

## 7 DISPOSIÇÃO A CONTRATAR – ENERGIA EXISTENTE

Neste capítulo será apresentada a metodologia para cálculo da curva de disposição a contratar (CDC) de um gerador em leilões de energia existente. A estratégia adotada neste trabalho para os participantes destes leilões é ofertar quantidades de energia de tal forma a maximizar suas utilidades esperadas para cada hipótese de preço de equilíbrio do leilão.

Será feita uma análise de sensibilidade sob a distribuição da renda da empresa, para o ponto de decisão de contratação que o modelo realiza em uma dada hipótese de preço, a fim de demonstrar como o modelo “decide” sob a percepção de risco.

### 7.1 Cálculo da renda líquida

Para o desenvolvimento da metodologia serão utilizadas expressões de renda líquida de uma empresa geradora ou de uma usina específica. Esta renda é composta de várias parcelas: receitas dos contratos existentes e novos, receitas e despesas no MAE, considerando os vários submercados e patamares de carga (se o contrato for por quantidade de energia), custos fixos e variáveis de geração associados a cada usina, possíveis excedentes de transmissão, custos/despesas de MRE etc. Para simplificar a notação no desenvolvimento a seguir, vamos considerar somente: uma etapa, um patamar de carga, um submercado e que a renda líquida corresponde somente à receita de contratos acrescida do resultado de compra/venda no MAE (no caso de contrato por quantidade). No exemplo que será apresentado no fim deste capítulo, serão apresentadas expressões de renda mais gerais, conforme mencionado no início deste tópico. Entretanto, para efeito de entendimento da metodologia empregada e do modelo de otimização, a simplificação realizada nos permite isolar as parcelas que atuam diretamente no “*trade-off*” de decisão dos modelos.

Assim, a receita líquida para um contrato por quantidade de energia assume a seguinte forma, em função do preço  $P$  (\$/MWh) e do montante de contrato  $E_c$  (MWh):

$$R_{c_{ts}} = P E_c + (G_{ts} - E_c) \pi_{ts} \quad (7-1)$$

Onde,

$R_{c_{ts}}$  Receita líquida no período  $t$ , série  $s$ .

$G_{ts}$  Geração (MWh), no período  $t$ , série  $s$ .

$\pi_{ts}$  Preço spot (\$/MWh), do período  $t$ , série  $s$ .

## 7.2 Cálculo da função utilidade para renda líquida

O próximo passo para se obter a curva de disposição a contratar é avaliar a utilidade da renda do gerador. O valor da função utilidade linear por partes associado a um cenário de receita, no caso de contrato por quantidade de energia, é dado pelo seguinte problema de programação linear (PL):

$$U(R_{ts}) = \text{Max } \delta \quad \text{para todo } s = 1, 2, \dots, S \quad (7-2)$$

Sujeito a:

$$\delta \leq a_{Gk} [P E_c + (G_{ts} - E_c) \pi_{ts}] + b_{Gk} \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (1)$$

Onde:

$a_{Gk}$  Coeficiente angular de cada segmento.

$b_{Gk}$  Coeficiente linear de cada segmento.

$\delta$  Variável auxiliar que é sempre menor que todos os segmentos.

$K$  Número de segmentos lineares.

Note que o valor esperado da utilidade acima é dado pelo seguinte PL:

$$E[U(R_{ts})] = \text{Max } u \quad (7-3)$$

Sujeito a:

$$\delta_s \leq a_{Gk} [P E_{c_t} + (G_{ts} - E_c) \pi_{ts}] + b_{Gk} \quad \text{para } k = 1, \dots, K \text{ e } s = 1, \dots, S \quad (1)$$

$$u = 1/S \sum_{s=1}^S \delta_s \quad (2)$$

Onde:

$\delta_s$  Variável auxiliar que representa a utilidade da renda em cada cenário  $s$ .

$u$  Variável auxiliar que representa a utilidade média da renda.

Com este resultado, já é possível definir as curvas de disposição a contratar para os casos de interesse, como serão desenvolvidos a seguir.

### 7.3 Disposição a contratar para um preço conhecido

Nesta abordagem, a melhor oferta, para um dado preço, é aquela que maximiza a utilidade esperada da renda do gerador com o contrato. Este princípio pode ser empregado para o caso dos leilões de energia existente, onde geralmente são ofertados preços e quantidades ou em uma segunda modalidade, dado um preço corrente (definido pelo leiloeiro), deve-se ofertar a respectiva quantidade.

Neste sentido, um gerador em um ambiente competitivo, que não exerça poder de mercado deve ofertar a sua curva de disposição a contratar, expressa por:

$$Ec^*(P) = \text{argMax}_{(Ec)} 1/S \sum_{s=1}^S U_G[Rc_{ts}(Ec, P)] \quad (7-4)$$

ou,

$Ec^*(P) = \text{argMax}_{(Ec)} 1/S \sum_{s=1}^S U_G[PEc + (G_{ts} - Ec)\pi_{ts}] \quad (7-5)$
--

Para o caso de interesse, onde  $U_G(.)$  é linear por partes, essa curva pode ser definida pelo seguinte PL:

$$Ec^*(P) = \text{argMax}_{(Ec)} 1/S \sum_{s=1}^S \delta_s \quad (7-6)$$

Sujeito a:

$$\delta_s \leq a_{Gk}[PEc + (G_{ts} - Ec)\pi_{ts}] + b_{Gk} \quad \text{para } k=1, \dots, K \text{ e } s=1, \dots, S \quad (1)$$

$$Ec \leq \bar{E} \quad (2)$$

onde,

$a_{Gk}$  Coeficiente angular de cada segmento.

- $b_{Gk}$  Coeficiente linear de cada segmento.
- $\delta_s$  Variável auxiliar que representa a utilidade da renda para a série  $s$ .
- $K$  Número de segmentos lineares.
- $\bar{E}$  Máxima quantidade(MWh) que pode ser ofertada.

#### 7.4 Exemplo do cálculo da CDC

Nesta seção será ilustrado o cálculo de uma CDC para uma empresa do setor elétrico Brasileiro. Foi escolhida a empresa Furnas e o exemplo será realizado para um ano (“estático”), no caso foi escolhido 2010.

As usinas da empresa FURNAS e suas respectivas energias asseguradas são listadas na tabela abaixo:

Nome	EA(MWmed)	T/H
ANGRA-I	520	T
ANGRA-II	1204.7	T
CORUMBA 1	209	H
CUIABAI-G CC	391.9	T
ESTREITO	495	H
FUNIL PB SUL	121	H
FURNAS	598	H
ITUMBIARA	1015	H
MANSO	92	H
MARIMBONDO	726	H
MASCARENHA DE MORAES	295	H
PORTO COLOMBIA	185	H
CAMPOS	27.5	T
SANTA CRUZ	377.8	T
SERRA MESA	671	H
ST.CRUZ NOVA	507.6	T
<b>(EA) TOTAL</b>	<b>7436.5</b>	

Tabela 7-1 – Usinas pertencentes a empresa FURNAS

Para o cálculo da CDC de Furnas, a expressão completa da renda líquida ( $R_{ts}$ ), por período  $t$  e série  $s$ , apresentada na seção anterior, foi dividida em quatro parcelas, conforme descritas abaixo:

1. Receita do balanço do MAE ( $R^{MAE}_{ts}$ ), que reflete a remuneração do montante contratado no subsistema  $v$ , acrescido do resultado da compra e venda no mercado de curto prazo.

$$R^{MAE}_{ts} = H_T EcP + \sum_{i=1}^I \sum_{v=1}^{Np} \sum_{u=1}^{Ns} G^i_{t,w,u,s} \pi_{t,w,u,s} - Ec \sum_{v=1}^{Np} h_{t,w} \pi_{t,w,v,s} \quad (7-7)$$

Onde,

$H_T$  Total de horas do período  $[0, T]$ .

$Ec$  Montante de (MWmed) contratado.

$P$  Preço do contrato (US\$/MWh).

$G^i_{t,w,u,s}$  Crédito de energia (MWh) por série  $s$ , alocado pelo MRE à usina  $i$ , do período  $t$ , patamar de carga  $w$  e subsistema  $u$ . Este valor foi obtido por um modelo simulador das regras completas do MRE, conforme descritas em [50].

$\pi_{t,w,u,s}$  Preço spot (US\$/MWh) por série  $s$ , do período  $t$ , patamar de carga  $w$  e subsistema  $u$ .

$h_{t,w}$  Número de Horas do período  $t$  e patamar de carga  $w$ .

$Np$  Número de patamares de carga, indexado por  $w=1, \dots, Np$ .

$Ns$  Número de subsistemas, indexado por  $u=1, \dots, v, \dots, Ns$ .

$I$  Numero de usinas pertencentes à empresa.

2. Resultado variável que inclui o resultado da tarifa de otimização menos os custos variáveis ( $R^{VAR}_{ts}$ ).

$$R^{VAR}_{ts} = \sum_{i=1}^I \left( \sum_{v=1}^{Np} GF^i_{t,w,s} - \sum_{v=1}^{Np} \sum_{u=1}^{Ns} G^i_{t,w,u,s} \right) r^{OTM} - \sum_{i=1}^I Cop_i \sum_{w=1}^{Np} GF^i_{t,w,s} \quad (7-8)$$

Onde

$GF^i_{t,w,s}$  Geração física (MWh) por série  $s$ , da usina  $i$ , no período  $t$  e patamar de carga  $w$ .

$r^{OTM}$  Tarifa de otimização (US\$/MWh).

$Cop_i$  Custo operativo variável (US\$/MWh) da usina  $i$ .

3. Custo fixo, que envolve tarifa de uso do sistema de transmissão (TUST) e O&M fixo.

$$C^{\text{FIX}} = \sum_{i=1}^I c^{\text{FIX}}_i P^{\text{otIns}}_i \quad (7-9)$$

Onde,

$c^{\text{FIX}}_i$  Custo fixo (US\$/MW) por usina  $i$ .

$P^{\text{otIns}}_i$  Potência instalada (MW) por usina  $i$ .

4. Alocação do Surplus ( $\text{Surp}^i_{ts}$ ) por usina.

Assim, a expressão da renda líquida assume a seguinte forma:

$$R_{ts} = R^{\text{MAE}}_{ts} + R^{\text{VAR}}_{ts} - C^{\text{FIX}} + \sum_{i=1}^I \text{Surp}^i_{ts} \quad (7-10)$$

Nos gráficos abaixo podem ser visualizados, respectivamente, a FULP e o CARP utilizado nesta aplicação.

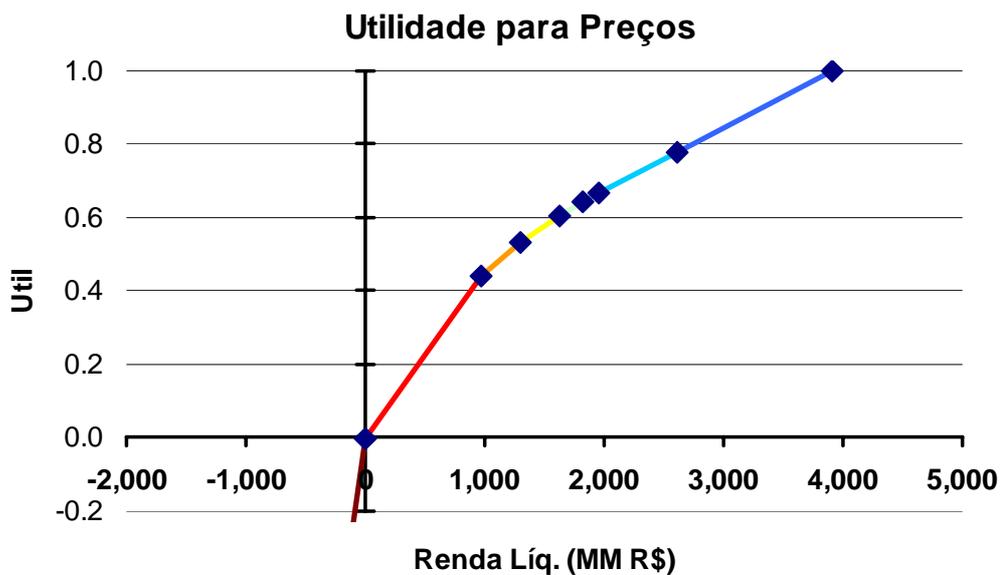


Figura 7-1 – Gráfico da FULP expressa para preços com 8 segmentos

A variação dos coeficientes angulares entre segmentos pode definir o Coeficiente de Aversão a Risco linear por partes (CARLP), como descrito no item 5.8. O gráfico abaixo ilustra o CARP utilizado neste estudo de caso.

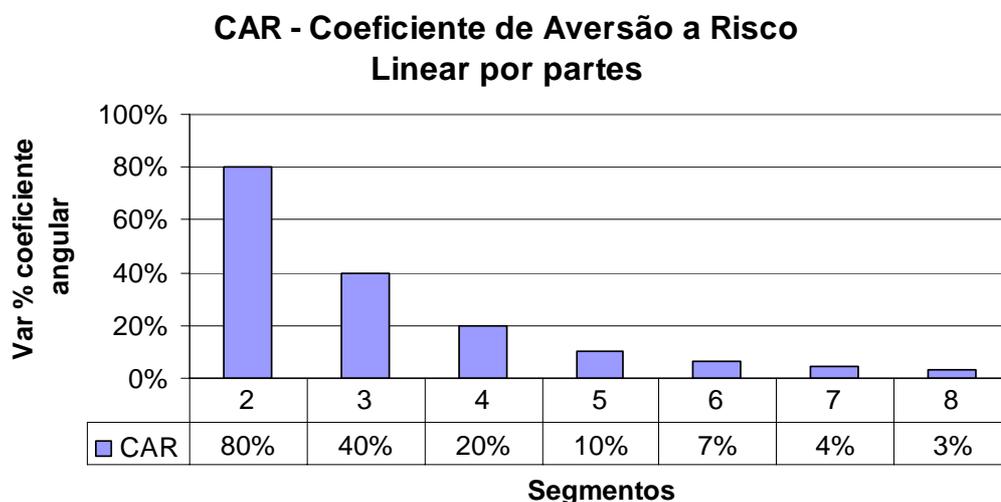


Figura 7-2 – Gráfico do CARP – Variação % para o segmento anterior

Desta forma, resolvendo o problema (7-6) para um vetor de 15 preços diferentes, obteve-se a curva de oferta abaixo.

**Curva de Oferta - Energia Existente (2010)  
(contratação existente = 50%EA)**

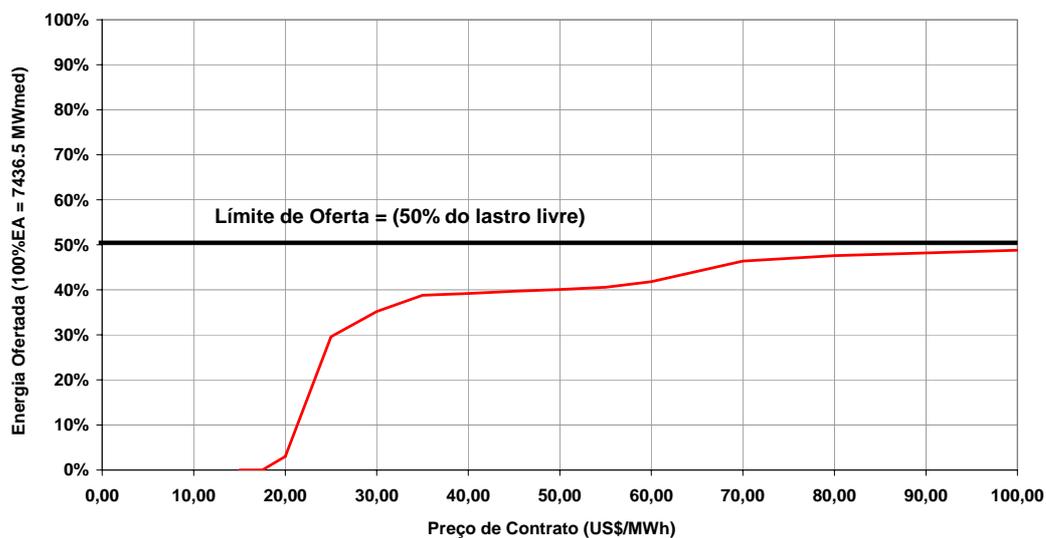


Figura 7-3 – Curva de oferta Furnas (ano de 2010)

Nesta curva (Figura 7-3) buscou-se exemplificar o cálculo da disposição a contratar de Furnas para o ano de 2010, em uma situação onde, por exemplo, a

empresa já estivesse 50% contratada. Assim, o espaço para nova contratação (lastro disponível) é reduzido em 50% de sua Energia Assegurada. Desta maneira, para cada hipótese de preço de leilão, a quantidade que maximiza o valor esperado da renda da empresa, levando em consideração o seu portfólio de contratos já firmados (obtido através de dados públicos dos “contratos iniciais” e recentes leilões), está sob a curva da Figura 7-3. Por exemplo, para uma hipótese de preço de energia existente de 36.6 US\$/MWh em 2010, a disposição a contratar de Furnas é de aproximadamente **40%EA**. Como o espaço de contratação está reduzido a 50% de sua EA (devido a contratos já firmados), a estratégia de oferta decide deixar 10% do lastro da empresa no mercado *spot* como uma proteção contra hidrologias desfavoráveis (*hedge* ótimo para o risco de preço e quantidade). Note que esta quantidade, utilizada como *hedge*, varia muito pouco no intervalo de preços de 36 a 60 US\$/MWh, a partir do qual o risco hidrológico é compensado por um excepcional preço de contrato.

Um aspecto interessante é analisar a distribuição de probabilidades das receitas da empresa sob situações distintas montantes de contratação para um mesmo preço de contrato. A razão é que a metodologia proposta *otimiza* o montante a contratar para um dado preço de contrato e, com isso, já captura o hedging ótimo contra o risco hidrológico de acordo com o perfil de risco do agente.

Portanto, na figura abaixo, são ilustrados duas curvas de permanência (distribuição acumulada por cenário) da renda líquida da empresa em duas situações:

1. Caso – A um preço de 36 US\$/MWh, a empresa decidiu contratar 40% dos seus 50 livres, conforme a curva de oferta da Figura 7-3.
2. Caso – B ao mesmo preço, a empresa força uma contratação de 48% dos 50 restantes e deixar apenas 2% do seu lastro como *hedge* no *spot*.

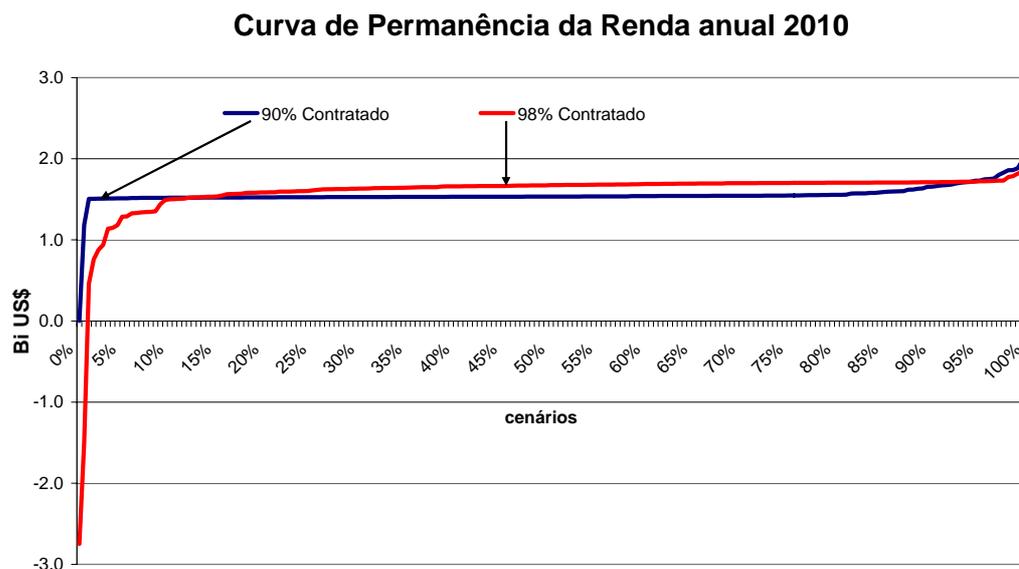


Figura 7-4 – Curva de permanência da renda para 90 e 98 %EA da contratada.

(Mi US\$)	Caso1– 90% contratado	Caso2– 98% contratado
<b>E(Renda) Renda média</b>	<b>1553</b>	1586
<b>EC(Renda) equiv. certo</b>	<b>1546</b>	1364

Tabela 7-2 – Renda média e equivalente a certeza da renda líquida.

O objetivo desta análise é de mostrar o efeito do *hedge* sob a distribuição da renda da empresa e como o modelo responde a ele, através do perfil de risco do agente (traduzido pela FULP).

O primeiro caso apresenta uma renda média aproximadamente 33 MiUS\$ inferior à do segundo, como pode ser visto na tabela acima, entretanto no segundo caso, onde o espaço descontratado é de apenas 2% do lastro da empresa, existe uma pequena probabilidade de ocorrer um grande prejuízo. Assim, devido à percepção deste risco pelo perfil do agente, o equivalente a certeza do segundo caso é menor (cerca de 182 MiUS\$) que o do primeiro, demonstrando uma aversão a estes eventos “desastrosos”. Em outras palavras, segundo o perfil de risco do agente, o caso1 é por definição a melhor contratação (em termos de equivalente a certeza – valor livre de risco) que a empresa pode fazer para esse preço de contrato, neste período.