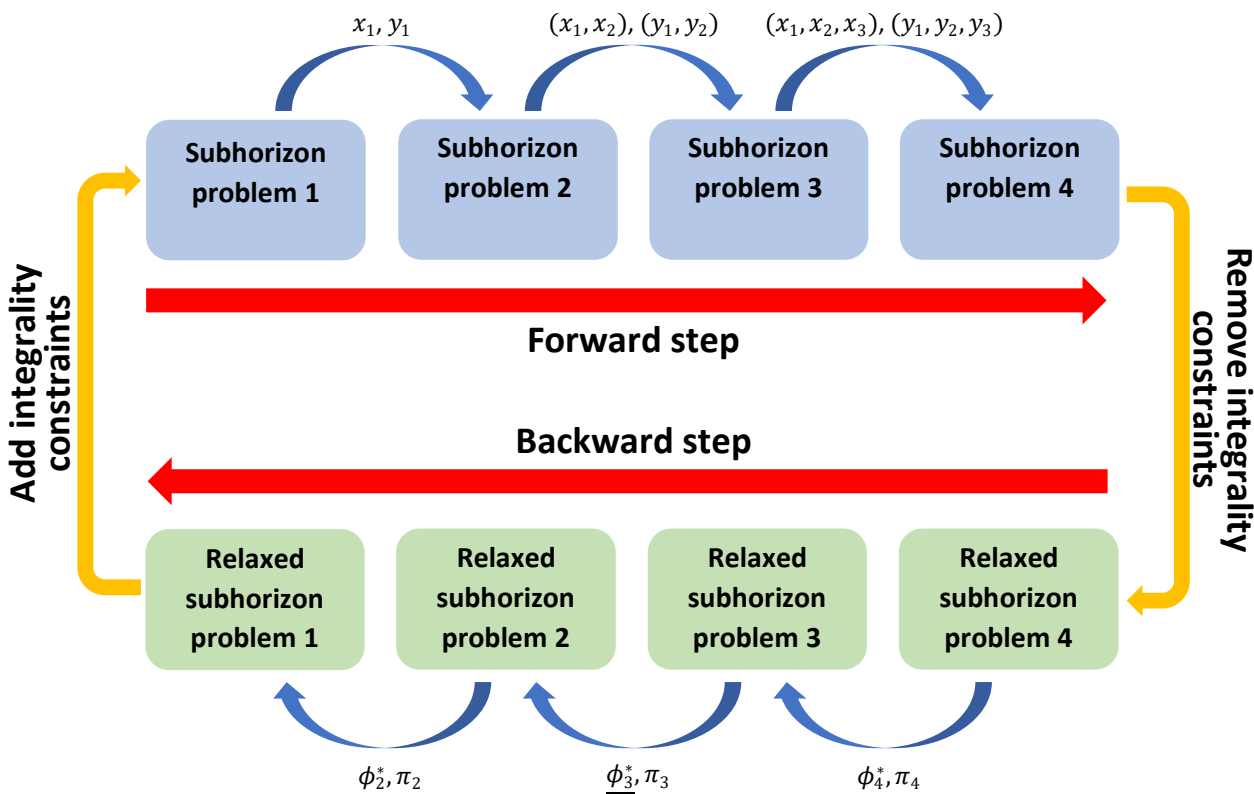
\*Depois de redução de rede

# Metodologia de solução: método sequencial

Exemplo de partição de um horizonte de planejamento de 48 períodos

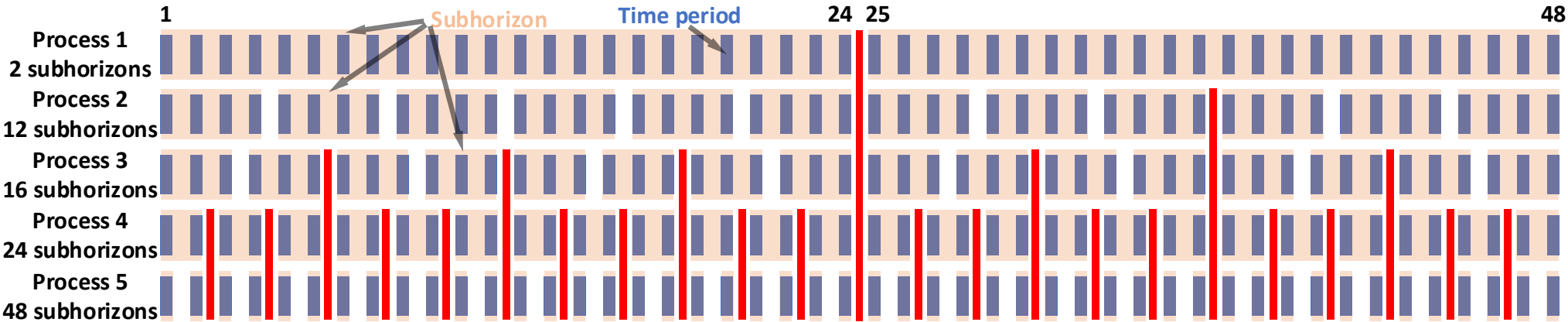
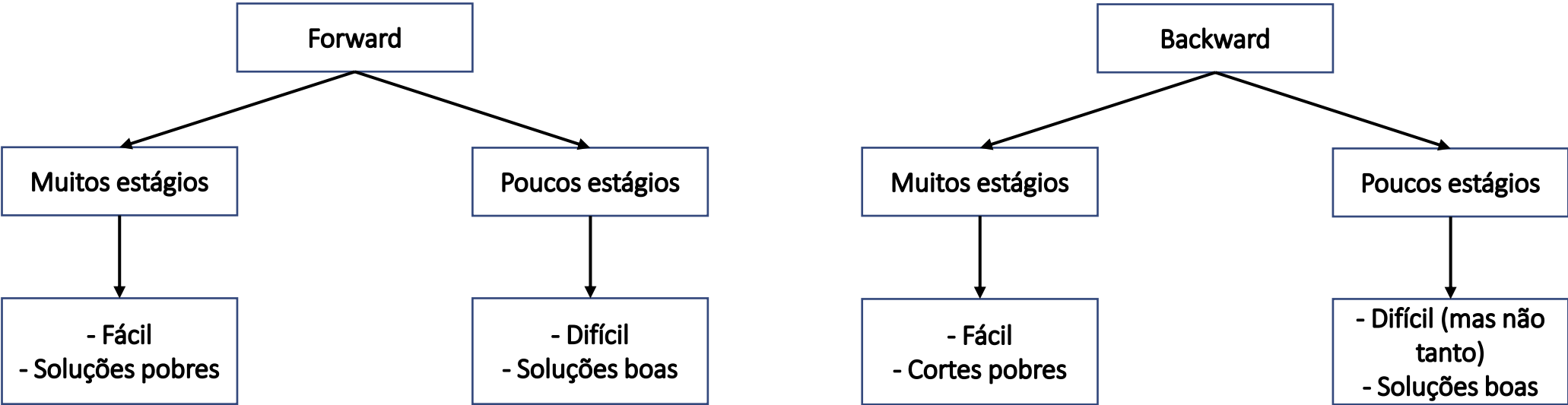


Programação dinâmica dual inteira

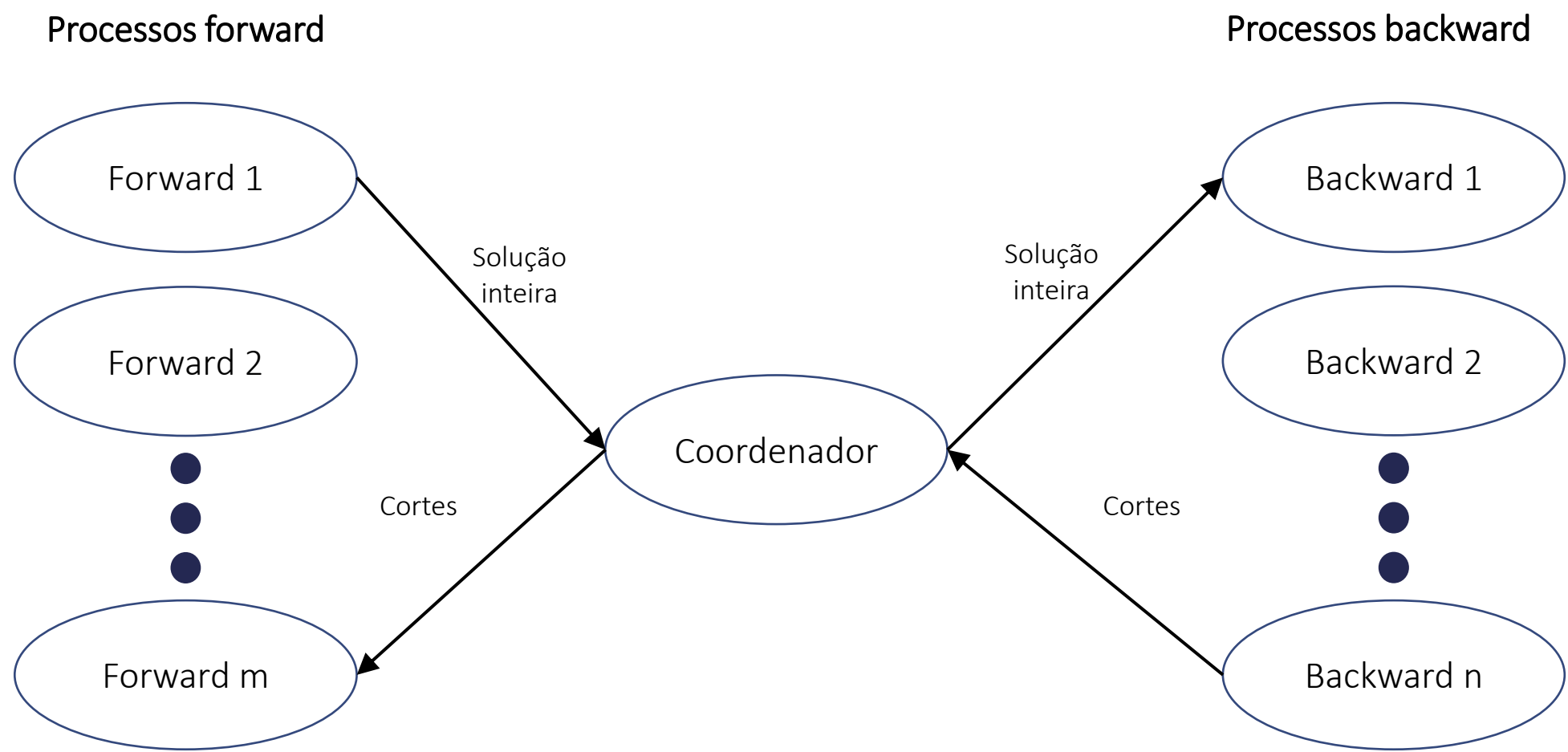




# Metodologia de solução: paralelização



# Metodologia de Solução: ilustração



# Experimentos Computacionais

- 20 casos de programação diária baseados no DESSEM
- Tolerância de gap de otimalidade de 0,1%, mesma tolerância utilizada no DESSEM
- Comparação entre Gurobi e programação dinâmica dual inteira paralela
- Os códigos foram escritos em Python
- Limite de tempo de 24 h para o Gurobi sem decomposição, 2 h para o método sequencial e 2 h para o método paralelo
- Os experimentos são conduzidos numa máquina com 2 processadores Intel Xeon E5-2660 de 2.60-GHz com 128 GB de RAM
- Devido ao carácter assíncrono da metodologia, os experimentos com o método paralelo são repetidos 5 vezes

# Resultados: gaps e tempos para os métodos sequenciais

Sem decomposição temporal

Case	Limite inferior (10 <sup>6</sup> \$)	Limite superior (10 <sup>6</sup> \$)	Gap (%)	Tempo (hora)
1	92.182,20	92.182,25	5,52E-05	12
2	106.284,00	-	100	24
3	0	-	100	24
4	60.524,85	60.524,93	0,000126	15
5	60.886,18	60.886,19	2,28E-05	16
6	57.622,72	57.622,75	5,52E-05	15
7	83.441,40	83.441,41	2,69E-05	16
8	54.054,72	54.335,47	0,516692	24
9	54.828,21	-	100	24
10	92.876,13	92.876,2	7,55E-05	14
11	50.871,54	-	100	24
12	51.141,08	51.141,1	3,82E-05	19
13	73.602,15	-	100	24
14	73.474,58	73.474,62	5,24E-05	22
15	86.881,57	92.301,32	5,871803	24
16	100.820,02	100.820,1	9,67E-05	13
17	72.741,13	72.741,19	8,03E-05	15
18	72.418,78	72.418,85	9,38E-05	22
19	72.020,03	-	100	24
20	71.773,28	-	100	24

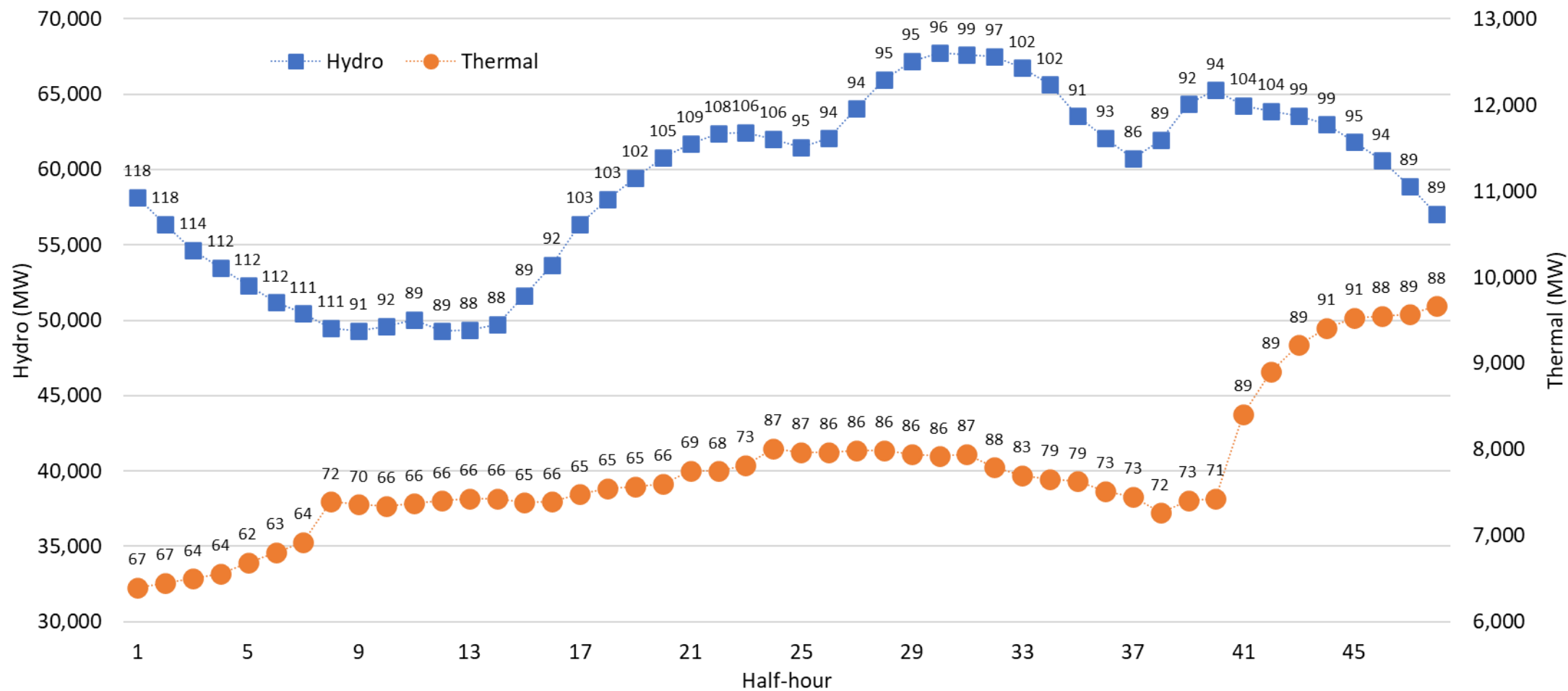
Gaps após 2 horas para diferentes decomposições

Número de estágios									
Caso	2	3	4	6	8	12	16	24	48
1	0,04	0,11	0,153	0,214	0,799	0,836	1,067	2,103	3,023
2	0,162	0,102	0,23	0,266	0,831	0,898	1,283	2,069	1,013
3	0,016	0,03	0,098	0,089	0,135	0,066	0,097	0,546	0,077
4	0,013	0,022	0,034	0,047	0,071	0,097	0,098	0,1	0,094
5	0,008	0,021	0,021	0,038	0,066	0,294	1,323	0,243	0,09
6	0,014	0,064	0,08	0,081	0,086	0,082	0,099	0,098	0,094
7	0,007	0,016	0,019	0,075	0,262	0,108	0,1	0,776	0,083
8	0,185	0,091	0,082	0,091	0,241	0,107	0,366	0,1	0,098
9	0,215	0,054	0,091	0,083	0,552	0,141	0,481	1,046	0,075
10	0,03	0,188	0,098	0,409	0,745	0,726	1,402	1,962	2,43
11	0,065	0,127	0,177	0,085	0,287	0,216	0,165	0,302	0,1
12	0,079	0,163	0,154	0,16	0,299	0,368	0,361	0,222	0,096
13	0,087	0,131	0,152	0,141	0,216	0,948	1,373	2,716	0,097
14	0,114	0,191	0,254	0,122	0,383	0,809	1,368	2,215	0,1
15	0,141	0,301	0,448	0,503	1,019	1,409	1,907	2,661	2,851
16	0,107	0,082	0,408	0,228	0,783	1,025	1,294	1,824	1,219
17	0,331	0,104	0,098	0,119	0,097	0,12	0,201	1,633	0,1
18	100	0,147	0,112	0,108	0,147	0,095	0,094	1,55	0,094
19	0,12	0,163	0,204	0,164	0,278	0,339	1,881	3,136	4,095
20	0,067	0,094	0,093	0,109	0,153	0,105	0,158	0,16	0,099

# Resultados: gaps e tempos para o método paralelo

Caso	Média do gap (%)	Média do tempo (min)	Média do limite inferior (10 <sup>6</sup> \$)	Speed-up para o pior caso paralelo em relação ao melhor caso sequencial
1	0,045	45	92.163,61	2,1
2	0,082	39	106.231,51	2,5
3	0,088	7	61.428,39	4
4	0,093	5	60.484,98	2,2
5	0,021	8	60.882,85	1,7
6	0,059	5	57.610,89	1,6
7	0,024	7	83.438,54	1,9
8	0,091	8	54.044,31	4
9	0,084	13	54.822,91	2,7
10	0,05	40	92.866,68	0,7
11	0,092	13	50.864,4	3
12	0,087	14	51.129,88	1,2
13	0,092	12	73.579,36	2,7
14	0,094	14	73.451,41	6,2
15	0,089	16	86.846,23	5,7
16	0,086	14	100.782,69	5,4
17	0,079	8	72.702,46	5,1
18	0,057	8	72.391,8	3,2
19	0,063	13	71.989,63	8,6
20	0,09	5	71.733,48	8,6

# Resultados: exemplo para o Caso 16



# Obrigado!

Realização:



ccee



*LabPlan/UFSC*

*colonetti.bruno@psograd.ufsc.br*

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

GT METODOLOGIA

**Membros:**

MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA



**Assessoria Técnica:**

