

## 6

### Os Leilões de Energia: os incentivos estão alinhados?

No decorrer deste artigo considerou-se que o custo variável (CV) que os empreendedores reportam à EPE é verdadeiro. Porém, isso só ocorreria de fato se os empreendedores tivessem incentivos para reportar seu verdadeiro CV, isto é, que ao reportarem o verdadeiro CV para a EPE estariam de fato maximizando o lucro esperado nos leilões de energia. Esta seção investiga este aspecto dos leilões de energia nova. Ademais, esta seção busca a compreensão sobre uma outra questão complementar a esta: como se modificaria a declaração do custo variável reportado pelos empreendedores à EPE mediante variações nas expectativas dos proprietários das usinas acerca do despacho médio esperado para o seu empreendimento *vis-à-vis* a expectativa de despacho do governo implícita no cálculo do ICB de cada projeto.

A subseção 6.1 desenvolve uma abordagem teórica sobre os incentivos nos leilões de energia e demonstra que estes não estão perfeitamente alinhados, existindo, assim, um incentivo para que os empreendedores reportem um CV diferente de seu CV verdadeiro. A subseção 6.2, por sua vez, descreve um procedimento de simulação que visa estudar o comportamento da função de lucro esperado do empreendedor e sua estratégia ótima subjacente, isto é, a escolha do CV a ser reportado à EPE e a escolha da receita fixa anual para a maximização de seu lucro. Os resultados do procedimento de simulação sugerem, no cenário em que os investidores termelétricos confiam nas estimativas realizadas pelas entidades governamentais, que a estratégia ótima a ser perseguida pelo investidor em um leilão de energia é a de reportar à EPE um CV inferior ao verdadeiro valor de seu CV e requisitar, paralelamente, uma receita fixa anual mais elevada do que o faria caso declarasse seu CV verdadeiro ao governo. A partir das simulações realizadas também fica evidente que esta estratégia ótima é completamente dependente das crenças que os investidores possuem acerca dos preços futuros de energia. Em particular, se estas crenças sobre os preços futuros de energia forem substancialmente elevadas, a estratégia ótima dos empreendedores se modifica completamente, de tal maneira que o ótimo passa a ser reportar à EPE um

CV acima do verdadeiro CV da usina e requisitar no leilão de energia uma receita fixa anual muito próxima ou até mesmo inferior ao seu custo fixo anual.

## 6.1 Modelagem teórica dos leilões de energia nova

O modelo teórico desta subseção apresenta o procedimento de maximização do lucro esperado em um leilão de energia nova, contemplando a possibilidade de que os agentes produtores de energia reportem um custo variável diferente do verdadeiro. Assim, um determinado empreendedor terá como variável de escolha, além da receita fixa anual requerida (como um lance) no leilão de energia, o custo variável a ser reportado para a EPE. A modelagem que se apresenta nesta seção é compatível apenas com a segunda etapa dos leilões de energia nova, isto é, com a chamada rodada discriminatória. Na primeira etapa do leilão, organizada de forma similar a um *descending price clock auction*, os agentes se deparam com um preço de lance ICB, comum a todos, que se inicia em um patamar elevado e vai sendo gradualmente reduzido a cada rodada do leilão até que o somatório total das ofertas seja equivalente a um parâmetro de oferta de referência. Neste momento inicia-se a segunda etapa do leilão, a rodada discriminatória, em que os empreendedores submetem lances únicos de receita fixa – que resultam em lances únicos de ICB – para a quantidade ofertada que ficou previamente estabelecida na primeira etapa do leilão. Alterações de quantidade não mais são possíveis de serem implementadas na segunda etapa do leilão. Sob esta forma específica de organização dos leilões de energia nova, os agentes econômicos não possuem incentivos ao desvio na primeira fase do leilão, uma vez que estes apenas decidem ao preço de ICB vigente se estão dispostos a ofertar alguma quantidade positiva de energia. Por isso, a análise que é feita deste ponto em diante no artigo é toda voltada para a etapa discriminatória dos leilões de energia na qual existe possibilidade para escolha estratégica do preço de lance.

O empreendedor termelétrico apresenta no leilão seu projeto  $\theta$  cujo custo variável efetivo é igual a  $c$  e cuja disponibilidade máxima de energia é igual a  $D$ . O

custo fixo anual do projeto, que também inclui as despesas relativas ao custo de capital e a depreciação, é dado pelo termo  $R(D, c, \theta)$ . O investidor solicita no leilão a receita fixa anual  $\hat{R}$  e reporta para a EPE o custo variável  $\hat{c}$  que pode ou não diferir do verdadeiro custo variável  $c$ . De posse do custo variável reportado pelo investidor  $\hat{c}$  e da receita fixa requerida no leilão  $\hat{R}$ , a EPE calcula os termos  $COP(D, \hat{c})$ ,  $CEC(D, \hat{c})$ ,  $GF(D, \hat{c})$ , que em conjunto com  $\hat{R}$ , formarão o termo  $ICB(\hat{R}, D, \hat{c})$ , de acordo com a fórmula (5.1.1) da Seção 5.1. Desta maneira, o empreendedor maximiza em  $\hat{R}$  e  $\hat{c}$  o seu lucro esperado:

$$E(\pi) = \underset{\hat{R}, \hat{c}}{Max} [\hat{R} - R(D, c, \theta) + (\hat{c} - c)Q(D, \hat{c})] \times \Pr[ICB(D, \hat{R}, \hat{c}) \leq ICB_L]$$

### 6.1.1

onde  $ICB_L$  é o índice ICB da termelétrica menos eficiente (do ponto de vista do ICB) ainda classificada para ofertar energia ao *pool* dos distribuidores compradores e  $Q(D, \hat{c})$  é a quantidade média de energia que o empreendedor espera gerar quando reporta à EPE um custo variável igual a  $\hat{c}$ . Sendo assim, o empreendedor pode auferir um ganho positivo de  $(\hat{c} - c)$  (desde que reporte à EPE um  $\hat{c} > c$ ) todas as vezes em que for chamado a operar pelo ONS. Também poderia optar por ter um prejuízo em cada quantidade de energia fornecida forjando artificialmente uma redução sobre seu custo variável. A racionalidade desta decisão se justifica devido ao fato de que um custo variável menor implica em um índice ICB mais competitivo, o que aumenta a probabilidade de vencer o leilão, ou alternativamente, possibilita que o empreendedor solicite uma receita fixa anual mais elevada, sem diminuir sua probabilidade de vencer o leilão. Supondo que a variável aleatória  $ICB_L$  possua a distribuição acumulada  $F_L(\cdot)$ , a equação 6.1.1 simplifica para:

$$E(\pi) = \underset{\hat{R}, \hat{c}}{Max} [\hat{R} - R(D, c, \theta) + (\hat{c} - c)Q(D, \hat{c})] \times [1 - F_L(ICB(D, \hat{R}, \hat{c}))]$$

## 6.1.2

A condição de primeira ordem para a variável  $\hat{R}$  é a seguinte:

$$\frac{\partial E(\pi)}{\partial \hat{R}} = 1 - \left[ F_L(ICB(D, \hat{c}) + [\hat{R} - R(D, c, \theta)] \cdot f_L(ICB(D, \hat{R}, \hat{c})) \cdot \frac{1}{GF(D, \hat{c})} \right] - \left[ (\hat{c} - c)Q(D, \hat{c})f_L(ICB(D, \hat{R}, \hat{c})) \cdot \frac{1}{GF(D, \hat{c})} \right] = 0$$

$\Rightarrow$

$$F_L(ICB(D, \hat{c}) + \frac{\hat{R} - R(D, c, \theta)f_L(ICB(D, \hat{R}, \hat{c}))}{GF(D, \hat{c})} + \frac{(\hat{c} - c)Q(D, \hat{c})f_L(ICB(D, \hat{R}, \hat{c}))}{GF(D, \hat{c})}) = 1$$

$$\frac{[\hat{R} - R(D, c, \theta)] \cdot f_L(ICB(D, \hat{R}, \hat{c}))}{GF(D, \hat{c})} + \frac{(\hat{c} - c)Q(D, \hat{c})f_L(ICB(D, \hat{R}, \hat{c}))}{GF(D, \hat{c})} = 1 - F_L(ICB(D, \hat{R}, \hat{c}))$$

$$\Rightarrow \frac{\hat{R} - R(D, c, \theta) + (\hat{c} - c)Q(D, \hat{c})}{GF(D, \hat{c})} = \frac{1 - F_L(ICB(D, \hat{R}, \hat{c}))}{f_L(ICB(D, \hat{R}, \hat{c}))},$$

## 6.1.3

onde  $ICB(D, \hat{R}, \hat{c}) = \frac{\hat{R} + COP(D, \hat{c}) + CEC(D, \hat{c})}{8760 \times GF(D, \hat{c})}$ , ou mais

detalhadamente:

## 6.1.4

$$ICB(D, \hat{R}, \hat{c}) = \frac{\hat{R} + \left[ \hat{c} \frac{\sum_{ij} Gera_{ij}(D, \hat{c}) \times 12}{i \times j} \right] + \left[ \frac{\sum_{ij} pspot_{ij} [GF(D, \hat{c}) - Gera_{ij}(D, \hat{c})] \times 12}{i \times j} \right]}{8760 \times GF(D, \hat{c})}$$

em que  $Gera_{ij}$  é o despacho mensal médio esperado pelo governo no mês  $i$  e no cenário hidrológico  $j$ <sup>1</sup>. A multiplicação do despacho mensal pela constante 12, na expressão acima, normaliza todo o numerador para valores anuais.

Dessa maneira,  $\hat{R}^*$  pode ser encontrado como uma função implícita das variáveis  $D, c, \theta$  e  $\hat{c}$ .

$$\Rightarrow \hat{R}^* = \Psi(D, c, \theta, \hat{c})$$

Deve-se observar que não necessariamente o empreendedor teria as mesmas expectativas que o governo a respeito do despacho futuro de sua usina, embora esta sempre seja acionada pela regra de despacho do ONS. Os investidores e o governo podem discordar a respeito das condições futuras do sistema elétrico e, conseqüentemente, da geração média de energia de uma usina em particular. Sendo assim, o termo  $Q(D, \hat{c})$  que representa o despacho médio esperado pelo proprietário da usina, isto é,  $Q(D, \hat{c}) = \sum_{ij} Q_{ij}(D, \hat{c}) / i \times j$  poderia perfeitamente diferir do despacho médio esperado pelo governo, ou seja, do termo  $\sum_{ij} Gera_{ij}(D, \hat{c}) / i \times j$ . Este desalinhamento das expectativas, tal como é analisado com mais detalhes na subseção 6.2, pode provocar mudanças relevantes no custo variável reportado pelo investidor à EPE.

A seguir, encontra-se a derivação da condição de primeira ordem para a variável  $\hat{c}$ , isto é, para o custo variável reportado à EPE:

---

<sup>1</sup> Atualmente, a EPE calcula os termos COP e CEC utilizando 2.000 cenários hidrológicos de referência em um intervalo temporal equivalente aos 120 meses posteriores à realização do leilão.

$$\begin{aligned} \frac{\partial E(\pi)}{\partial \hat{c}} = & -[\hat{R} - R(D, c, \theta)] \cdot f_L(ICB(D, \hat{R}, \hat{c})) \cdot \frac{\partial ICB(D, \hat{R}, \hat{c})}{\partial \hat{c}} + \\ & + [Q(D, \hat{c}) + (\hat{c} - c) \cdot Q'(D, \hat{c})] \times [1 - F_L(ICB(D, \hat{R}, \hat{c}))] + \\ & + (\hat{c} - c) \cdot Q(D, \hat{c}) \cdot \left[ -f_L(ICB(D, \hat{R}, \hat{c})) \cdot \frac{\partial ICB(D, \hat{R}, \hat{c})}{\partial \hat{c}} \right] = 0 \end{aligned}$$

### 6.1.5

onde o ICB é definido de acordo com a expressão 6.1.4.

De maneira análoga, pode-se encontrar  $\hat{c}^*$  como uma função implícita das variáveis  $D, c, \theta$  e  $\hat{c}$ .

$$\Rightarrow \hat{c}^* = \lambda(D, c, \theta, \hat{c})$$

Com o intuito de averiguar a questão do alinhamento dos incentivos, avalia-se a derivada  $\frac{\partial E(\pi)}{\partial \hat{c}}$  no ponto  $\hat{c} = c$ , isto é, no ponto em que o empreendedor reporta à

EPE um custo variável idêntico ao seu custo variável verdadeiro e obtém-se:

$$\begin{aligned} \frac{\partial E(\pi)}{\partial \hat{c}}(c) = & -[\hat{R} - R(D, c, \theta)] \cdot f_L(ICB(D, \hat{R}, c)) \frac{\partial ICB(D, \hat{R}, c)}{\partial \hat{c}} + \\ & + [Q(D, c)] \times [1 - F_L(ICB(D, \hat{R}, c))] \end{aligned}$$

### 6.1.6

O primeiro termo é positivo, uma vez que o empreendedor solicita, usualmente, uma remuneração anual superior ao custo fixo anual de seu projeto. O terceiro termo também é positivo, pois tal como demonstra o GRÁFICO 1 da Seção 5, a função ICB é estritamente crescente no CV. Os termos 2 e 5 são, por sua vez, positivos devido às propriedades estatísticas das funções de distribuição de probabilidades. Por fim, o

termo 4 é claramente positivo por se tratar da quantidade anual média esperada (pelo investidor) de despacho efetivo para a sua usina. Com todos os termos positivos, mas com um sinal negativo à frente do produto dos termos 1, 2 e 3 obtém-se um resultado ambíguo para o valor da derivada. Embora o resultado da expressão 6.1.6, acima, não seja óbvio à primeira vista no que diz respeito ao sinal residual da derivada, pode-se concluir que só por uma grande coincidência seria exatamente igual a zero. Sendo assim, fica evidenciado que o agente produtor de energia se depara com um mecanismo que não é compatível em incentivos, isto é, reportar o valor verdadeiro de seu custo variável não é a ação que maximiza o lucro esperado de seu empreendimento. Desta forma, os empreendedores repassam para a EPE valores de CV que são provavelmente distintos de seus CVs verdadeiros e, conseqüentemente, o ONS realiza a operação do sistema utilizando estes dados viesados. Assim, existe uma alta probabilidade de que a ordem de mérito de despacho do ONS não seja uma ordenação perfeita do custo variável verdadeiro das usinas termelétricas. Este é mais um problema que vem a se somar às dificuldades de se operar e orientar a expansão do sistema elétrico de modo centralizado, tal como discutido na Seção 5. Em um mercado competitivo de energia, em que o governo não detivesse o controle sobre a geração, as usinas termelétricas de mais baixo custo (variável) seriam naturalmente acionadas (pelo próprio mecanismo de preços) antes das usinas de custo mais elevado. Isso seria feito sem o risco de haver uma ordenação incorreta dos custos das usinas termelétricas que, em última instância, acaba aumentando o custo operacional do sistema como um todo.

Esta subseção demonstrou que a utilização da regra do índice ICB como critério de classificação da eficiência dos projetos termelétricos nos leilões de energia é falha, no sentido de não preservar um alinhamento entre os interesses dos agentes produtores e o interesse do governo no que diz respeito à divulgação do CV. Enquanto o governo gostaria de obter o CV verdadeiro das usinas para que o ONS pudesse operar o sistema corretamente, os empreendedores termelétricos, por outro lado, maximizam o lucro esperado de seu projeto, nos leilões de energia, reportando um CV que é diferente de seu CV verdadeiro. A subseção seguinte busca uma maior

compreensão das funções de lucro esperado dos empreendedores nos leilões de energia termelétrica. Para tanto, realizam-se simulações com estas funções lucro com o intuito de identificar a direção do viés no CV reportado à EPE (sinal da expressão 6.1.6) e analisa-se o impacto que expectativas distintas das do governo acerca dos preços futuros de energia causam sobre o CV reportado à EPE.

## 6.2

### Simulações com o lucro esperado nos leilões de energia nova

Como mencionado na subseção anterior, esta subseção visa realizar simulações com as funções de lucro esperado dos empreendedores termelétricos com o intuito de investigar com quais tipos de incentivos se deparam os investidores, principalmente, no que diz respeito ao CV ótimo a ser reportado à EPE. Além disso, visa avaliar como estes incentivos se modificam mediante variações das expectativas dos investidores acerca dos preços futuros de energia.

Os procedimentos de simulação desenvolvidos nesta subseção são realizados a partir da expressão 6.1.2 da subseção 6.1 que apresenta o lucro esperado dos empreendedores em um leilão de energia nova como função de suas variáveis de escolha, isto é, da receita fixa anual ( $\hat{R}$ ) e do custo variável ( $\hat{c}$ ) a ser reportado à EPE. As simulações são realizadas utilizando-se os mesmos parâmetros técnicos<sup>2</sup> da usina termelétrica Global 1, isto é, da mesma usina utilizada como referência para as simulações desenvolvidas na subseção 5.1. O cálculo do índice ICB que está contido na expressão 6.1.2 é feito de maneira análoga àquele desenvolvido na subseção 5.1. Desta maneira, também se utiliza a mesma matriz de preços *spot* futuros preditos pelo ONS a partir de seus 2.000 cenários hidrológicos de referência. As simulações foram realizadas com distintos valores para o custo fixo anual da usina expresso pelo termo  $R(D, c, \theta)$ , porém, como os resultados não se alteraram de forma qualitativa, aqui

---

<sup>2</sup> Os parâmetros técnicos utilizados nas simulações desta seção são exatamente os mesmos que foram utilizados nas simulações do índice ICB e de seus componentes desenvolvidas na subseção 5.1, isto é, a disponibilidade máxima de energia, a inflexibilidade, e o custo variável verdadeiro do empreendimento.

são reportados apenas os resultados obtidos com o custo fixo anual  $R(D, c, \theta)$  denotado em R\$ 55,0 milhões. Nesta configuração, uma usina equivalente (tecnicamente) a Global 1, que estivesse entre os projetos vencedores de um leilão de energia e que requisitasse neste leilão uma receita fixa anual de R\$ 60,1 milhões (valor idêntico ao solicitado pela termelétrica Global 1), reportando seu verdadeiro CV à EPE obteria um lucro líquido anual de R\$ 5,1 milhões, o que configuraria uma margem líquida de 8,49% em relação a sua receita bruta anual. Como o objetivo desta subseção não é o de estimar um lucro líquido (ou um lucro esperado *ex-ante* a realização do leilão) acurado para um empreendimento termelétrico, mas sim o de investigar quais seriam os incentivos percebidos pelos investidores termelétricos no atual ambiente institucional, modificações no termo  $R(D, c, \theta)$  e, conseqüentemente, da margem líquida do empreendimento são de importância secundária. Embora a magnitude dos lucros esperados (*ex-ante*) seja bastante sensível a mudanças no custo fixo anual do empreendimento  $R(D, c, \theta)$ , a natureza dos incentivos induzidos pela metodologia do ICB é preservada diante de tais modificações.

O mesmo argumento vale para a função de distribuição de probabilidade acumulada  $F_L(\cdot)$  contida na expressão 6.1.2. O formato específico da verdadeira função de distribuição de probabilidades é importante para se determinar de forma precisa a magnitude do lucro esperado de um projeto termelétrico. Contudo, os aspectos qualitativos dos incentivos percebidos pelos investidores não são tão sensíveis a um formato específico da função de distribuição. Para as simulações reportadas nesta seção utilizou-se a função de distribuição de probabilidades Normal, mais especificamente, uma  $N(136, 2)$ . Os parâmetros de média e variância foram escolhidos a partir dos dados da TAB. 3, ou seja, dos dados do Quarto Leilão de Energia Nova. O valor escolhido para o parâmetro de média (R\$ 136,00) é o valor que corresponde ao índice ICB da usina menos competitiva entre as vencedoras. O parâmetro da variância, por sua vez, foi obtido a partir do quadrado do erro padrão dos índices ICBs do Quarto Leilão de Energia Nova. Estes parâmetros, obviamente, não correspondem ao verdadeiro processo aleatório gerador do índice ICB menos

competitivo em um determinado leilão de energia nova, entretanto, funcionam como aproximações razoáveis para que se possa investigar o aspecto qualitativo dos incentivos gerados pela regra do ICB.

As simulações com o lucro esperado do empreendedor são realizadas para diversos valores de  $\hat{R}$  e  $\hat{c}$  construindo, assim, uma grade de valores para o lucro esperado. Desta maneira, é feito um mapeamento completo da superfície de lucro esperado do empreendedor a partir de pequenas mudanças discretas nas variáveis de escolha  $\hat{R}$  e  $\hat{c}$ . Mais especificamente, os valores de  $\hat{R}$  utilizados na simulação se iniciam em R\$ 55,0 milhões, ou seja, no exato valor do parâmetro de custo fixo anual  $R(D, c, \theta)$ , e sofrem incrementos graduais de R\$ 0,5 milhão por vez, até que alcancem o valor final de R\$ 65,0 milhões. Os valores para o parâmetro são centrados em torno do verdadeiro valor de custo variável ( $c = \text{R\$ } 267,14$ ) e variam de uma em uma unidade até que tenham se deslocado em 50 unidades a partir do valor central  $c$ . Sendo assim, os valores de  $\hat{c}$  são os 101 valores (com distâncias unitárias entre si) pertencentes ao intervalo  $(c - 50, c + 50)$ . Desta forma, a grade de valores do lucro esperado constitui-se de uma matriz de dimensão  $101 \times 21$ .

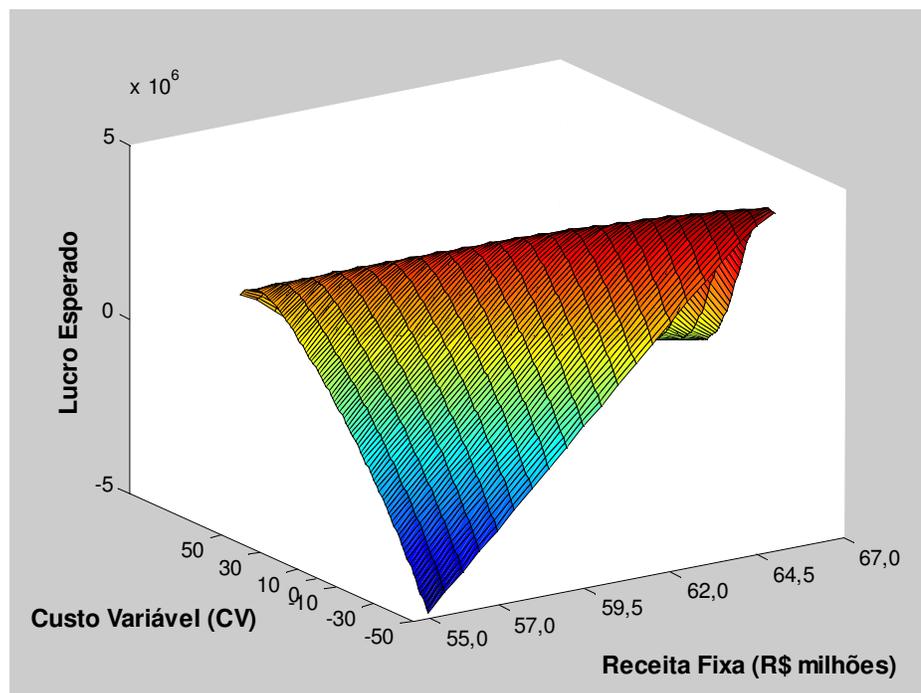
A primeira simulação realizada com o lucro esperado pressupõe que os empreendedores possuam expectativas idênticas às do governo a respeito dos preços futuros de energia ou que estes investidores não formulem expectativas próprias acerca do cenário futuro do setor elétrico e, desta forma, apenas confiam nas estimativas realizadas pelas entidades governamentais. Desta maneira, o termo que representa a quantidade média esperada pelos investidores  $Q(D, \hat{c})$  na expressão 6.1.2 é substituído por  $\sum_{ij} \frac{Gera_{ij}(D, \hat{c})}{i \times j}$  que representa a quantidade média esperada pelo governo. Sendo assim, a função de lucro esperado utilizada na primeira simulação é a seguinte:

$$E(\pi) = \underset{\hat{R}, \hat{c}}{\text{Max}} [\hat{R} - R(D, c, \theta) + (\hat{c} - c) \cdot \sum_{ij} \frac{\text{Gera}_{ij}(D, \hat{c})}{i \times j}] \times [1 - F_L(\text{ICB}(D, \hat{R}, \hat{c}))]$$

## 6.2.1

Os resultados encontrados para o lucro esperado como função das variáveis de escolha  $\hat{R}$  e  $\hat{c}$  podem ser visualizados no GRÁFICO 4, abaixo:

GRÁFICO 4 – Superfície do Lucro Esperado



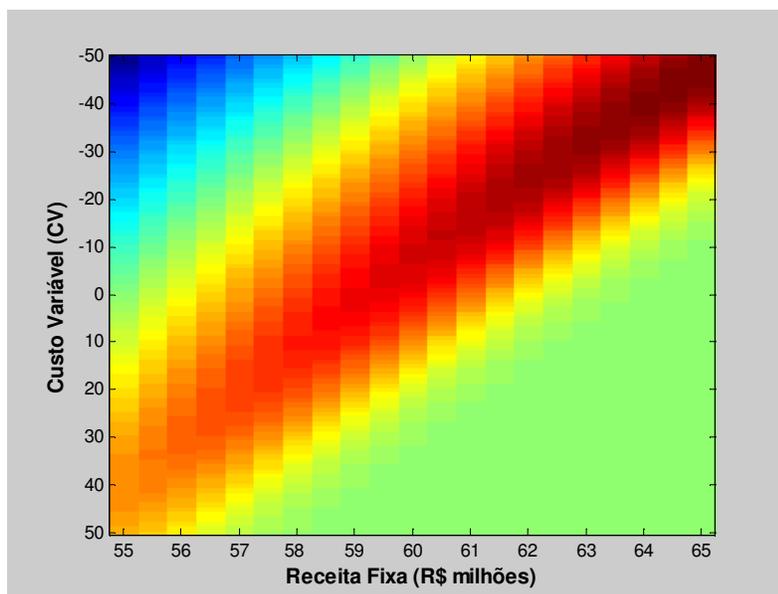
Nota: No eixo do CV, os valores foram normalizados de tal forma que zero (0) representa o CV verdadeiro.

O GRAF. 4 mostra um resultado curioso: o lucro esperado do investidor termelétrico é maximizado quando este reporta à EPE um valor de custo variável muito inferior ao verdadeiro valor. Este resultado é de certa forma surpreendente, tendo em vista o alinhamento das expectativas acerca dos preços futuros de energia entre os investidores e o governo contemplado neste cenário de simulação. Desta maneira, mesmo que os empreendedores tenham expectativas idênticas às do governo a respeito dos preços futuros de energia, o desenho do mecanismo (leilão associado à regra do ICB) é tal que a estratégia ótima para eles é a de reportar um custo variável

que seja consideravelmente inferior ao seu custo variável verdadeiro e requisitar, paralelamente, uma receita fixa anual maior que aquela que seria solicitada caso o empreendedor declarasse seu CV verdadeiro à EPE.

O máximo global da superfície não foi alcançado dentro dos intervalos considerados na simulação. O ponto de máximo atingido na simulação (máximo local) foi de um ganho esperado de R\$ 4,78 milhões, obtido com o empreendedor solicitando / reportando o seguinte par: ( $\hat{R} = 65,0 \times 10^6$ ;  $\hat{c} = c - 47$ ). Isto é, com o investidor requisitando uma receita fixa anual no leilão de R\$ 65 milhões e reportando um CV que é R\$ 47,00 inferior ao seu verdadeiro CV de R\$ 267,14. O GRÁFICO 5, a seguir, apresenta os mesmos resultados, porém, em uma formatação diferente que expressa de forma mais simples o comportamento do lucro esperado do empreendedor como função de suas variáveis de escolha. Os tons mais próximos de vermelho representam lucros esperados mais elevados.

GRÁFICO 5 – Imagem do Lucro Esperado



Nota: No eixo do CV, os valores foram normalizados de tal forma que zero (0) representa o CV verdadeiro.

O GRAF. 5 expõe de maneira clara a estratégia ótima do empreendedor. Caso

ele fosse forçado a declarar seu CV verdadeiro, a receita fixa anual solicitada seria de R\$ 59,5 milhões, pois este seria o lance no leilão que maximizaria seus ganhos esperados. Porém, o investidor se depara com um claro incentivo no sentido de solicitar uma receita fixa anual mais elevada no leilão e forjar artificialmente para baixo o seu CV declarado à EPE, com o intuito de reequilibrar a competitividade de seu empreendimento dado pelo índice ICB. Embora o máximo global não tenha sido alcançado na simulação, a continuidade da função lucro esperado assegura que o ponto de máximo ocorre para escolhas elevadas de  $\hat{R}$  contrabalançadas por declarações de valores baixos para  $\hat{c}$ , isto é, na continuação da diagonal que vai em direção ao canto direito superior do GRAF. 5. Sendo assim, o próprio mecanismo elaborado pelo governo, mesmo com um alinhamento perfeito das expectativas, produz um claro incentivo no sentido de induzir uma declaração de custo variável artificialmente baixa. Conforme discutido na subseção 6.1, a declaração de um CV que não corresponde ao verdadeiro é prejudicial ao sistema, uma vez que produz uma classificação incorreta da ordem de mérito de despacho do ONS, o que acaba por implicar em custos mais elevados de operação para o sistema elétrico como um todo.

Entretanto, algumas evidências empíricas parecem não corroborar a tese de que os agentes termelétricos se deparam com este incentivo a sub reportar à EPE o valor de seu CV. No Quarto Leilão de Energia Nova (TAB. 3 da Seção 3), por exemplo, o governo introduziu uma nova regulamentação que proibiu a participação no leilão de empreendimentos termelétricos cujo CV fosse superior à metade do Preço de Liquidação de Diferenças (PLD) máximo. Com um PLD máximo fixado pela ANEEL em R\$ 534,30 / MWh para o ano de 2007, o CV máximo permitido no leilão foi de R\$ 267,15. Tal como mostra a TAB. 3, diversas usinas reportaram um CV igual ou apenas poucos centavos abaixo do valor máximo permitido pela legislação em vigor. Mais especificamente, oito dos doze empreendimentos reportaram um CV maior ou igual a R\$ 267,00 / MWh. Esta aglutinação do CV reportado pelos agentes produtores em torno do CV máximo permitido pelo governo parece sugerir exatamente o contrário do apontado pelos procedimentos de simulação. Porém, existem duas explicações bastante plausíveis para justificar tal fenômeno. A primeira

possibilidade é a de que estas usinas a óleo combustível do Quarto Leilão de Energia Nova tenham de fato custos variáveis que sejam consideravelmente superiores ao CV máximo permitido pela regulamentação em vigor para aquele leilão. Desta maneira, a regulamentação do CV máximo em R\$ 267,15 já estaria levando tais usinas a reportarem um CV até mesmo inferior ao que seria reportado no ponto de ótimo global da função lucro esperado, caso não houvesse tal regulamentação impeditiva. Se este for o caso, estas evidências empíricas não corroboram nem refutam a tese de que os agentes produtores de energia se deparam com um incentivo econômico de declararem CVs à EPE que sejam artificialmente baixos. No entanto, existe uma segunda explicação mais interessante que justificaria tal fenômeno e que será averiguada no restante desta subseção.

De acordo com a equação 6.1.2, os empreendedores que reportarem um CV diferente do verdadeiro valor de CV estariam se expondo ao risco operacional representado pelo termo  $(\hat{c} - c)Q(D, \hat{c})$ . Desta forma, a estratégia ótima – para o caso em que as expectativas do agente produtor e do governo estejam alinhadas – de sub reportar o valor do CV expõe o empreendedor a um prejuízo financeiro sempre quando este for solicitado a operar pelo ONS, uma vez que o termo  $(\hat{c} - c)$  é negativo quando esta estratégia é implementada. Porém, desde que os investidores acreditem que serão chamados a operar com a frequência estimada pelo governo  $\left( \sum_{ij} \frac{Gera_{ij}(D, \hat{c})}{i \times j} \right)$  estes prejuízos seriam mais que integralmente compensados<sup>3</sup> pelos ganhos adicionais advindos de uma maior cobrança da receita fixa anual. Contudo, caso os preços futuros de energia venham a ser mais elevados que o previsto e, conseqüentemente, que as usinas termelétricas sejam requisitadas a operar com uma frequência maior que a prevista pelo governo, esta estratégia de sub reportar o CV pode gerar grandes perdas financeiras aos investidores. Sendo assim, todos aqueles empreendedores que acreditarem em preços futuros de energia mais elevados ou mesmo aqueles que simplesmente não quiserem ficar expostos a este risco

---

<sup>3</sup> Supondo que as expectativas dos agentes produtores de energia, que neste caso são idênticas às do governo, se verifiquem como as corretas no longo prazo.

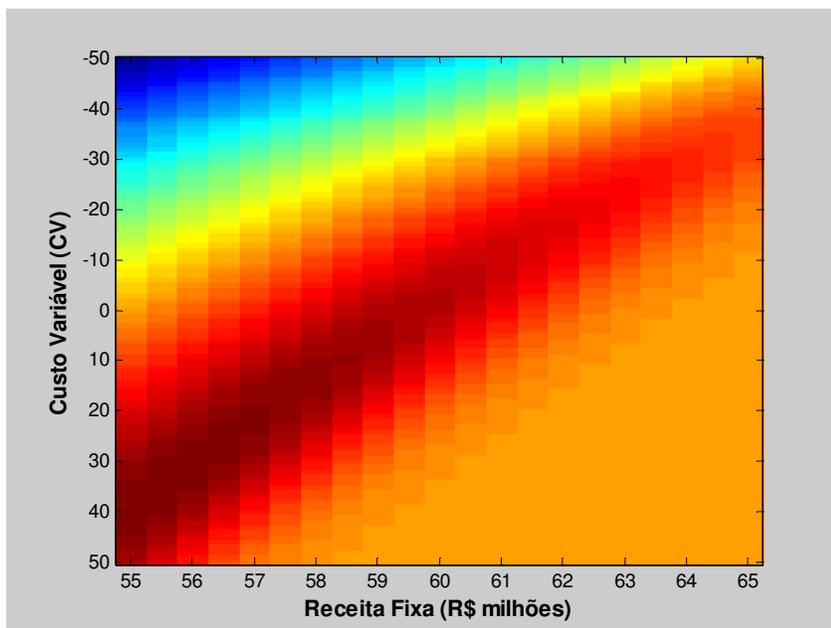
operacional deverão adotar uma estratégia distinta. Aqueles que acreditarem em preços mais elevados e, conseqüentemente, em uma frequência de operação igualmente mais elevada podem não só declarar um CV mais próximo do verdadeiro, como podem, inclusive, declarar um CV à EPE que seja superior ao CV verdadeiro, dependendo das crenças que estes investidores venham a formar a respeito do cenário futuro do setor elétrico. Esta seria uma explicação bastante verossímil para o fenômeno da aglutinação em torno do CV máximo permitido pela regulamentação em vigor no Quarto Leilão de Energia Nova. Os investidores de certa forma gostariam de ter reportado CVs maiores, apostando em uma alta da energia mas esbarraram na restrição, de modo que boa parte dos CVs reportados foram muito próximos do valor máximo permitido.

Tendo em vista o exposto, seria interessante averiguar como se comporta a função de lucro esperado e, principalmente, como se modifica a estratégia ótima para a declaração do CV à EPE, à medida que as expectativas a respeito dos preços futuros de energia dos investidores vão sendo incrementadas em relação ao cenário de referência em que os investidores estabelecem crenças idênticas às do governo. Com o intuito de realizar tal apuração, foram realizados outros seis procedimentos de simulação. A cada procedimento, a matriz de preços futuros esperados pelo empreendedor sofria uma majoração adicional em relação à matriz de estimativas do governo. Em todos os procedimentos, esta matriz de preços do investidor era sempre idêntica à matriz do governo a menos da multiplicação por um fator escalar. Os fatores de majoração utilizados foram os seguintes: [1, 1.125, 1.25, 1.375, 1.5, 1.625, 1.75]. Assim, no último cenário contemplado nas simulações, o investidor chegaria a formular expectativas a respeito dos preços futuros de energia que seriam em média 75% mais elevadas que as estimativas do governo.

Em todas as simulações, exceto na primeira (fator 1.0) e na última (fator 1.75), a superfície do lucro esperado alcançou um ponto de ótimo global dentro da região delimitada pelos intervalos simulados de  $\hat{R}$  e  $\hat{c}$ . No apêndice deste artigo (seção 9.2) se encontram os gráficos de imagem do lucro esperado para todas as simulações

realizadas. É interessante visualizar a modificação das imagens à medida que o fator escalar de majoração para os preços futuros esperados vai sendo ampliado. Para efeito de comparação com os resultados obtidos na primeira simulação (GRAF. 4 e 5), abaixo se apresenta o GRÁFICO 6 que ilustra o comportamento da função lucro esperado para o último procedimento realizado:

GRÁFICO 6 – Imagem do Lucro Esperado (fator 1.75)



Nota: No eixo do CV, os valores foram normalizados de tal forma que zero (0) representa o CV verdadeiro.

O GRAF. 6 demonstra a nítida mudança que ocorre na estratégia ótima dos investidores quando estes têm a expectativa de um cenário de preços muito elevados. Neste panorama de alta média de 75% nos preços, fica evidente que o investidor passa a ter uma estratégia ótima diametralmente oposta à estratégia ótima quando este confia plenamente nas estimativas do governo. Neste cenário de preços inflacionados, o ótimo é requisitar em leilão um receita fixa anual relativamente baixa e reportar à EPE um CV consideravelmente acima de seu verdadeiro CV, obtendo desta maneira toda a remuneração de seu empreendimento via o *spread* entre o CV declarado e o CV verdadeiro. Conforme mencionado, o ponto de ótimo global não ocorre na região retratada no GRAF. 6. O lucro esperado máximo (local) obtido na simulação foi de

R\$ 4,48 milhões. Este é um resultado “de canto” obtido quando o investidor requisita / reporta o seguinte par: ( $\hat{R} = 55 \times 10^6$ ;  $\hat{c} = c + 40$ ). Por continuidade da função lucro esperado, no ótimo global o investidor solicitaria uma receita fixa menor que R\$ 55,0 milhões (abaixo, portanto, de seu próprio custo fixo anual) e reportaria um CV mais de R\$ 40,00 acima de seu verdadeiro CV. Na TABELA 6, abaixo, estão caracterizados os pontos de ótimo obtidos em cada cenário simulado.

TABELA 6 – Caracterização dos Pontos de Máximo

Cenários	Lucro Esperado Máximo (x 10 <sup>6</sup> )	CV reportado	Receita Fixa solicitada (x 10 <sup>6</sup> )
Fator = 1.000	R\$ 4,7820 **	-47	65
Fator = 1.125	R\$ 4,1897	-39	64
Fator = 1.250	R\$ 3,8028	-18	61,5
Fator = 1.375	R\$ 3,6828	-1	59,5
Fator = 1.500	R\$ 3,7617	+17	57,5
Fator = 1.625	R\$ 4,0090	+21	57
Fator = 1.750	R\$ 4,4661 **	+40	55

Nota: Os lucros marcados com (\*\*) são pontos de ótimo locais.

A TAB. 6 em conjunto com a seqüência dos gráficos de imagem do apêndice evidenciam que o comportamento ótimo do empreendedor é bastante dependente de suas crenças a respeito do cenário futuro do setor. Como cada empreendedor formula crenças distintas acerca do futuro, a estratégia ótima no que diz respeito ao CV a ser reportado à EPE não é igual para todos os investidores, mesmo que estes venham a ter projetos termelétricos tecnicamente muito parecidos. Esta dependência da estratégia ótima com relação às crenças de cada agente produtor é um argumento que reforça a hipótese de que o ONS constitui sua ordem de mérito de despacho em uma classificação que não corresponde àquela dada pela seqüência correta dos CVs verdadeiros das usinas. Pois do contrário, isto é, se o viés ótimo fosse percebido de maneira semelhante por todos os empreendedores, o ONS continuaria a operar o sistema com dados incorretos a respeito dos CVs das usinas termelétricas, mas possivelmente a ordem de mérito (ótima) de despacho não seria tão prejudicada uma vez que todos os CVs reportados teriam um viés semelhante.

Esta seção apresentou algumas evidências teóricas e empíricas que apontam para falhas no mecanismo utilizado pelo governo para a seleção de novas usinas termelétricas. O critério de escolha de um projeto termelétrico pelo menor índice ICB não é compatível em incentivos. Desta maneira, o mecanismo elaborado pelo governo não proporciona um alinhamento entre os interesses do empreendedor termelétrico, interesses estes relacionados à maximização do valor (ou do lucro esperado) de seu empreendimento, e os interesses do governo, relacionados à obtenção de dados confiáveis e corretos a respeito do custo variável verdadeiro das usinas termelétricas que contribuirão para que o ONS possa operar o Sistema Interligado Nacional de maneira ótima. Ademais, mostrou-se nesta seção que o CV ótimo reportado pelos empreendedores, além de provavelmente não ser o verdadeiro, é dependente das crenças que estes estabelecem acerca das condições futuras do sistema.