

## 6 ESTRATÉGIAS DE OFERTA EM LEILÕES DE OPÇÕES: UM EXEMPLO

Como visto anteriormente, no leilão de opções de energia instituído no novo modelo do setor elétrico os geradores são livres para ofertar o prêmio e o preço de exercício da opção. Nestes leilões o *strike* é utilizado como custo declarado de operação da usina, ou seja, para fins de cálculo do ICB e despacho da usina ao longo do horizonte do contrato, porém não é necessariamente o seu custo “real” de operação.

Este capítulo detalha e exemplifica a metodologia introduzida no Capítulo anterior para a definição da estratégia de oferta do preço de exercício e do prêmio de risco, levando em consideração o perfil de aversão a risco do gerador. Neste Capítulo são apresentados alguns exemplos introdutórios e um estudo de caso completo para o sistema Brasileiro é apresentado no Capítulo 7.

### 6.1 Cálculo do prêmio de risco

Considere que uma térmica com um contrato por disponibilidade precisa de uma receita anual mínima de  $R$  para cobrir os seus custos fixos e remunerar o investimento do empreendedor. A receita líquida desta usina possui uma parcela fixa (prêmio de risco) e outra variável (receita operativa), e pode ser definida em cada instante de tempo  $t$  a partir da seguinte expressão:

$$R_t = P + g_t \cdot (s - c) \quad (6-1)$$

onde:

$R_t$	Receita líquida no instante $t$ (R\$/ano)
$P$	Prêmio de risco (R\$/ano) (variável de decisão)
$g_t$	Geração da usina no instante $t$ (MWh)
$c$	Custo “real” de operação (R\$/MWh)
$s$	<i>Strike</i> (R\$/MWh) (variável de decisão)

Suponha que esta usina possui três estratégias de oferta do *strike*: igual, maior ou menor que o custo real. Analisando a expressão (6-1) percebe-se que, se o *strike*  $s$  for igual ao custo  $c$  (estratégia 1), a receita líquida não depende do despacho da usina  $e$ , portanto, a receita da usina é constante ao longo da duração do contrato. Neste caso o prêmio ofertado no leilão seria igual a  $\underline{R}$ . No caso do *strike* maior que o custo “real” (estratégia 2), a térmica tem um “upside” quando é despachada e pode ofertar um prêmio menor que  $\underline{R}$ , visando um aumento de competitividade no leilão. Entretanto, como a dependência do despacho introduz volatilidade à receita líquida da usina, a redução do prêmio depende do perfil de aversão a risco do agente. Finalmente, com o *strike* menor que o custo “real” (estratégia 3), a térmica tem um prejuízo toda vez que é despachada, o que leva a um prêmio maior que  $\underline{R}$  e, como a receita também depende do despacho, à introdução de volatilidade na receita líquida.

Devido à volatilidade de longo prazo causada pela alta capacidade de armazenamento do sistema, a usina pode ficar durante meses sem gerar, o que significa: (i) longos períodos sem o “upside” da estratégia 2 e (ii) curtos períodos com o prejuízo da estratégia 3. Para captar esta diversidade hidrológica, a operação da usina durante o período do contrato deve ser simulada para diversos cenários, obtendo-se assim diferentes cenários de receita operativa.

Visando manter a correlação temporal cada série de receita operativa é trazida a valor presente, obtendo-se uma distribuição de probabilidade desta variável aleatória. Por exemplo, a Figura 6-1 ilustra a distribuição do valor presente das receitas operativas, para uma usina  $T_1$  com *strike* de 200 R\$/MWh e com custo de operação de 100 R\$/MWh (estratégia 2) quando submetida à distribuição de preços spot da Figura 2-13 do Capítulo 2. Nota-se que a distribuição de probabilidade é bastante assimétrica em relação à média (0.21 bilhões de reais), refletindo a assimetria dos preços *spot* em sistemas hidrotérmicos. Por um lado, existe cerca de 20% de probabilidade de ter VPL igual a zero, o que significa 20% de probabilidade da térmica não despachar durante o período do contrato e não receber o reembolso operativo. Por outro, existe 5% de probabilidade de se ter valores maiores que 0.71 bilhões de reais.

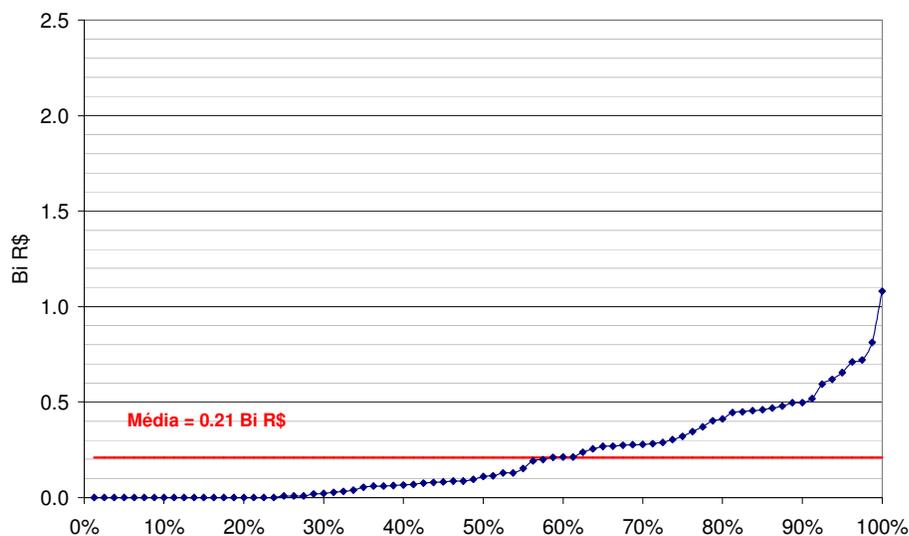


Figura 6-1 – Valor presente da receita operativa da usina

### 6.1.1 *Térmica neutra a risco*

Para uma térmica neutra com relação a risco [43] fixado um *strike*  $s$  e uma remuneração anual mínima  $\underline{R}$ , o prêmio de risco pode ser obtido da seguinte forma:

$$E\left[\sum_T \frac{P + g_t \cdot (s - c)}{(1+k)^t}\right] = \sum_T \frac{\underline{R}_t}{(1+k)^t} \quad (6-2)$$

onde:

$K$	Custo de capital (%)
$T$	Duração do contrato (anos)
$\underline{R}_t$	Remuneração mínima no instante $t$ (R\$/ano)

O lado esquerdo da expressão (6-2) representa o valor esperado do valor presente da receita líquida da usina, onde a variável aleatória é a geração da usina. O lado direito representa o valor presente da receita mínima requerida para cobrir custos fixos e remuneração do investimento.

Por exemplo, suponha que a remuneração anual da usina T1 é R\$ 100 milhões por ano, o que trazido a valor presente equivale a 580 milhões. Usando a expressão (6-2), o prêmio de risco ofertado no leilão deveria ser de 65 milhões por ano. A Figura 6-2 mostra com ficaria a receita líquida desta usina quando

submetida à distribuição de preços spot da Figura 2-13 do Capítulo 2. Observa-se que existem 60% de probabilidade do valor ser menor que o valor presente da receita mínima, o que significaria prejuízo para a térmica.

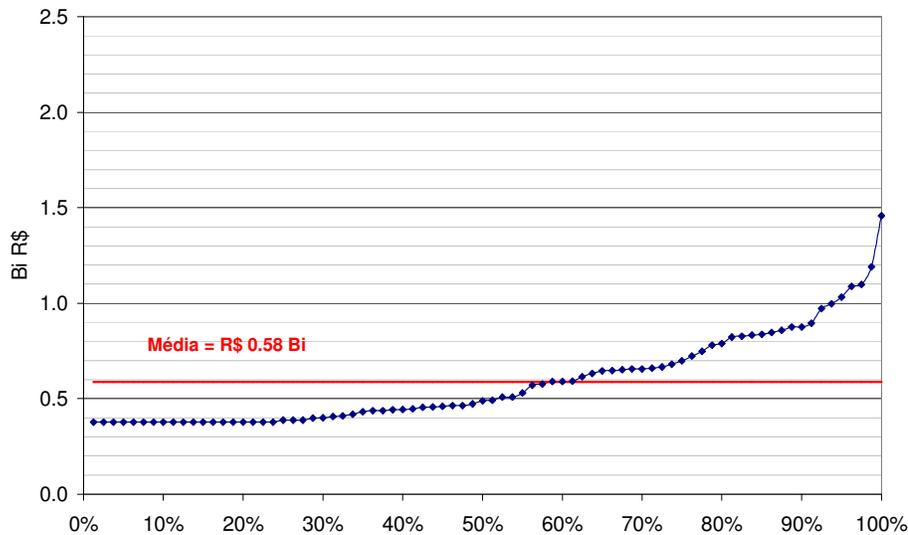


Figura 6-2 – Valor presente da receita líquida – térmica neutra a risco

### 6.1.2 Térmica avessa a risco

A abordagem utilizada nesta dissertação para expressar a aversão a risco do agente será o “valor em risco” ou VaR [43]. Com isso, se buscará determinar a estratégia de oferta que produza uma receita líquida mínima com um nível de 95% de probabilidade. Outras métricas de risco poderiam ser utilizadas para expressar o “perfil de risco” do agente, como por exemplo funções utilidade, VaR Condicional (CvaR), downside risk, minimizar o máximo arrependimento, entre outros. O ANEXO A: apresenta uma descrição sobre as principais métricas de risco.

Desta forma, para uma térmica avessa a risco, fixado um *strike*  $s$  e uma remuneração anual mínima  $\underline{R}$ , a expressão (6-2) apresenta a seguinte forma:

$$VaR_{\alpha} \left[ \sum_T \frac{P + g_t \cdot (s - c)}{(1+k)^t} \right] = \sum_T \frac{\underline{R}_t}{(1+k)^t} \quad (6-3)$$

onde:

$\alpha$  Nível de VaR (%)

O lado esquerdo da expressão (6-3) representa o *Value at Risk* a um nível  $\alpha\%$  do valor presente da receita líquida da usina, onde a variável aleatória é a geração da usina.

Para um nível de VaR de 95%, a usina T1 transferiria os benefícios da estratégia 2 e ofertaria no leilão um prêmio igual a receita mínima. Por exemplo, a Figura 6-3 ilustra a distribuição do valor presente da receita líquida para este caso (uma vez mais, quando submetida à distribuição de preços spot da Figura 2-13 do Capítulo 2).

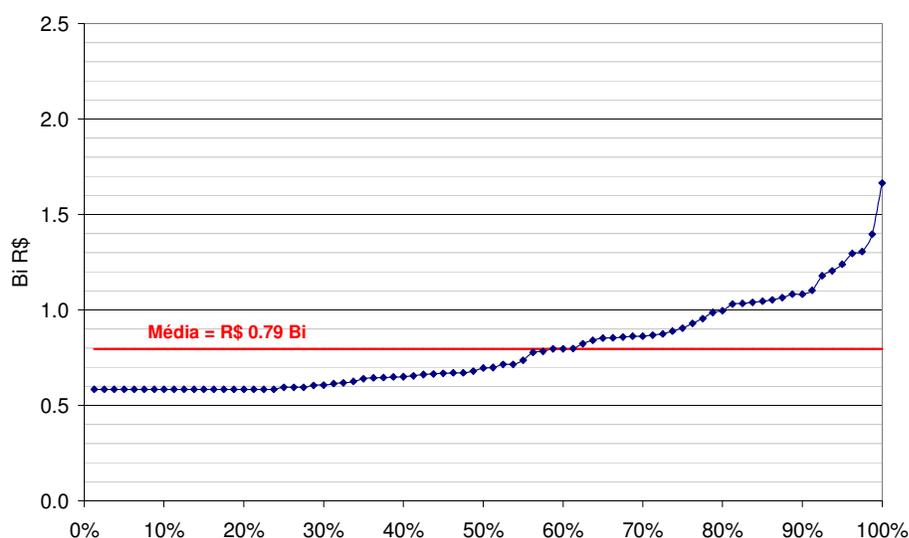


Figura 6-3 – Valor presente da receita líquida – térmica avessa a risco

## 6.2 Estratégia de oferta

Na seção anterior foi visto que, definido um *strike*, o prêmio de risco pode ser calculado de maneira a garantir a remuneração do investimento. Entretanto, como no leilão de energia nova as térmicas também ofertam o *strike*, existe uma estratégia ótima que minimiza o ICB, visando aumentar a competitividade da térmica no leilão.

Para uma térmica avessa a risco, fixada uma remuneração anual mínima  $\underline{R}$ , o prêmio de risco e *strike* devem ser calculados de modo a:

$$\text{Min ICB}(P, s) \quad (6-4)$$

Sujeito a:

$$VaR_{\alpha} \left[ \sum_T \frac{P + g_t \cdot (s - c)}{(1+k)^t} \right] \geq \sum_T \frac{R_t}{(1+k)^t}$$

As variáveis de decisão de (6-4) são o prêmio  $P$  e o *strike*  $s$ . Vale ressaltar que a única variável aleatória de (6-4) é a geração da usina  $g_t$ , que pode ser modelada através de cenários hidrológicos.

### 6.2.1 Exemplo da metodologia

Para ilustrar a aplicação do procedimento anterior será feito um estudo de caso inicial e simplificado com o sistema Brasileiro, o capítulo 7 apresenta um estudo de caso realista. A Tabela 6-1 descreve as características da térmica  $T_1$ . Por simplicidade, será assumido um contrato com duração de 1 ano.

Capacidade (MW)	Custo Variável (R\$/MWh)	Receita Mínima (Millhão R\$/ano)	Nível de VaR (%)
380	62,34	100	95

Tabela 6-1 – Características térmica  $T_1$

Os cenários de geração e os preços *spot* para o cômputo da energia assegurada, valor esperado do custo econômico, valor esperado do custo operativo e da receita operativa, foram obtidos a partir de uma ferramenta que calcula o despacho de mínimo custo. Esta ferramenta utiliza a técnica de programação dinâmica dual estocástica [32] e é similar à metodologia utilizada pelo ONS.

A Figura 6-4 mostra que o preço de exercício ótimo a ser ofertado no leilão é 62,34 R\$/MWh, que é o próprio custo variável de operação. Nesta situação, devido à ausência de volatilidade na receita líquida da usina, o prêmio que deve ser ofertado no leilão é a própria receita mínima (100 milhões R\$/ano).

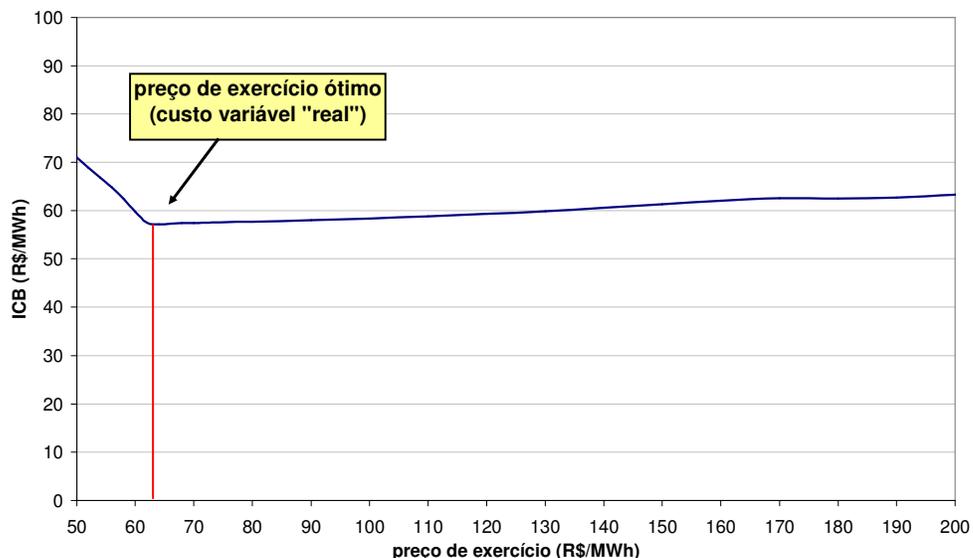


Figura 6-4 – Curva strike x ICB

Esta estratégia não é difícil de entender: um preço de exercício menor que o custo variável representaria um custo toda vez que a térmica é despachada, que seria compensado pelo aumento do prêmio de risco e consequentemente pela diminuição da competitividade da térmica (ICB). Por outro lado, um *strike* maior que o ICB introduz volatilidade à receita da usina, o que é indesejado em uma métrica de risco como o VaR. Consequentemente, a oferta ótima do binômio strike-prêmio passa a ser o custo real de operação e a receita mínima.

### 6.3 Estratégia de oferta sob incerteza no suprimento de combustível

No leilão de energia nova os geradores passaram por outro desafio: desenvolver uma estratégia de oferta strike-prêmio considerando incerteza na disponibilidade de combustível, que acarreta uma incerteza nos custos de combustível do gerador.

Durante 1999 e 2003, graças ao Programa Prioritário Termoelétrico PPT, foram construídos no Brasil cerca de 7000 MW de usinas termoelétricas movidas a gás natural. Entretanto, não existe disponibilidade de gás para atender a demanda em uma situação de despacho simultâneo desta capacidade. Isto ocorre porque a infraestrutura de transporte e produção ainda está em desenvolvimento no país [5].

Para aliviar esta dificuldade, algumas térmicas que participaram do leilão estão sendo convertidas para bicombustível, também podendo consumir óleo diesel.

### **6.3.1 Custo variável de térmica bicombustível**

O custo de operação variável de uma térmica é composto pelo custo de O&M e custo de combustível, sendo este último o mais significativo<sup>15</sup>. Térmicas bicombustíveis podem gerar tanto a óleo quanto a gás natural. Devido ao gás natural ser um insumo de menor preço – cerca de 20% do valor do alternativo, a operação a óleo diesel só ocorre em caso de escassez de gás natural.

Com isso, a operação de uma termoelétrica bicombustível está sujeita à disponibilidade de gás natural que, por sua vez, é uma função das flutuações da demanda de outros segmentos (automotivo, industrial, comercial, etc), do despacho das outras térmicas e de ampliações da infraestrutura de transporte e produção. Esta dependência introduz incerteza quanto ao custo variável de operação da usina e, por conseguinte, incerteza quanto à estratégia de oferta do binômio strike-prêmio no leilão.

Considere duas estratégias de oferta do *strike*: custo de operação a gás natural (estratégia 1) e custo de operação a óleo diesel (estratégia 2). Caso opte pela primeira estratégia, a térmica terá prejuízo toda vez que for despachada e houver indisponibilidade de gás natural, tendo que incorporar estas perdas na oferta do prêmio. Caso a térmica opte pela estratégia 2, a térmica terá um lucro toda vez que for despachada e houver disponibilidade de gás natural, podendo repassar os ganhos para a diminuição do prêmio de risco. Porém, a estratégia 2 implica em redução do lastro e em um possível aumento do custo esperado de operação da usina, levando a um incremento no ICB e, conseqüentemente, a uma perda de competitividade no leilão.

---

<sup>15</sup> O contrato por disponibilidade possui cláusulas que ajustam o custo declarado de operação conforme um índice pré-determinado (IPCA/IGPM), o que leva o empreendedor a ter uma estimativa de seus custos reais de operação ao longo do horizonte do contrato na hora de ofertar o strike. Entretanto, uma diferença entre o índice de reajuste e o aumento real dos custos de operação da usina resulta em despesas ou receitas adicionais para o empreendedor. Este tema não será abordado nesta dissertação.

### 6.3.2 Formulação matemática

A estratégia de oferta do preço de exercício e do prêmio de risco de uma térmica bicomcombustível deve considerar as incertezas na disponibilidade de gás natural, considerado aqui como combustível principal.

A equação (6-4) pode ser reformulada da seguinte maneira:

$$\text{Min } ICB(P, s) \quad (6-5)$$

Sujeito a:

$$\text{VaR}_\alpha \left[ \sum_T \frac{P + g_t \cdot (s - c^g) \cdot \lambda_t + g_t \cdot (s - c^o) \cdot (1 - \lambda_t)}{(1+k)^t} \right] \geq \sum_T \frac{R_t}{(1+k)^t} \quad (1)$$

onde:

$c^g$	Custo de operação da usina a gás (R\$/MWh)
$c^o$	Custo de operação da usina a óleo (R\$/MWh)
$\lambda_t$	Probabilidade da disponibilidade de gás no instante t (%)

As variáveis de decisão de (6-5) são o prêmio  $P$  e o *strike*  $s$ . Além da operação da usina, o custo de operação passa a ser uma variável aleatória modelada pela probabilidade de disponibilidade do gás natural.

### 6.3.3 Exemplo da metodologia proposta – caso bicomcombustível

Para ilustrar esse procedimento será feito um estudo de caso para uma térmica bicomcombustível. A Tabela 6-2 descreve as características da térmica  $T_2$ . Por simplicidade, será assumido um contrato com duração de 1 ano.

Capacidade (MW)	Custo Gás Natural (R\$/MWh)	Custo Óleo Diesel (R\$/MWh)	Receita Mínima (Millhão R\$/ano)	Nível de VaR (%)
380	62,34	450,00	100	95

Tabela 6-2 – Características térmica  $T_2$

Foi utilizado o mesmo cenário de geração e de preços *spot* da seção 6.2.1. Por simplificação, a probabilidade de disponibilidade de gás natural foi sorteada aleatoriamente para cada série hidrológica, indicando se existe (1) ou não (0) gás para aquela série. Para tanto, o sorteio foi realizado a partir de uma distribuição binomial de Bernoulli, para diferentes níveis de probabilidade.

A Figura 6-5 ilustra as curvas strike x ICB para 5 níveis de probabilidade de indisponibilidade de gás natural (10%, 30%, 50%, 70% e 90%). Observa-se que quanto maior a probabilidade da térmica operar usando óleo diesel, maior o preço de exercício que deve ser ofertado. Para uma probabilidade de 10%, o strike ótimo é de aproximadamente 80 R\$/MWh (12% maior que o custo do gás natural), o prêmio de risco é a própria remuneração anual, levando a um ICB de 57,70 R\$/MWh. Caso a térmica ofertasse como strike o custo do gás, para compensar as perdas com a operação a óleo em 10% dos cenários, deveria ser ofertado um prêmio seria de 190 milhões, o que levaria o ICB para 93,30 R\$/MWh.

Com 50% de probabilidade de não haver gás, o strike ótimo passa para 340R\$/MWh (440% maior que o custo do gás natural), o prêmio para 101,3 milhões de reais e o ICB para 69,52 R\$/MWh. Neste caso, se a térmica oferecesse o custo do gás, o prêmio risco que garantiria a remuneração mínima com 95% de probabilidade seria de 1,080 milhões de reais, aumentando o ICB em 616 % (428,48 R\$/MWh) com relação ao valor ótimo.

Finalmente, caso a probabilidade de indisponibilidade de gás fosse de 90%, o strike ótimo seria o proprio custo da geração a óleo diesel (450 R\$/MWh). O ICB neste caso seria de 74,30 R\$/MWh. Se a térmica ofertasse o preço do gás o prêmio de risco deveria ser de 1,317 milhões de reais, resultando em um ICB de 501 R\$/MWh.

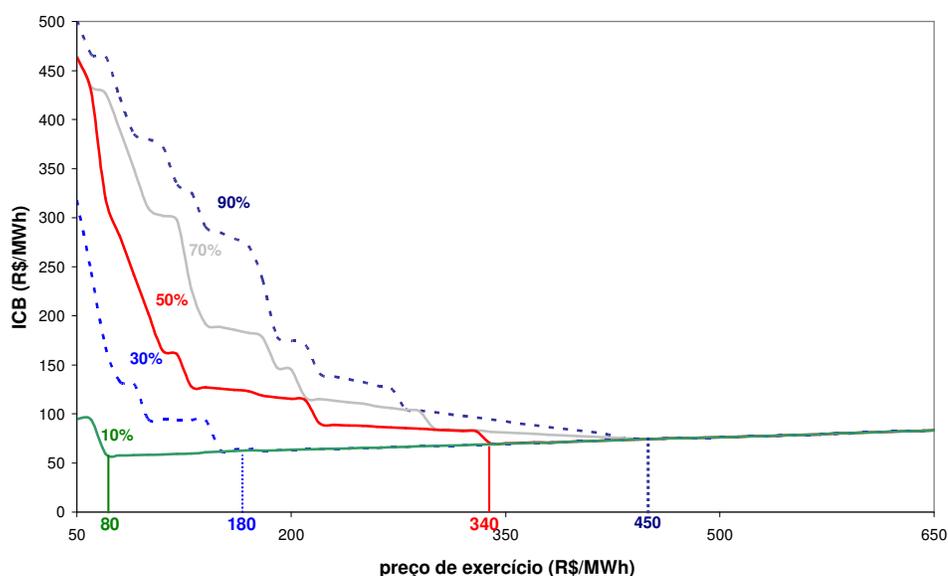


Figura 6-5 – Curva strike x ICB (incerteza no custo)

A Figura 6-6 a seguir apresenta a variação do preço de exercício ótimo com o nível de probabilidade de falta de gás. Verifica-se que a partir de 70% de probabilidade, a oferta do strike ótimo é o próprio preço do óleo diesel (combustível substituto). Para probabilidades entre 10% e 60%, a oferta da térmica é de um strike *híbrido*, ou seja, cujo valor situa-se *entre* os custos do óleo diesel e do gás natural.

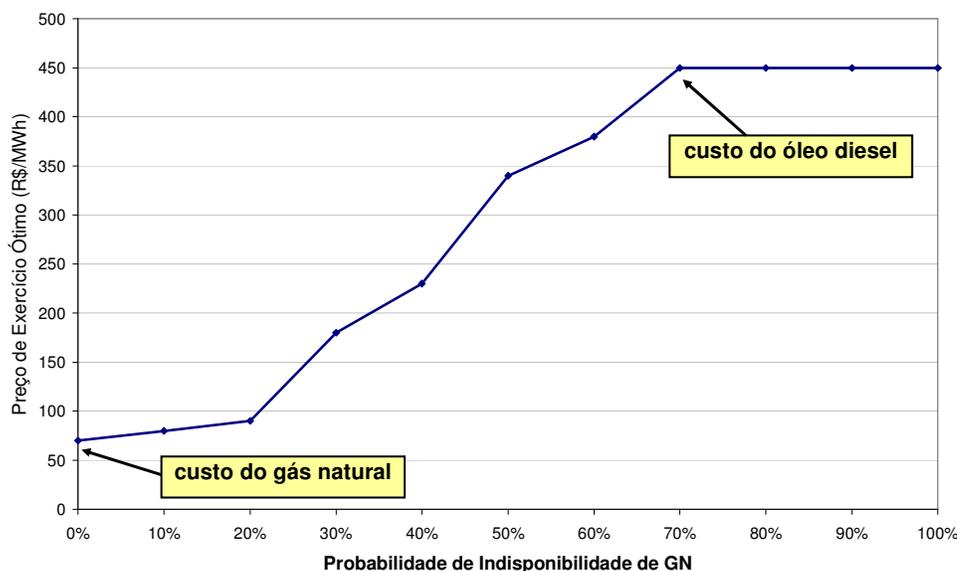


Figura 6-6 – Strike Ótimo para Cada Nível de Indisponibilidade

#### 6.4 Redecaração do Custo Variável

Como visto anteriormente, o preço de exercício é usado como custo variável do despacho de mínimo custo. Entretanto este valor poderia ser considerado como um teto para a declaração do agente, ou seja, a térmica poderia declarar um custo de operação menor que o preço de exercício conforme sua estratégia. Com esta nova declaração vale ressaltar que: (i) o lastro da térmica não seria afetado, tendo em vista que a garantia física que respalda o contrato é calculada com base no preço de exercício; (ii) o reembolso operativo não seria afetado, sendo a térmica ressarcida apenas do preço exercício quando a opção estiver “in the money”; e (iii) a térmica receberia o preço spot enquanto a opção estiver “out of the money”.

A estratégia da redeclaração visa se aproveitar dos momentos onde o preço spot está entre o custo real de operação e o preço de exercício, quando o agente receberia o preço do curto prazo. A Figura 6-7 ilustra uma série sintética de quatro anos de preços spot, onde se observam três momentos distintos de uma térmica que vendeu uma opção de venda com preço de exercício de 350 R\$/MWh e redeclarou seu custo variável de operação para 60 R\$/MWh.

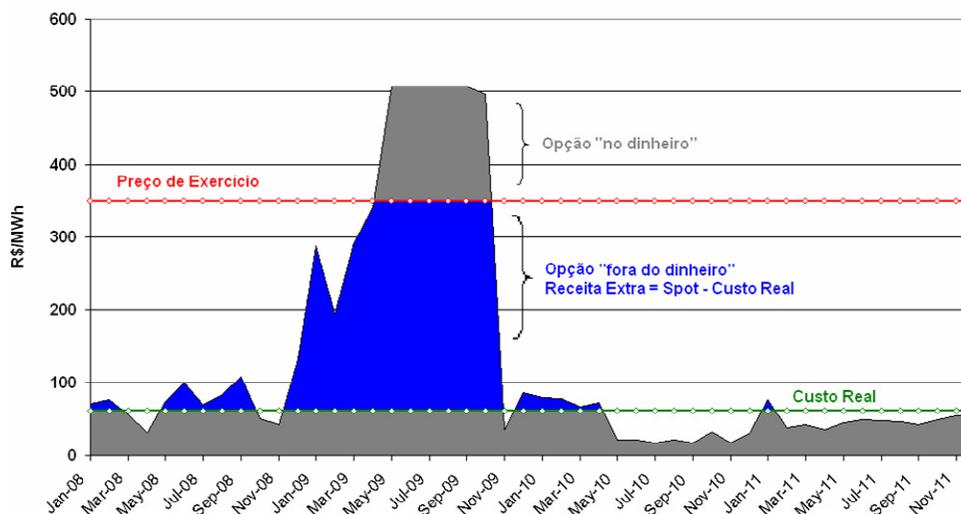


Figura 6-7 – Receita Extra com Redeclaração

Observe que enquanto o preço spot está abaixo do custo real, a térmica não é despachada. Quando o spot está entre o custo real e o preço de exercício (área azul da figura), a térmica é despachada e recebe o spot. Quando a opção for exercida a térmica passa a receber o preço de exercício. Um estudo de caso com essa estratégia será discutido no próximo capítulo.