

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

Operação e Formação de Preços

Relatório

Planejamento e Regulação de Mercados de Energia Elétrica

Lucas Budde Mior

Professor: Erlon Finardi

Florianópolis

Sumário

| | | |
|----------|--|----------|
| 1 | Introdução | 3 |
| 2 | Questão 1 - Afluência Hidráulica e Demanda de Cada Barra | 3 |
| 3 | Questão 2 - Despacho ótimo de cada usina e custo marginal de cada barra | 6 |
| 4 | Questão 3 e 4 - Contabilização | 8 |
| 4.1 | Sem contrato | 8 |
| 4.2 | com contrato | 8 |
| 5 | Questão 5 - Comentários | 9 |

1 Introdução

Esse trabalho demonstra a simulação de um sistema elétrico alimentado por uma usina hidrelétrica e 3 térmicas, durante um período de 20 horas. Para o despacho, é utilizado um modelo de otimização implementado em python utilizando a biblioteca Gurobipy. Os cálculos de formação de preço também foram implementados em python, com base no despacho otimizado.

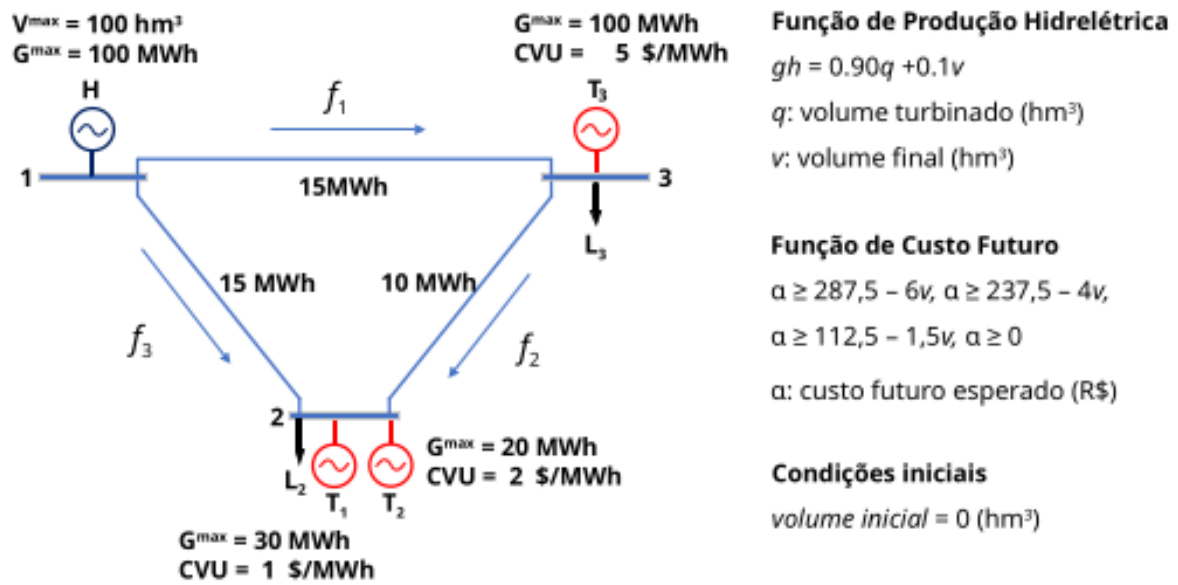


Figura 1: Apresentação do sistema

2 Questão 1 - Afluência Hidráulica e Demanda de Cada Barra

O volume afluente é modelado como uma distribuição uniforme entre 0 e $100hm$. Os valores sortados foram os seguintes:

| Período | Volume |
|---------|--------|
| 0 | 77 |
| 1 | 28 |
| 2 | 17 |
| 3 | 41 |
| 4 | 97 |
| 5 | 18 |
| 6 | 13 |
| 7 | 21 |
| 8 | 95 |
| 9 | 0 |
| 10 | 62 |
| 11 | 4 |
| 12 | 30 |
| 13 | 58 |
| 14 | 23 |
| 15 | 87 |
| 16 | 67 |
| 17 | 60 |
| 18 | 47 |
| 19 | 69 |

As demandas por barra, por sua vez, são modeladas como uma distribuição normal com média 25 e desvio padrão 2, com exceção da barra 1 que não possui carga. As demandas por barra foram as seguintes:

| Período | L1 | L2 | L3 |
|---------|----|----|----|
| 0 | 0 | 24 | 28 |
| 1 | 0 | 24 | 27 |
| 2 | 0 | 25 | 23 |
| 3 | 0 | 22 | 25 |
| 4 | 0 | 22 | 25 |
| 5 | 0 | 25 | 27 |
| 6 | 0 | 24 | 23 |
| 7 | 0 | 29 | 27 |
| 8 | 0 | 25 | 24 |
| 9 | 0 | 25 | 28 |
| 10 | 0 | 26 | 22 |
| 11 | 0 | 25 | 25 |
| 12 | 0 | 26 | 22 |
| 13 | 0 | 30 | 24 |
| 14 | 0 | 23 | 24 |
| 15 | 0 | 24 | 24 |
| 16 | 0 | 25 | 27 |
| 17 | 0 | 25 | 21 |
| 18 | 0 | 27 | 26 |
| 19 | 0 | 25 | 26 |

3 Questão 2 - Despacho ótimo de cada usina e custo marginal de cada barra

O despacho ótimo obtido pelo modelo de otimização é apresentado a seguir (gerações em MW).

| Período | gt1 | gt2 | gt3 | gh | custo |
|---------|------|------|-----|------|------------|
| 0 | 30.0 | 0.0 | 3.0 | 19.0 | R\$ 63.18 |
| 1 | 30.0 | 16.2 | 2.0 | 2.8 | R\$ 197.90 |
| 2 | 30.0 | 16.3 | 0.0 | 1.7 | R\$ 248.10 |
| 3 | 30.0 | 12.9 | 0.0 | 4.1 | R\$ 129.30 |
| 4 | 19.7 | 0.0 | 0.0 | 27.3 | R\$ 19.70 |
| 5 | 30.0 | 18.2 | 2.0 | 1.8 | R\$ 255.90 |
| 6 | 30.0 | 15.7 | 0.0 | 1.3 | R\$ 270.90 |
| 7 | 30.0 | 20.0 | 3.9 | 2.1 | R\$ 251.00 |
| 8 | 23.5 | 0.0 | 0.0 | 25.5 | R\$ 23.50 |
| 9 | 30.0 | 20.0 | 3.0 | 0.0 | R\$ 372.50 |
| 10 | 30.0 | 2.2 | 0.0 | 15.8 | R\$ 71.90 |
| 11 | 30.0 | 19.6 | 0.0 | 0.4 | R\$ 332.70 |
| 12 | 30.0 | 15.0 | 0.0 | 3.0 | R\$ 177.50 |
| 13 | 30.0 | 11.8 | 0.0 | 12.2 | R\$ 91.10 |
| 14 | 30.0 | 14.7 | 0.0 | 2.3 | R\$ 208.90 |
| 15 | 29.7 | 0.0 | 0.0 | 18.3 | R\$ 29.70 |
| 16 | 30.0 | 0.0 | 2.0 | 20.0 | R\$ 76.93 |
| 17 | 30.0 | 2.0 | 0.0 | 14.0 | R\$ 71.50 |
| 18 | 30.0 | 17.3 | 1.0 | 4.7 | R\$ 119.10 |
| 19 | 30.0 | 0.0 | 1.0 | 20.0 | R\$ 68.56 |

- **gt1** - Geração na Usina Termelétrica 1
- **gt2** - Geração na Usina Termelétrica 2
- **gt3** - Geração na Usina Termelétrica 3
- **gh** - Geração na Usina Hidrelétrica

Em seguida foi realizado os cálculo dos custos marginais de operação de cada barra, e os excedentes de mercado. Na tabela a seguir pode-se visualizar os resultados.

| periodo | alfa | f12 | f13 | f32 | cmo1 | cmo2 | cmo3 | EM | EMT |
|---------|--------|-------|------|-------|------|------|------|-----------|--------|
| 0 | 18.18 | 4.0 | 15.0 | -10.0 | 1.88 | 1.88 | 5.00 | 196.8125 | 68.64 |
| 1 | 125.50 | -12.2 | 15.0 | -10.0 | 2.00 | 2.00 | 5.00 | 57.1000 | 14.40 |
| 2 | 185.50 | -11.3 | 13.0 | -10.0 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | -152.1000 | 0.00 |
| 3 | 73.50 | -10.9 | 15.0 | -10.0 | 2.00 | 2.00 | 5.00 | 105.7000 | 12.30 |
| 4 | 0.00 | 12.3 | 15.0 | -10.0 | 1.00 | 1.00 | 5.00 | 215.3000 | 109.20 |
| 5 | 179.50 | -13.2 | 15.0 | -10.0 | 2.00 | 2.00 | 5.00 | 4.1000 | 11.40 |
| 6 | 209.50 | -11.7 | 13.0 | -10.0 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | -176.9000 | 0.00 |
| 7 | 161.50 | -12.9 | 15.0 | -8.1 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 29.0000 | 0.00 |
| 8 | 0.00 | 10.5 | 15.0 | -9.0 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 25.5000 | 0.00 |
| 9 | 287.50 | -15.0 | 15.0 | -10.0 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | -107.5000 | 0.00 |
| 10 | 37.50 | 3.8 | 12.0 | -10.0 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 24.1000 | 0.00 |
| 11 | 263.50 | -14.6 | 15.0 | -10.0 | 3.80 | 3.80 | 5.00 | -82.7000 | 0.48 |
| 12 | 117.50 | -9.0 | 12.0 | -10.0 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | -81.5000 | 0.00 |
| 13 | 37.50 | -1.8 | 14.0 | -10.0 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 16.9000 | 0.00 |
| 14 | 149.50 | -11.7 | 14.0 | -10.0 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | -114.9000 | 0.00 |
| 15 | 0.00 | 4.3 | 14.0 | -10.0 | 1.61 | 1.61 | 1.61 | 47.5800 | 0.00 |
| 16 | 36.93 | 5.0 | 15.0 | -10.0 | 1.96 | 1.96 | 5.00 | 183.0625 | 66.88 |
| 17 | 37.50 | 3.0 | 11.0 | -10.0 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 20.5000 | 0.00 |
| 18 | 49.50 | -10.3 | 15.0 | -10.0 | 2.00 | 2.00 | 5.00 | 145.9000 | 17.10 |
| 19 | 33.56 | 5.0 | 15.0 | -10.0 | 1.88 | 1.88 | 5.00 | 186.4375 | 65.52 |

4 Questão 3 e 4 - Contabilização

4.1 Sem contrato

A contabilização com ausência de contrato é apresentada a seguir:

| Período | Térmica 1 | Térmica 2 | Térmica 3 | Hidrelétrica | Demanda 2 | Demanda 3 | EMT |
|---------|-----------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|---------|
| 0 | 56.40 | 0.00 | 15.0 | 26.555 | 45.12 | 140.00 | -87.16 |
| 1 | 60.00 | 32.40 | 10.0 | 0.000 | 48.00 | 135.00 | -80.60 |
| 2 | 60.00 | 32.60 | 0.0 | 0.000 | 50.00 | 46.00 | -3.40 |
| 3 | 60.00 | 25.80 | 0.0 | 0.000 | 44.00 | 125.00 | -83.20 |
| 4 | 19.70 | 0.00 | 0.0 | 22.000 | 22.00 | 125.00 | -105.30 |
| 5 | 60.00 | 36.40 | 10.0 | 0.000 | 50.00 | 135.00 | -78.60 |
| 6 | 60.00 | 31.40 | 0.0 | 0.000 | 48.00 | 46.00 | -2.60 |
| 7 | 150.00 | 100.00 | 19.5 | 0.000 | 145.00 | 135.00 | -10.50 |
| 8 | 23.50 | 0.00 | 0.0 | 20.000 | 25.00 | 24.00 | -5.50 |
| 9 | 150.00 | 100.00 | 15.0 | 0.000 | 125.00 | 140.00 | 0.00 |
| 10 | 60.00 | 4.40 | 0.0 | 24.000 | 52.00 | 44.00 | -7.60 |
| 11 | 114.00 | 74.48 | 0.0 | 0.000 | 95.00 | 125.00 | -31.52 |
| 12 | 60.00 | 30.00 | 0.0 | 0.000 | 52.00 | 44.00 | -6.00 |
| 13 | 60.00 | 23.60 | 0.0 | 16.000 | 60.00 | 48.00 | -8.40 |
| 14 | 60.00 | 29.40 | 0.0 | 0.000 | 46.00 | 48.00 | -4.60 |
| 15 | 47.81 | 0.00 | 0.0 | 19.320 | 38.64 | 38.64 | -10.14 |
| 16 | 58.80 | 0.00 | 10.0 | 32.585 | 49.00 | 135.00 | -82.61 |
| 17 | 60.00 | 4.00 | 0.0 | 20.000 | 50.00 | 42.00 | -8.00 |
| 18 | 60.00 | 34.60 | 5.0 | 0.000 | 54.00 | 130.00 | -84.40 |
| 19 | 56.40 | 0.00 | 5.0 | 30.785 | 47.00 | 130.00 | -84.81 |

4.2 com contrato

O contrato utilizado foi o seguinte:

- Barra 2 - Contratou 15 MWh de T_1 e 10 MWh de H
- Barra 3 - Contratou 5 MWh de T_1 , 10 MWh de T_2 , 5 MWh de T_3 e 5 MWh de H

A contabilização com contrato é apresentada a seguir:

| Período | Térmica 1 | Térmica 2 | Térmica 3 | Hidrelétrica | Demanda 2 | Demanda 3 | EMT |
|---------|-----------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|---------|
| 0 | 18.8 | -18.80 | -10.00 | -11.045 | -1.88 | 15.00 | -34.165 |
| 1 | 20.0 | 12.40 | -15.00 | -40.000 | -2.00 | 10.00 | -30.600 |
| 2 | 20.0 | 12.60 | -10.00 | -40.000 | 0.00 | -4.00 | -13.400 |
| 3 | 20.0 | 5.80 | -25.00 | -40.000 | -6.00 | 0.00 | -33.200 |
| 4 | -0.3 | -10.00 | -25.00 | 2.000 | -3.00 | 0.00 | -30.300 |
| 5 | 20.0 | 16.40 | -15.00 | -40.000 | 0.00 | 10.00 | -28.600 |
| 6 | 20.0 | 11.40 | -10.00 | -40.000 | -2.00 | -4.00 | -12.600 |
| 7 | 50.0 | 50.00 | -5.50 | -100.000 | 20.00 | 10.00 | -35.500 |
| 8 | 3.5 | -10.00 | -5.00 | 0.000 | 0.00 | -1.00 | -10.500 |
| 9 | 50.0 | 50.00 | -10.00 | -100.000 | 0.00 | 15.00 | -25.000 |
| 10 | 20.0 | -15.60 | -10.00 | -16.000 | 2.00 | -6.00 | -17.600 |
| 11 | 38.0 | 36.48 | -25.00 | -76.000 | 0.00 | 0.00 | -26.520 |
| 12 | 20.0 | 10.00 | -10.00 | -40.000 | 2.00 | -6.00 | -16.000 |
| 13 | 20.0 | 3.60 | -10.00 | -24.000 | 10.00 | -2.00 | -18.400 |
| 14 | 20.0 | 9.40 | -10.00 | -40.000 | -4.00 | -2.00 | -14.600 |
| 15 | 15.6 | -16.10 | -8.05 | -12.880 | -1.61 | -1.61 | -18.193 |
| 16 | 19.6 | -19.60 | -15.00 | -6.615 | 0.00 | 10.00 | -31.615 |
| 17 | 20.0 | -16.00 | -10.00 | -20.000 | 0.00 | -8.00 | -18.000 |
| 18 | 20.0 | 14.60 | -20.00 | -40.000 | 4.00 | 5.00 | -34.400 |
| 19 | 18.8 | -18.80 | -20.00 | -6.815 | 0.00 | 5.00 | -31.815 |

5 Questão 5 - Comentários