Operação de Sistemas de Potência em Ambiente Desregulamentado

A. Simões Costa

Tipos de Mercados

- Mercados: mecanismos para conciliar o suprimento e a demanda de uma *commodity* mediante a determinação de um preço de equilíbrio;

Tipos de Mercados

- Mercados: mecanismos para conciliar o suprimento e a demanda de uma *commodity* mediante a determinação de um preço de equilíbrio;
- Questões fundamentais para classificar mercados:

Tipos de Mercados

- Mercados: mecanismos para conciliar o suprimento e a demanda de uma *commodity* mediante a determinação de um preço de equilíbrio;
- Questões fundamentais para classificar mercados:
  - momento da entrega do produto;

Tipos de Mercados

- Mercados: mecanismos para conciliar o suprimento e a demanda de uma *commodity* mediante a determinação de um preço de equilíbrio;
- Questões fundamentais para classificar mercados:
  - momento da entrega do produto;
  - modo de liquidação;

Tipos de Mercados

- Mercados: mecanismos para conciliar o suprimento e a demanda de uma *commodity* mediante a determinação de um preço de equilíbrio;
- Questões fundamentais para classificar mercados:
  - momento da entrega do produto;
  - modo de liquidação;
  - condições associadas à transação.

Tipos de Mercados

- Mercados: mecanismos para conciliar o suprimento e a demanda de uma *commodity* mediante a determinação de um preço de equilíbrio;
- Questões fundamentais para classificar mercados:
  - momento da entrega do produto;
  - modo de liquidação;
  - condições associadas à transação.
- Estes aspectos definem o tipo de contrato negociado e portanto o tipo de mercado.

Mercado "Spot"

- **Características:**
  - O vendedor entrega o produto imediatamente, e o comprador efetua o pagamento na hora;
  - Nenhuma condição é associada à entrega;
  - Nenhuma das partes pode recuar da transação.
- **Vantagens:**
  - Um comprador pode adquirir exatamente a quantidade que necessita;
  - Um produtor põe à venda exatamente a quantidade que tem disponível.
- **Desvantagens:**
  - Volatilidade: súbitos aumentos de demanda/quedas de produção produzem grandes aumentos de preço (estoques limitados para pronta entrega);
  - Notícias sobre disponibilidade futura de produtos têm efeito similar;
  - Risco pode ser elevado para os participantes.

Contratos a termo ("forward contracts")

- Mercado secundário que visa reduzir os riscos dos participantes;
- Especificam condições tais como:
  - Quantidade/qualidade do produto a ser entregue;
  - Data da entrega, preço a ser pago;
  - Data do pagamento após a entrega;
  - Penalidade para as partes, caso falhem em cumprir o contrato.
- Permitem às partes transicionar a preços aceitáveis por ambas, e assim propiciam o compartilhamento de riscos;
- O envolvimento de um número suficiente de produtores e consumidores leva à formação de um mercado a termo *(forward market)*.

Mercados de Energia Elétrica

- **Mercados abertos de EE:** produtores e compradores de EE estabelecem contratos a termo para garantir o suprimento de EE aos consumidores;
  - Grandes consumidores/empresas distribuidoras fazem previsões de suas cargas antes de estabelecerem seus contratos;
  - Geradores programam sua produção para entrega da energia na forma contratada.
- Contudo, nenhuma das partes tem condições de cumprir suas obrigações contratuais com precisão perfeita:
  - previsões de carga não são perfeitas;
  - contingências de geração podem ocorrer.
- Diferenças entre geração e carga devem ser supridas mediante um mercado *spot gerenciado*.

Mercados abertos de longo prazo

Há basicamente dois tipos de modelos:

- Modelo *Pool;*
- Modelo Bilateral.

Modelo *Pool*

- Modelo fortemente centralizado;
- Todas as transações de compra e venda de energia elétrica realizam-se através de um ente centralizado (operador de mercado);
- Vendedores e compradores fazem ofertas/lances em termos de preços e quantidades de energia ao operador do *Pool*;
- O operador determina quais os ofertas são aceitáveis, de modo a assegurar:
  - o balanço de potência e
  - a segurança da operação.

Modelo de Transações Bilaterais

- Transações são estabelecidas diretamente entre vendedores e compradores, de modo a permitir que os participantes negociem os melhores contratos para cada um deles;
- Preço de cada transação é estabelecido independentemente entre as partes: não há um preço "oficial";
- Papel do operador independente do sistema fica limitado a:
  - sinalizar os modos inaceitáveis de operação da rede e
  - coordenar o despacho para minimizar desvios em relação às transações contratadas.

Pool versus Bilateral

- Mercado *pool* segue modelo tradicional (pré-reestruturação) dos mercados de energia, o que facilita sua aceitação;
- Opinião pública e governo tendem a ser menos resistentes ao modelo *pool,* em termos da segurança do fornecimento de energia;
- Contudo, modelo *pool* é visto com reservas por economistas, que o encaram apenas como uma aproximação gerenciada de mercado, pois consideram que negociações diretas entre produtores e consumidores são essenciais para a eficiência de preços.

Mercado "Spot" de Energia Elétrica (I)

- Visa suprir os inevitáveis desbalanços entre geração e carga deixados pelo mercado de longo prazo;
- Por questões de confiabilidade, deve ser um mercado gerenciado, isto é, supervisionado pelo operador do sistema;
- Desbalanços entre geração e carga são supridos mediante:
  - ajuste de geração flexível e/ou redução de carga de consumidores que se dispõem a realizá-la;
  - cobertura dos efeitos de eventuais contingências de geração devidas a problemas técnicos.
- O mercado *spot* deve operar de forma economicamente eficiente, com o objetivo de encorajar o comportamento eficiente dos agentes envolvidos.

Mercado "Spot" de Energia Elétrica (II)

Baseado em:

- Noção de "spot price";
- Lei da oferta e da procura;
- Concessionária + consumidores agem em conjunto para obter máximo benefício para utilização da EE.

Preço Instantâneo ("Spot Price")

Surge como tentativa para cumprir os seguintes objetivos:

- *Liberdade de escolha do consumidor* quanto à utilização, custo e confiabilidade de fornecimento de energia;
- *Eficiência econômica*: motivar consumidores a ajustar padrões de consumo aos custos marginais das concessionárias;
- *Eqüidade*: reduzir subsídios cruzados $\Rightarrow$ contas de consumo refletem custos das concessionárias;
- *Controle, Operação e Planejamento*: considera requisitos técnicos de Engenharia p/. controlar, operar e planejar o sistema.

Características do Mercado "Spot"

- Projetado para acomodar questões tipicamente de Engenharia associadas à operação e controle de sistemas de potência;
- Todas as transações entre agente gerador e consumidores baseadas em uma única quantidade, que é o preço de energia variável hora-a-hora *(spot price);*
- O *spot price* é determinado pela demanda naquela hora e pelos custos variáveis no tempo ligados às capacidades de geração, transmissão e distribuição.

Conceito de preço "spot":

- Baseado em custos marginais;
- Depende a cada hora das variações horárias de:
  - custos de produção de EE;
  - capacidade de geração;
  - perdas e limites de transmissão;
  - padrões de demanda dos consumidores.

Definição do Preço Instantâneo Horário

O *preço instantâneo para o consumidor k na hora t*, em \$/kWh, é o custo marginal para fornecer energia elétrica ao consumidor *k durante a hora t levando em conta custos operacionais e de capital*.

Expressão Matemática do *Spot Price*

Matematicamente, se definirmos:

$$\begin{aligned} \rho_k(t): &\quad \text{preço inst. horário p/. cons. } k \text{ na hora } t \ (\$/KWh) \\ d_k(t): &\quad \text{Demanda do consumidor } k \text{ na hora } t \ (KWh) \end{aligned}$$

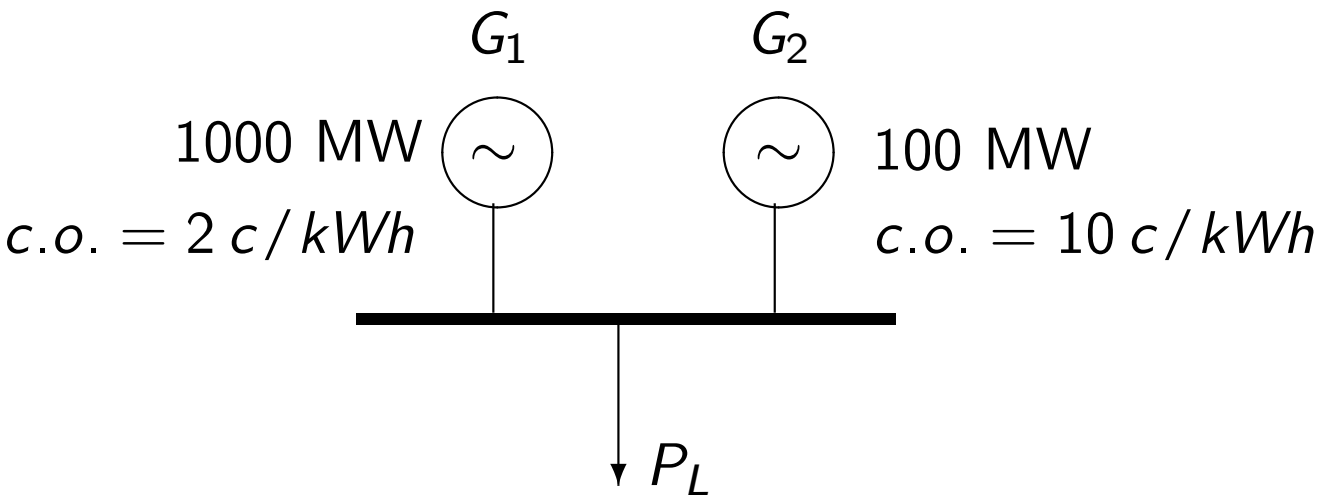
então

$$\rho_k(t) = \frac{\partial\,(\text{Custo total de suprir EE a todos os cons.})}{\partial d_k(t)}$$

sendo o cálculo desta derivada sujeito às seguintes restrições:

- Balanço de potência: *geração* $=$ *carga* $+$ *perdas;*
- Limites de geração;
- Leis de Kirchhoff;
- Limites de transmissão.

Exemplo A:



Supondo que os geradores são despachados economicamente, temos:

P_L (MW)	Custo da Concessionária $(\$/h)$	Custo Operacional Médio (c/kWh)	ρ (c/kWh)
1000	$1 \times 10^6 \times 2 \times 10^{-2} = 20000$	$\dfrac{20000 \times 10^2}{1 \times 10^6} = 2$	2
1100	$20000 + 10000 = 30000$	$\dfrac{30000 \times 10^2}{1,1 \times 10^6} = 2,72$	10

Exemplo A*(cont.)*

- Benefício do consumidor = 5 ¢/kWh;
- Consumidores agem de acordo com seus melhores interesses.

Benefício social $\triangleq$ (Benef. consumidor)-(Custo oper. concessionária);

Se consumidores pagam:	Carga (MW)	B ($)	C ($)	BS ($)
Spot price: a demanda será cortada em 1000 MW	1000	50000	20000	30000
Custos operacionais médios: demanda irá a 1100 MW	1100	55000	30000	25000

Conclusão:

O benefício social é maior se os consumidores utilizam *spot price*.

Exemplo B:

Re-examinar o problema se o benefício do consumidor passa a ser de 15 ¢/kWh.

Solução: Neste caso, teremos:

Carga (MW)	B ($)	C ($)	BS ($)
1100	$0,15 \times 1100 \times 10^3 = 165000$	30000	135000

O faturamento da concessionária será:

Se os consumidores pagam:	Faturamento	Lucro
Spot price:	$110000^{(1)}$	$\mathbf{80000}^{(2)}$
Custos médios de operação:	$30000^{(3)}$	$\mathbf{0}^{(4)}$

(1) $\rho \times d = 10\ c/kWh \times 1100\ MW = 110000$;
(2) $110000 - 30000 = 80000$;
(3) $c.o. \times d = 2,72\ c/kWh \times 1100\ MW = 30000$;
(4) $30000\ -\ (custo\ oper.\ concess.) = 0$

Componentes do Preço *Spot*

$\lambda(t)$: Traduz custos de produção e manutenção;

$\gamma_{QS}(t)$: Qualidade de suprimento de geração;

$\eta_{L,k}(t)$: Traduz efeitos de $d_k(t)$ sobre as perdas de transmissão;

$\eta_{QS,k}(t)$: Qualidade de suprimento da rede (efeito de $d_k(t)$ sobre congestionamentos de transmissão).

$$\rho_k(t) = \underbrace{\lambda(t) + \eta_{L,k}(t)}_{\textit{Custo Operacional}} + \underbrace{\gamma_{QS}(t) + \eta_{QS,k}(t)}_{\textit{Qualidade de Suprimento}}$$

Outros possíveis componentes do Preço *Spot*

$\gamma_R(t)$: Retorno de investimento na geração;

$\eta_R(t)$: Retorno de investimento na transmissão.

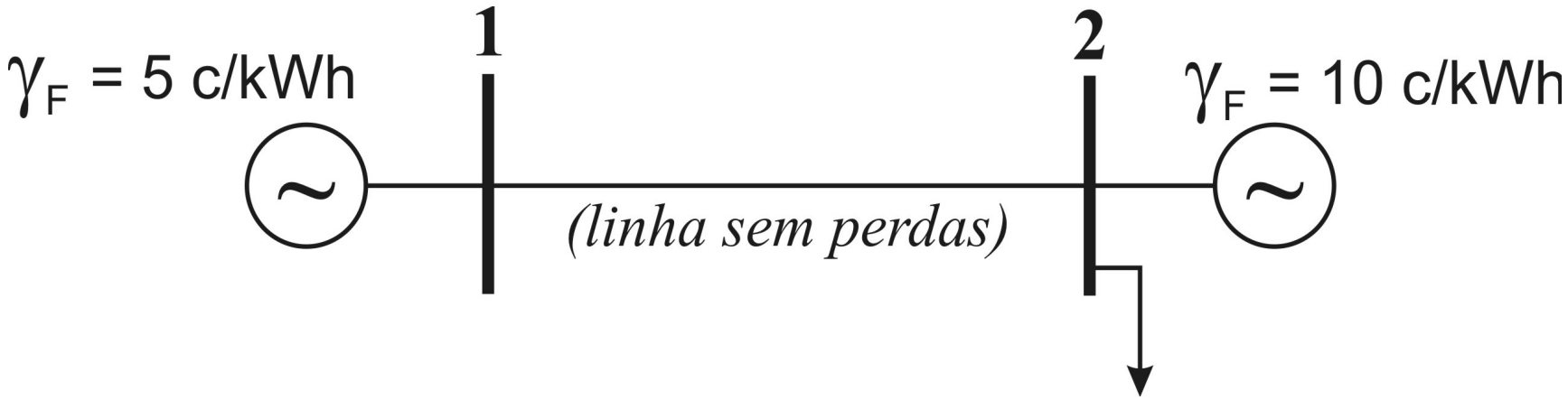
- Visam modificar o preço pago pelos consumidores para remunerar os investimentos feitos pela concessionária em geração e transmissão;
- Devem ser adicionados aos demais componentes do preço instantâneo.

Exemplo C:

Considere o sistema de potência apresentado abaixo. Determine os preços "spot" nas barras e seus componentes de custos de produção e qualidade de suprimento da rede nos seguintes casos:

a) Supondo que a capacidade da linha é suficiente para transportar toda a carga;

b) Se a capacidade da linha é menor do que a carga.



Solução:

1. Se a capacidade da linha é suficiente, então

$$\lambda = 5\ c/kWh \quad \text{e} \quad \eta_{QS,1} = \eta_{QS,2} = 0$$
$$\rho = 5\ c/kWh \text{ para ambas as barras.}$$

2. Se a capacidade da linha for menor que a demanda, teremos:

$$\begin{array}{ll} \textbf{Barra 1:} & \rho_1 = 5\ c/kWh \\ \textbf{Barra 2:} & \rho_2 = 10\ c/kWh \quad = \quad \underbrace{5c/kWh}_{\lambda} \quad + \quad \underbrace{5c/kWh}_{\eta_{QS,2}} \end{array}$$

e portanto

$$\eta_{QS,1} = 0\ c/kWh \quad \text{e} \quad \eta_{QS,2} = 5\ c/kWh$$

Isto é, os componentes de custo marginal de qualidade de suprimento da rede são iguais às diferenças entre os valores de custos marginais de cada uma das barras nas situações com e sem congestionamento.