



INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
TOCANTINS



Seminário Nacional de Produção e
Transmissão de Energia Elétrica

VANTAGENS EM SE CONSIDERAR METAS DE DEMANDA PARA GRUPOS DE USINAS NA MODELAGEM DO PROBLEMA DE COMISSIONAMENTO DE UNIDADES HIDRELÉTRICAS

GOP / Brunno H. Brito



Objetivo: Realizar uma análise das vantagens de se considerar as metas de demanda para grupos de usinas em cascata no comissionamento de unidades hidrelétricas.

Programação Utilizada: Programação Linear Inteira Mista (PLIM).

Público Alvo: Empresas que possuem diversas usinas hidrelétricas, principalmente quando estas estão dispostas em cascata.

Sistema Simulado: 29 unidades geradoras de 8 usinas em cascata localizadas na Bacia do Iguaçu.

Principais Resultados: Economia pode ultrapassar os R\$5.000,00 por dia.

INTRODUÇÃO

- Sistema Hidro-térmo-eólico
- Prioridade à Hidrelétricas
 - Incertezas meteorológicas e períodos de estiagens
 - Complexidade na geração hidrelétrica
- Divisão do POE em três etapas
- PDO - Comissionamento de Unidades Hidrelétricas (CUH)
- CUH - Problema de Programação Não Linear Inteiro Misto (PNLIM)

MÉDIO PRAZO

Horizonte: 5 anos
Discretização: Mensal
Ferramenta: NEWAVE



CURTO PRAZO

Horizonte: 2 meses
Discretização: Semanal
Ferramenta: DECOMP



PROGRAMAÇÃO DIÁRIA DA OPERAÇÃO (PDO)

Horizonte: 1 semana
Discretização: 30 minutos
Ferramenta: NÃO TEM

$$\min \Theta = \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R (Q_{rt} + S_{rt})$$

sujeito a :

$$v_{rt} - v_{rt-1} + c \cdot \left[\mathcal{Q}_{rt} + S_{rt} - \sum_{m \in \mathfrak{R}_r} \left(\mathcal{Q}_{m,t-\tau_{mr}} + S_{m,t-\tau_{mr}} \right) \right] = c \cdot y_{rt}$$

$$v_r^{\min} \leq v_{rt} \leq v_r^{\max}, 0 \leq S_{rt} \leq S_r^{\max}$$

$$\sum_{j=1}^{n_{rt}} pg_{jrt} = L_{rt}$$

$$pg_{jrt} = pst_{jrt}(v_{rt}, q_{jrt}, Q_{rt}, S_{rt}) - pgg_{jrt}(pg_{jrt}) - pmt_{jrt}(pg_{jrt})$$

$$q_{jrt}^{\min}(v_{rt}, Q_{rt}, S_{rt}, q_{jrt}) \leq q_{jrt} \leq q_{jrt}^{\max}(v_{rt}, Q_{rt}, S_{rt}, q_{jrt})$$

$$\sum_{j=1}^{n_{rt}} q_{jrt} = Q_{rt}$$

$$u_{jrt} \geq u_{jrp} - u_{jr,p-1}, p \in [t+1-t_{jr}^{up}, t-1]$$

$$\sum_{k=1}^{\Phi_{jr}} pg_{jkr}^{\min} \cdot z_{jkr} \leq pg_{jrt} \leq \sum_{k=1}^{\Phi_{jr}} pg_{jkr}^{\max} \cdot z_{jkr}$$

$$\sum_{k=1}^{\Phi_{jr}} z_{jkrt} = u_{jrt}, \sum_{k=1}^{\Phi_{jr}} z_{jkrt} \leq 1, z_{jkrt} \in \{0,1\}, u_{jrt} \in \{0,1\}$$

$$\min \Theta = \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R (Q_{rt} + S_{rt}) \longrightarrow \text{Somatório de vazões turbinadas + vertidas}$$

sujeito a :

$$v_{rt} - v_{rt-1} + c \cdot \left[Q_{rt} + S_{rt} - \sum_{m \in \mathfrak{R}_t} (Q_{m,t-\tau_{mr}} + S_{m,t-\tau_{mr}}) \right] = c \cdot y_{rt} \longrightarrow \text{Conservação da massa d'água}$$

$$v_r^{\min} \leq v_{rt} \leq v_r^{\max}, 0 \leq S_{rt} \leq S_r^{\max} \longrightarrow \text{Limites de volume armazenado e vazão vertida}$$

$$\sum_{j=1}^{n_r} pg_{jr} = L_r \longrightarrow \text{Atendimento à Demanda}$$

$$pg_{ijt} = pst_{ijt}(v_{ijt}, q_{ijt}, Q_{ijt}, S_{ijt}) - pgg_{ijt}(pg_{ijt}) - pmt_{ijt}(pg_{ijt}) \longrightarrow \text{Função de Produção}$$

$$q_{jrt}^{\min}(v_r, Q_r, S_r, q_{jrt}) \leq q_{jrt} \leq q_{jrt}^{\max}(v_r, Q_r, S_r, q_{jrt}) \longrightarrow \text{Límites de turbinamento}$$

$$\sum_{j=1}^{n_t} q_{jT} = Q_T \longrightarrow \text{Balanço de vazão turbinada}$$

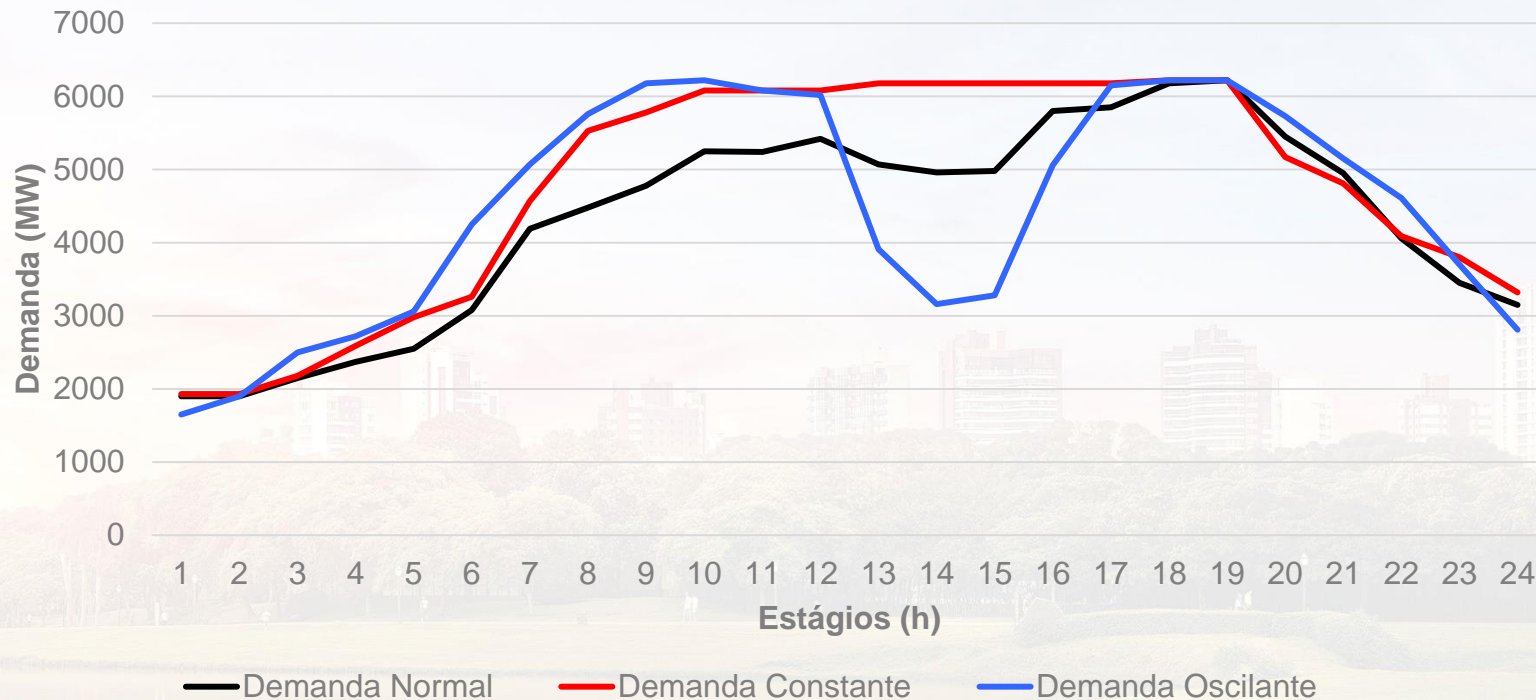
$$u_{jrt} \geq u_{jrp} - u_{jr,p-1}, p \in [t+1-t_{jr}^{up}, t-1] \longrightarrow \text{Tempo m\u00ednimo ligada depois de acionadas}$$

$$\sum_{k=1}^{\Phi_{jr}} pg_{jkr}^{\min} \cdot z_{jkr} \leq pg_{jr} \leq \sum_{k=1}^{\Phi_{jr}} pg_{jkr}^{\max} \cdot z_{jkr}$$

→ Restrições associadas à alocação de unidades e zonas proibidas

$$\sum_{k=1}^{\Phi_{jr}} z_{jkrt} = u_{jrt}, \sum_{k=1}^{\Phi_{jr}} z_{jkrt} \leq 1, z_{jkrt} \in \{0,1\}, u_{jrt} \in \{0,1\}$$

DADOS DE ENTRADA – CURVAS DE DEMANDA



RESULTADOS

Cenário	Fobj. (m³/s)	Vf (hm³)	Fobj. (m³/s)	Vf (hm³)	Diferenças (%)
	Meta por Usina		Meta por Cascata		Fobj./Vf
1	156.390,3	19.318,15	114.732,4	19.446,50	-26,6/+0,66
2	164.024,0	14.576,57	124.523,4	14.699,45	-24,1/+0,84
3	166.684,8	19.318,18	134.557,0	19.427,87	-19,3/+0,56
4	175.094,5	14.576,57	148.370,3	14.667,92	-15,3/+0,63
5	157.164,1	19.331,27	123.053,5	19.439,28	-21,7/+0,56
6	165.249,5	14.588,34	135.660,7	14.682,80	-17,9/+0,65

RESULTADOS – ECONOMIA DIÁRIA EM R\$

Considerando um custo de R\$216,15/MWh

Cenário	Ganho (R\$)
1	5.512,41
2	4.278,26
3	4.805,97
4	3.134,84
5	2.869,19
6	2.987,30

CONCLUSÕES

- A função objetivo (defluência total) é reduzida consideravelmente quando a demanda considerada é para toda a cascata.
- Em algumas situações a redução no valor da função objetivo considerando as metas para a cascata ultrapassaram os 25%.
- As economias reais diárias chegou a ultrapassar os R\$5.000,00 considerando um custo da energia de R\$216,15/MWh, podendo ser maior para custos maiores da energia negociada.
- Essa estratégia pode auxiliar as usinas na recomposição dos reservatórios e, conseqüentemente, na redução do custo da energia à médio prazo.

BRUNNO HENRIQUE BRITO

 (63) 3236-4040

 (63) 98502-0034

 brunno@ifto.edu.br

 www.ifto.edu.br