

## 9 Estudos de Caso

Neste capítulo iremos estudar alguns problemas enfrentados pelas empresas que operam no mercado de energia. Trata-se da precificação de contratos de opções que poderiam ser oferecidos neste mercado.

Para resolver este problema será utilizada a metodologia descrita nos capítulos 7 e 8, sendo assim o preço da energia no curto prazo (PLD) será representado pelos processos estocásticos cujos parâmetros foram encontrados segundo os modelos descrito no capítulo 7, usando os parâmetros da tabela 14.

Como foi visto no problema do cálculo de uma opção é encontrado no setor elétrico, mas de difícil solução tendo em vista as incertezas, neste capítulo será calculado o seu valor usando a metodologia descrita no capítulo 8, empregando um AG.

### 9.1. Experimento “a”: Opção de compra com venda a PLD

Neste primeiro experimento considera-se que uma comercializadora pode adquirir (comprar) de um gerador a energia no ano de 2009 através de um contrato de opção e vendê-la mensalmente a PLD. Ou seja, o comprador da energia adquiri um contrato no qual possui o direito de comprar energia ao preço de exercício definido no contrato em questão no momento em que o preço da energia do mercado (PLD) seja superior a este preço definido entre as partes. Vale destacar que esta é uma opção americana, ou sejam, uma vez exercida a opção de compra ela deverá ser exercida ao longo de todo o tempo do contrato.

Para revenda desta energia pelo comprador (comercializadora) foi considerado o pior caso, ou seja, em última instância a venda desta energia seria remunerada pela Liquidação ao Preço de Liquidação de Diferença (PLD)

Neste caso a regra de decisão será dada pela Curva de gatilho calculada pelo GA conforme definido no Capítulo 8. O Valor Presente Líquido desta opção é o valor máximo entre diferença do valor da compra ao preço de exercício e o PLD ou zero (em caso da opção não ser exercida) calculado segundo a equação (14):

$$C = \text{Max}(Pe - \text{PLD}, 0)^{rt} \quad (44)$$

Dados do contrato:

- C : Opção de compra
- Pe : Preço de Exercício = 100 R\$/MWh
- Preço de Venda : PLD
- T : Tempo de Expiração = 12 meses
- r : Taxa de desconto livre de risco = 8% aa
- $\Delta t$  : 1 mês

### 9.1.1. Restrições do Preço

As restrições da Curva de Gatilho estão apresentadas na inequações (15) e (16). A primeira restrição deve-se aos valores máximos e mínimos do Preço de Liquidação de Diferenças determinado pela Agencia Nacional de Energia Elétrica. A segunda restrição deve-se ao comportamento da curva escolhida como modelo para a curva de gatilho (curva logarítmica) que se assemelha a uma curva de valor de uma opção, a exceção dos últimos instantes no qual a curva logaritmo tem uma redução mais acentuada de valor. Desta forma foi criado no momento t-1 um ponto livre que deve estar entre o preço no momento t-2 e o preço de exercício do momento t=0.

$$\text{PLD Min} < \text{Curva de gatilhos} < \text{PLD Max} \quad (55)$$

$$\text{Preço de } \Delta(t-2) < \text{Ponto Livre} < \text{Preço de Exercício da Opção} \quad (66)$$

### 9.1.2. Resultados

Os testes foram realizados com a finalidade de verificar e comparar o resultado de cálculo de opções de compra (“call”) em cada experimento em compará-los com o valor Real. Para tanto foram utilizados os seguintes cenários de preço:

- Newave (PMO de Dezembro de 2008).
- Matriz “PMOs ajustado”, conforme tabelas 12 e 13 do capítulo 7.
- Processos estocásticos a partir melhores processos estocásticos obtidos para cada experimento (2, 3, 4 e 5), conforme equações (17) e (18) abaixo:

Para os meses do Período Seco:

Se  $Y < Y_{\text{barra}_s}$  (7)

$$d(\ln Y) = \nu u_s (\ln Y_{\text{barra}_s} - \ln Y) dt + S_s dz$$

Se  $Y > Y_{\text{barra}_s}$

$$d(\ln Y) = \nu d_s (\ln Y_{\text{barra}_s} - \ln Y) dt + S_s dz$$

Para os meses do Período Úmido:

Se  $Y < Y_{\text{barra}_u}$  (88)

$$d(\ln Y) = \nu u_u (\ln Y_{\text{barra}_u} - \ln Y) dt + S_u dz$$

Se  $Y > Y_{\text{barra}_u}$

$$d(\ln Y) = \nu d_u (\ln Y_{\text{barra}_u} - \ln Y) dt + S_u dz$$

Sendo,

- $\nu u$  : velocidade de reversão à média de subida
- $\nu d$  : velocidade de reversão à média de descida
- $S$  : volatilidade
- $Y_{\text{barra}}$  : media de longo prazo
- $u$  := indice que indica o periodo umido
- $s$  : indice que indica periodo seco
- $Y$  : PLD (Preco de Liquidacao das Diferencas)

A seguir serão apresentados os resultados encontrados para cada cenário.

Cenários	Opção a
Newave	1050
PMOs ajustado	0
Exp. 2	2
Exp. 3	0.5
Exp 4	13
Exp 5	16

**Valor Real = 0**

Tabela 19 - VPL das opções para o Experimento "a"

O processo estocástico do experimento 3 foi o que apresentou o valor mais próximo da realidade.

Conforme já destacados no capítulo 7, o ano de 2009 apresentou uma afluência acima da média, assim foi um ano de preços reduzidos. Desta forma este experimento 3 por possuir um processo estocástico com médias de longo prazo menores, por ter sido estudado a partir de um modelo que utilizava o histórico de 2003 (contaminado pela redução do consumo pós-acionamento) gerou um resultado mais próximo do real.

A seguir esta apresentada “Regra de Decisão ótima da opção” do processo estocástico com melhor desempenho (Experimento 3) que mostra a curva que limita a área de exercício (região acima da curva) ou não (região abaixo da curva) da “Call”:

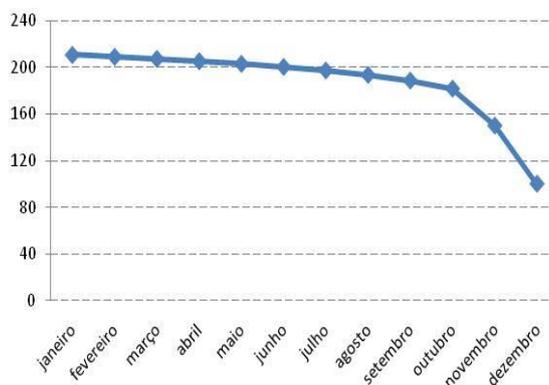


Figura 19 - Regra de Decisão ótima da opção para o Experimento “a”

## 9.2. Experimento “b”: Opção de compra com venda fixa

Neste segundo diferente do anterior foi estudado o caso em que uma comercializadora vende a energia a um consumidor livre e opta por adquirir esta energia no ano de 2010 através de um contrato de opção (novamente americana), ou seja, a comercializadora irá exercer a opção de compra no momento que o preço de exercício da opção for menor que o preço spot (PLD).

Neste caso a comercializadora venderá mensalmente sua energia a um preço fixo definido junto ao consumidor livre e para aquisição terá duas opções. Exercer a opção e comprar ao preço de exercício (Pe) ou não exercer a opção e comprar ao preço de PLD. ou ao valor de PLD Novamente a regra de decisão será

dada pela Curva de gatilho calculada pelo GA conforme definido no Capítulo 7 e neste caso o Valor Presente Líquido da opção está descrito na equação (19):

$$C = \text{Max}(Pe - PLD, Pv - PLD)^{rt} \quad (9)$$

Dados do contrato:

- Preço de Exercício  $Pe = 80 \text{ R\$/MWh}$
- Preço de Venda  $Pv = 82 \text{ R\$/MWh}$
- Tempo de Expiração  $T = 12 \text{ meses}$
- Taxa de desconto  $r = 8\% \text{ aa}$
- $\Delta t = 1 \text{ mês}$

### 9.2.1. Restrições do Preço

As restrições da Curva de Gatilho são as mesmas do experimento anterior, sendo elas:

$$\text{PLD Min} < \text{Curva de gatilhos} < \text{PLD Max} \quad (20)$$

$$\text{Preço de } \Delta(t-2) < \text{Ponto Livre} < \text{Preço de Exercício da Opção} \quad (21)$$

### 9.2.2. Resultados

Novamente os testes foram realizados com a finalidade de verificar e comparar o resultado de cálculo de opções de compra (“call”) em cada experimento em compará-los com o valor Real. Para tanto foram utilizados os cenários de preço:

- Newave (PMO Dezembro de 2009).
- Matriz “PMOs ajustado”, conforme tabelas 12 e 13 do capítulo 7.
- Processos estocásticos a partir dos parâmetros do melhor indivíduo encontrado pelo GA para cada experimento (2, 3, 4 e 5), tabela 12, conforme equações já mencionadas no experimento “a”:

A seguir serão apresentados os resultados encontrados para cada cenário.

Cenários	Opção b
Newave	695
PMOs ajustado	280

<b>Exp. 2</b>	460
<b>Exp. 3</b>	460
<b>Exp 4</b>	290
<b>Exp 5</b>	390

**Valor Real = 310**

Tabela 20 - VPL das opções para o Experimento “b”

Novamente, o valor obtido a partir das séries da matriz “PMOs ajustado” foi o mais próximo do valor real. Quanto aos processos estocástico o experimento 4 foi o que apresentou o valor mais aproximado da realidade, assim como o Experimento 3 e neste caso ter médias de longo prazo maiores o que favorece em anos como 2010 em que a afluências não foi tão favorável.

Novamente abaixo é apresentada “Regra de Decisão ótima da opção” do melhor processo estocástico (Experimento 4) para o Experimento “b”:

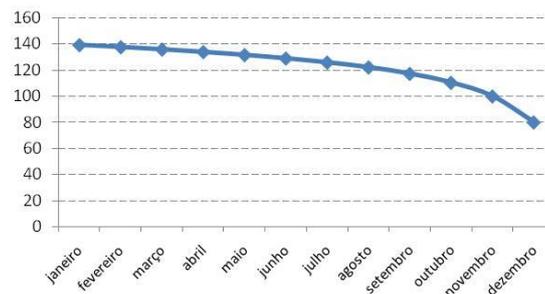


Figura 20 - Regra de Decisão ótima da opção para o Experimento “b”

### 9.3. Resultado do valor das opções

As tabelas 19 e 20 mostraram os resultados comparativos dos valores das opções obtidos por meio dos processos estocásticos de formação de preços modelados no capítulo 7, o Newave e a matriz “PMOs ajustado” e o valor real para os anos de 2009 e 2010.

As regras de decisão ótimas foram obtidas no caso da utilização dos processos estocásticos com 2.000 iterações da simulação de Monte Carlo para cada cromossomo do melhor indivíduo de cada GA. O número de iterações foi escolhido para que fosse pudesse ser comparado diretamente com o resultado do Newave que também apresenta 2.000 cenários. O reduzido número de iterações é uma restrição encontrada neste estudo, pois como o Newave só apresenta 2.000

iterações para permitir a comparação foi feito o mesmo número com os processos estocásticos encontrados, mesmo sabendo que este número é pequeno para estudos destes processos.

Os resultados do valor da opção de compra, obtidos a partir dos modelos de previsão de cenários de PLD dos processos estocásticos apresentaram valores mais aderentes à realidade que o modelo atual do setor elétrico (Newave).

Em todos os casos, seja na previsão de cenários a partir processos estocásticos, Newave ou com o uso da matriz "PMOs ajustado", os cálculos do valor da opção foram obtidos a partir da elaboração de algoritmos genéticos para aproximar uma regra de decisão ótima a fim de avaliar o derivativo.