

## 4

### Avaliação Financeira de um Parque Eólico

Neste capítulo, será analisada a implantação de um Parque Eólico fictício na região Nordeste brasileira vencedora do Leilão de Fontes Alternativas, através da Teoria de Opções Reais. Essa metodologia permite que o investidor do empreendimento escolha o melhor momento de investir. Caso perceba uma melhor oportunidade no futuro, o investidor pode aguardar por maiores informações e participar do próximo leilão, maximizando o valor do projeto. Esse tipo de investimento possui a característica de ser irreversível, ou seja, uma vez realizado o Parque Eólico, não é possível desfazê-lo. Portanto o investidor possui a escolha de investir imediatamente ou postergar o investimento através da Teoria das Opções Reais.

#### 4.1

##### Modelagem

Para calcular o valor de espera de um Parque Eólico no Nordeste brasileiro, dois métodos foram utilizados para avaliar o investimento por opções reais. O primeiro método proposto foi a *Market Asset Disclaimer* (MAD), utilizado por Copeland & Antikarov (2002). O cálculo é realizado através do Método Binomial, incluindo as alterações propostas por Dias (2011). No segundo método utilizou-se a Equação Diferencial Parcial (EDP) por aproximação analítica de Bjerksund & Stensland (1993) para o cálculo da opção através da planilha *timing* (disponível em <http://www.pucRio.br/marco.ind/timing.html>) para opção de compra americana.

Em ambos os métodos, usam-se os mesmos passos: determinar o valor presente líquido do projeto sem Opções, estimar o processo estocástico das variáveis e calcular a volatilidade agregada através da simulação de Monte Carlo. Entretanto, no cálculo do valor da opção, os métodos se distinguem.

Sendo assim, em uma primeira etapa, considerou-se que o investimento seria realizado imediatamente, e em uma segunda etapa, considerou-se que o

investimento poderia ser postergado, esperando por novas informações do mercado.

## 4.2

### Cálculo do Valor Presente Líquido do Projeto sem Opções

Para avaliar economicamente o Parque Eólico, determina-se o valor presente líquido (VPL) tradicional. Calcula-se o valor esperado do fluxo de caixa do Parque Eólico para toda vida útil do projeto. Porém, antes, é necessário conhecer o investimento para instalação do parque. Foram detalhados os itens do fluxo de caixa para maior compreensão dos resultados, considerando-se: as receitas estocásticas, os custos de compra do equipamento, custos de manutenção e operação, taxas de juros, impostos e financiamento.

#### 4.2.1

#### Fator de Capacidade

A série analisada possui oito anos de dados do fator de capacidade dos aerogeradores, no período compreendido entre janeiro de 2000 a dezembro de 2008, para uma determinada cidade brasileira do Nordeste, cujo nome não será revelado neste trabalho.

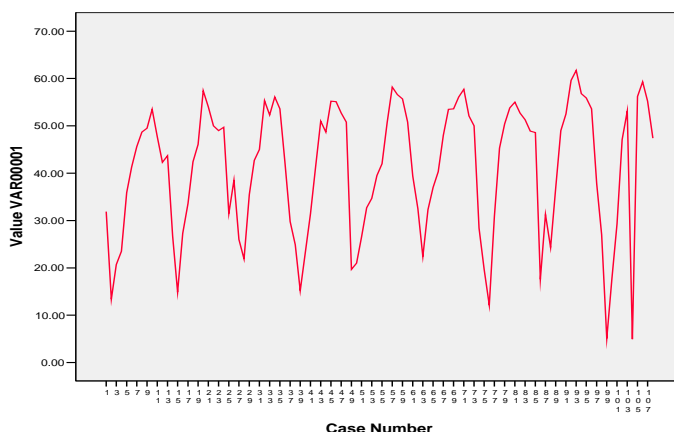


Figura 4.1 – Fator de Capacidade de janeiro de 2000 a dezembro de 2008

Percebe-se que a série apresenta um comportamento sazonal ao longo do período, com sucessivos “picos”, que coincidem com a época de seca, entre os meses de maio e novembro. Nesse período, o vento chega à velocidade máxima, atingindo 49% do fator de capacidade dos aerogeradores, o que não ocorre entre os meses de dezembro e abril. Nesse período, as chuvas são mais frequentes, provocando uma redução na velocidade do vento, atingindo níveis de 14% de capacidade das turbinas.

Com intuito de prever o comportamento ao longo dos anos da série Fator de Capacidade, utilizou-se um Modelo de Amortecimento Exponencial<sup>19</sup> através do software Forecast Pro. Após realizados os testes estatísticos, verificou-se que a série em estudo é modelo multiplicativo de Holt-Winters.

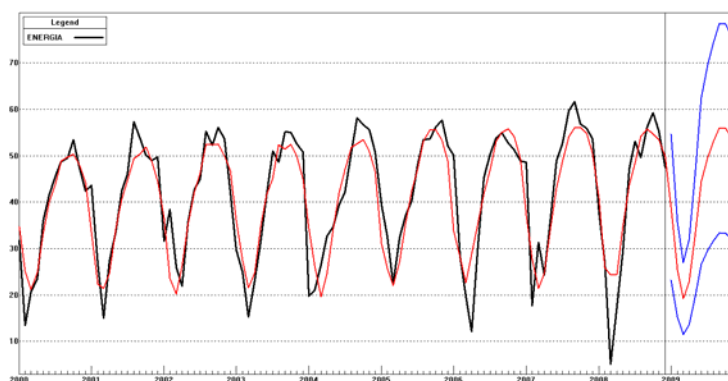


Gráfico 4.1 – Previsão do Fator de Capacidade

Para confirmar se o modelo capturou toda a estrutura da série, os erros devem ser descorrelatados. Algumas estatísticas são utilizadas para testar a hipótese de autocorrelação: Durbin Watson e Ling-Box.

Os resultados apresentados são satisfatórios, ou seja, os erros são descorrelatados. O Gráfico 4.2 da FAC dos erros confirma os resultados das estatísticas.

<sup>19</sup> O método de Amortecimento Exponencial tem profunda semelhança com o método da Média Móvel, isso porque ambos extraem um comportamento aleatório pelo amortecimento dos dados históricos, que se verifica por meio das observações da série temporal.

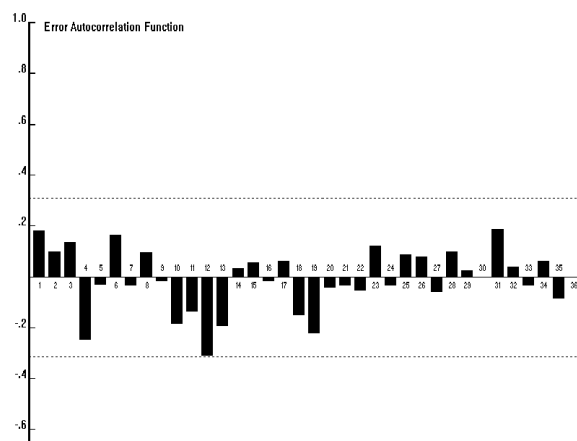


Gráfico 4.2 – FAC dos erros do Fator de Capacidade

## 4.2.2

### Preços Negociados

Já os dados de preço de leilão de energia eólica foram adquiridos através do site da CCEE, em Leilões de Energia de Reserva e Leilões de Fontes Alternativas. As séries encontradas pertencem ao 2º e 3º Leilão de Energia de Reserva e 2º, 3º e 4º Leilão de Fontes Alternativas referentes aos anos de 2009, 2010 e 2011. Sendo assim, foi escolhida a distribuição lognormal para representar os preços da energia eólica, utilizada no fluxo de caixa. O preço mínimo esperado de oferta de leilão foi estipulado em R\$ 102,70/MW e o preço máximo esperado foi de R\$ 148,53. A simulação de Monte Carlo foi utilizada para determinar os possíveis cenários futuros para os preços da energia eólica.

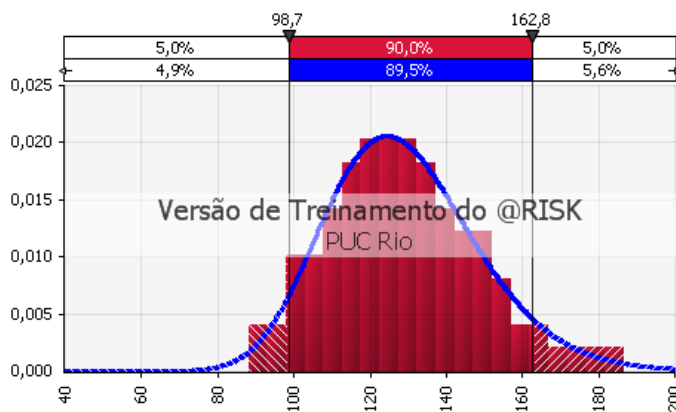


Gráfico 4.3 – Preço da Energia Eólica Simulado

### 4.2.3

#### Composição do Fluxo de Caixa do Projeto

A avaliação econômica consiste em analisar o presente e o futuro do projeto. Ao analisar o rendimento de um Parque Eólico, deve-se projetar o fluxo de caixa futuro do projeto que, neste caso, serão considerados Fluxos de Caixa Livre (FCL).

O Parque Eólico terá uma duração de 20 anos após o período de construção, segundo Edital de Leilão, conforme Figura abaixo:

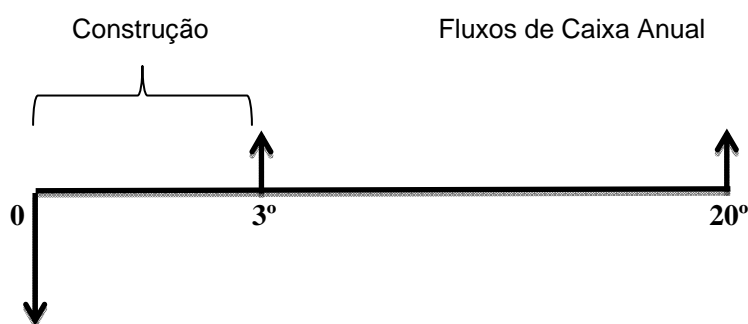


Figura 4.2 – Período de Construção de um Parque Eólico

Entre  $t = 0$  a  $t = 3$  será o período de construção do projeto. Após esta data, o Parque Eólico terá fluxo de caixa anual até  $T = 20$ .

Os dados de investimentos, custos de operação e manutenção, impostos, financiamentos foram retirados com base nos trabalhos de Machado (2008), Dalbem (2010) e Custódio (2010). Sendo assim, a composição do Fluxo de Caixa será descrita abaixo.

#### 4.2.3.1

##### Receita de Venda

A venda da energia eólica é dada ao multiplicar o fator de capacidade percentual pela capacidade instalada Megawatt (MW) e pelo preço da energia contratada em reais (R\$).

O Parque Eólico em estudo possui o fator de capacidade médio de 40,9%, o que corresponde a um bom investimento. Da receita de venda de energia, é preciso descontar 2,5% ano que referem-se às perdas de transmissão.

#### **4.2.3.2**

##### **Crédito de Carbono**

As receitas de vendas também podem ser adquiridas por meio da negociação de crédito de carbono. Através do Protocolo de Kyoto foi criado um sistema chamado de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que possui a finalidade de auxiliar países desenvolvidos na redução de emissão de gás carbono. A compra de créditos de carbono gerados por fontes alternativas, como parques eólicos, é uma forma de os países cumprirem as metas específicas de redução do CO<sub>2</sub>. Esse fato também é uma forma de o Governo Brasileiro garantir a viabilidade do projeto.

Conforme Dalbem (2010), o fator de redução utilizado foi de 0.28/tCO<sub>2</sub>/MWh, ao preço fixo de €12/tCO<sub>2</sub>. Os custos estimados relativos ao estudo de viabilidade foram de R\$ 400.000.00.

#### **4.2.3.3**

##### **Investimento Inicial**

Grande parte do investimento inicial de um Parque Eólico incide sobre os aerogeradores escolhidos. De acordo com Dalbem (2010), esse investimento corresponde a 70 a 80% dos custos totais do projeto. Apesar de os custos da energia eólica serem altos em relação a outras fontes de energia, existe uma série de vantagens na escolha desse bem, por ser uma fonte de energia renovável e pela sua complementariedade com hidrelétricas. Com a queda do dólar na crise mundial de 2009, os aerogeradores diminuíram de preço e a energia eólica se tornou competitiva no mercado de energia, fato que pode ser percebido nos leilões de energia de reserva dos anos de 2009, 2010 e 2011. Outro fator relevante é o avanço da tecnologia, que propiciou o surgimento de aerogeradores com turbinas maiores e mais eficientes, capazes de aproveitar melhor os ventos, o que gera uma

expectativa ainda maior para a construção de turbinas com preços mais competitivos.

Foram escolhidos 5 aerogeradores, modelo E-82 da Wobben/Enercon com potência nominal de 2,0 MW cada, totalizando 10 MW de acordo com a velocidade de vento da região Nordeste.

O Investimento inicial estimado é de R\$ 35.000.000,00, sendo que 70% serão destinados à aquisição dos aerogeradores.

#### **4.2.3.4**

#### **Custos de Operação e Manutenção**

Os custos envolvem a operação das usinas e a manutenção de equipamento, engenharia e planejamento. De acordo com Custódio (2010), o custo de operação e manutenção é baixo, na ordem de 2% do preço dos aerogeradores por ano.

#### **4.2.3.5**

#### **Taxa da ANEEL**

Outro encargo correspondente aos parques eólicos é a taxa de fiscalização de serviços de Energia Elétrica paga à ANEEL. Corresponde a 0,5% da renda bruta obtida pela venda da energia. (Custódio, 2010)

#### **4.2.3.6**

#### **Financiamento**

Considerou-se um Financiamento<sup>20</sup> de 60% do Parque Eólico concedido pelo BNDES, com uma taxa anual de longo prazo (TLJP) de 6,5% mais remuneração básica do BNDES de 0,9% a.a, taxa de risco de crédito de 3,57% a.a. e taxa de intermediação financeira de 0,5% a.a. O restante do investimento, correspondente a 40%, foi concedido por recursos próprios.

---

<sup>20</sup>O BNDES é o Banco Nacional de Desenvolvimento, o qual financia até 80% de um Parque Eólico.

#### **4.2.3.7**

##### **Impostos**

Os impostos que incidem sobre a receita de venda bruta são: o PIS, com alíquota de 1,65% e o COFINS, com alíquotas de 7,6%. A receita bruta anual desse projeto é abaixo de R\$ 48 milhões, portanto a tributação foi escolhida de acordo com as normas do Lucro Real por serem mais vantajosas. Então, sobre o Lucro bruto operacional, aplica-se o IRPJ (Imposto de Renda para Pessoa Jurídica) com uma alíquota de 25% e a CSLL (Contribuição social do Lucro Líquido), com uma alíquota de 9%.

#### **4.2.3.8**

##### **Depreciação**

Conforme Custódio (2010) considerou-se o custo anual médio de depreciação dos equipamentos por 20 anos, com uma taxa de 5% ao ano.

#### **4.2.4**

##### **Determinação da Taxa de Desconto Ajustada ao Risco**

Geralmente, a taxa de desconto ajustada ao risco é calculada de acordo com o WACC (Custo médio ponderado do capital). De acordo com a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), os critérios adotados para determinar a remuneração de um projeto na área de energia elétrica, garantindo a atratividade do investimento é de 11,26%. Porém, de acordo com Dalbem (2010), a remuneração do capital de um Parque Eólico poderia estar próxima da taxa livre de risco, adotando uma taxa de desconto de 10%. Portanto, foi modelado o fluxo de caixa estático do Parque Eólico, empregando as seguintes variáveis: receita com venda, receita com crédito de carbono, investimentos, custos de operação e manutenção, financiamentos, depreciação, impostos e taxa de desconto ajustado ao risco de 10%. A estrutura do Fluxo de caixa é demonstrada conforme tabela abaixo:



Tabela 4.1 – Composição do Fluxo de Caixa

<b>Fluxo de Caixa</b>
(+) Receita c/ Venda de Energia
(+) Receita c/ Venda Crédito Carbono
(-) Deduções da Receita (PIS/COFINS)
<b>Lucro Bruto</b>
(-) Custos de Operação e Manutenção
(-) Taxa da ANEEL
(-) Depreciação
<b>Lucro antes de IR</b>
(-) Imposto de Renda
(+) Depreciação
<b>Fluxo de Caixa Livre (FCL)</b>
(-) Investimento
(+) Empréstimo
(-) Prestações
<b>Fluxo dos Acionistas (FDA)</b>

O valor do projeto sem flexibilidade será calculado conforme equação 3.1.

O valor presente líquido descontando o investimento é de -R\$ 3.908.478,53

(VP- I). Pela regra de decisão do VPL tradicional, o investimento imediato em um Parque Eólico não seria aceito, visto que o projeto possui o Valor Presente Líquido negativo.

#### 4.2.5

#### **Análise do Resultado do Projeto**

A inviabilidade econômica de um Parque Eólico está diretamente relacionada ao investimento inicial do projeto, isto é, os primeiros períodos são caracterizados pela construção do parque penalizando o fluxo de caixa. Sendo assim, simulou-se o modelo sem opções a fim de encontrar o VPL médio do Parque Eólico e a probabilidade de esse fato acontecer.

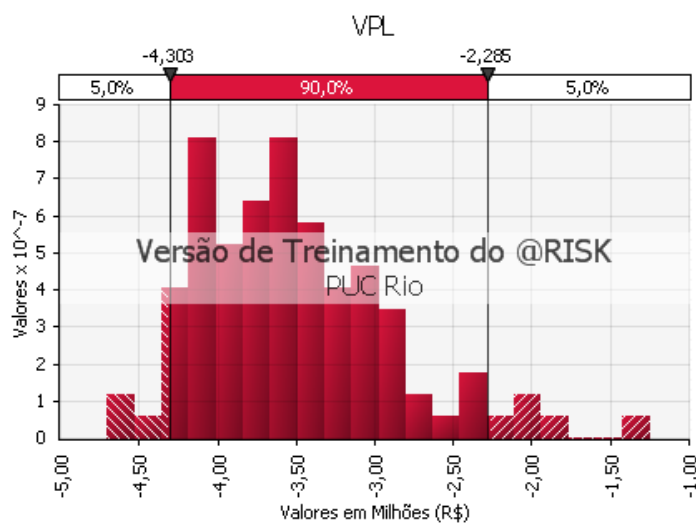


Gráfico 4.4 – VPL Simulado

### 4.3

#### Análises das Variáveis Estocásticas do Projeto

Para avaliar um investimento com flexibilidade, deve-se determinar o processo estocástico das variáveis aleatórias envolvidas no projeto. Neste caso, essas variáveis são: fator de capacidade e o preço de leilão da energia eólica. A partir da inclusão delas no fluxo de caixa estocástico, pode-se obter a volatilidade do projeto. Assim, serão realizados alguns testes estatísticos como: teste da raiz unitária, teste de normalidade e teste da autocorrelação serial, com o intuito de encontrar o processo estocástico a que as variáveis aleatórias pertencem.

Os processos estocásticos que serão testados para as variáveis fator de capacidade e preço são: Movimento Geométrico Browniano (MGB) e Movimento de Reversão à Média (MRM).

Segundo Dias (2011), a escolha do melhor processo estocástico para uma certa variável deve atender algumas propriedades desejadas, tais como: adesão aos dados sem *overfitting*, lógica econômica ou consistência com fatos estilizados do comportamento dos preços.

### 4.3.1

#### Teste da Raiz Unitária

O segundo passo é analisar a presença de raízes unitárias. Segundo Dixit e Pindyck (1994), o teste da raiz unitária é uma forma de testar a hipótese do processo da variável ser ou não estacionária. Se uma série deve ser diferenciada  $d$  vezes antes de tornar-se estacionária, então ela deve conter  $d$  raízes unitárias. Os testes de raízes unitárias são capazes de detectar se a série foi suficientemente diferenciada para se tornar estacionária. (Amaral, 2011)

Na presença de uma ou mais raízes unitárias, é um indício de que o processo estocástico segue um “*random walk*”, ou seja, um movimento geométrico browniano. O teste utilizado para identificar é conhecido como teste de *Dickey-Fuller* Aumentado (ADF).

As hipóteses testadas são:

$H_0$ :  $\phi = 0$ ; existem raízes unitárias.

$H_1$ :  $\phi < 0$ ; não existem raízes unitárias.

O software utilizado para averiguar a hipótese foi o Eviews.

O teste estatístico não apresentou a presença de raízes unitárias. Sendo assim, rejeita-se a hipótese nula a um nível de significância de 0.05, com um p-valor  $< 0.0001$ .

De acordo com o resultado, a série do fator de capacidade não apresenta um padrão de passeio aleatório, ou seja, é estacionária, dando indícios de comportamento de um Movimento de Reversão à Média (MRM).

### 4.3.2

#### Teste da Normalidade

Além do teste da raiz unitária, pode-se analisar as características das distribuições das variáveis de interesse, que, no caso, são o fator de capacidade e o preço de leilão da energia eólica. No caso de um Movimento Browniano (explicado no capítulo 3), o mesmo possui a premissa de que a variável é uma

distribuição normal, em contrapartida, a série temporal que segue um movimento geométrico browniano possui a característica de uma distribuição lognormal. Sendo assim, é preciso testar a variável em estudo. Para isso, será utilizado o teste de normalidade de Jarque-Bera. Esse teste analisará a assimetria e curtose da distribuição.

As hipóteses a serem testadas são:

$H_0$ :  $W = 3$ ; Distribuição Normal

$H_1$ :  $W > 3$ ; Distribuição Não Normal.

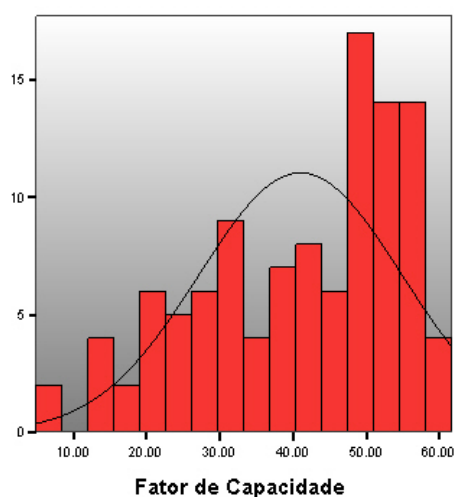


Gráfico 4.5 – Teste de Normalidade do Fator de Capacidade

Os resultados obtidos pelo teste de normalidade Jarque-Bera comprovam uma forte rejeição à hipótese de normalidade.

### 4.3.3

#### Teste de Autocorrelação

De acordo com Dixit e Pindyck (1994), um exemplo de um processo estocástico (em tempo discreto e com variável contínua) também é um modelo autoregressivo de ordem um - AR (1). Esse processo pode ser considerado um processo de reversão à média. Segundo os autores, o AR (1) satisfaz as propriedades de um processo de markoviano.

Através da identificação do modelo autoregressivo, é possível verificar o quanto valores passados influenciam os valores presentes, identificando, assim, o comportamento da variável.

As hipóteses a serem testadas são:

$H_0$ : Não há correlação entre as variáveis;

$H_1$ : Há correlação entre as variáveis.

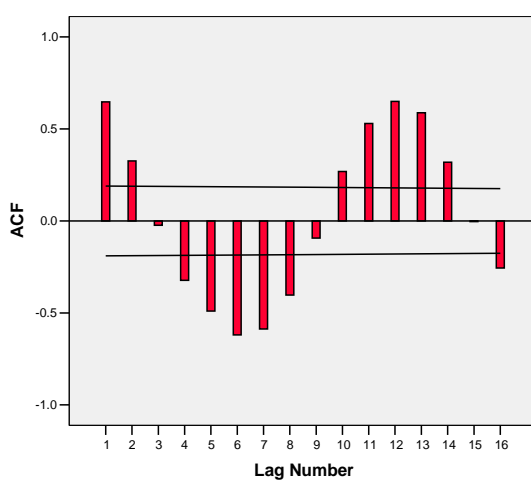


Gráfico 4.6 – Função de Autocorrelação (FAC)

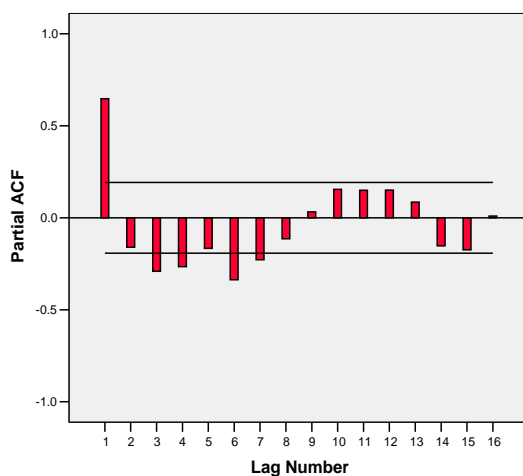


Gráfico 4.7 – Função de Autocorrelação Parcial (FACP)

As estatísticas mais relevantes para identificar a ordem do modelo são as funções de autocorrelação (FAC) e autocorrelação parcial (FACP).

A função de autocorrelação descreve a correlação entre duas observações adjacentes da mesma série temporal, ocorridas em diferentes períodos, enquanto a função de autocorrelação parcial mede o grau de associação entre as observações de uma série temporal quando o efeito de defasagem é retirado.

Observa-se que a FAC revela um comportamento exponencial, típico do processo autoregressivo, e que as autocorrelações parciais na primeira defasagem são bem significativas, indicando um modelo de 1ª ordem. A FACP também apresenta padrão truncado, reforçando as características do modelo autoregressivo.

#### 4.4

#### Correlação entre as Variáveis

Através de uma suposição de dependência entre as variáveis aleatórias preço da energia eólica e fator de capacidade, deve-se estimar a correlação entre as séries através da decomposição de *Cholesky*. Essa decomposição é formada por duas variáveis aleatórias  $X$  e  $Y$ , as quais possuem uma distribuição normal com correlação  $\rho$ , em que se deve amostrar duas variáveis normais independentes  $z_x$  e  $z_y$  e utilizá-las para a variável  $X$  e a variável  $Y$  respectivamente, através da seguinte fórmula:

$$z_y = \rho z_x + z_w \sqrt{1 - \rho^2} \quad (4.1)$$

A correlação encontrada entre as variáveis é de 30%.

#### 4.5

#### Escolha do Processo Estocástico

Através dos testes estatísticos realizados, foi possível identificar que a variável aleatória fator de capacidade segue um Movimento de Reversão à Média, porém é necessário uma certa cautela. Apesar dos testes assegurarem um MRM, ainda existem questionamentos.

Dixit e Pindyck (1994), ao analisarem o preço do petróleo durante 30 anos, não puderam rejeitar a hipótese de o processo ser um Movimento Geométrico Browniano. De acordo com os autores, para rejeitar tal hipótese, seria necessária uma série de preços de petróleo de 100 anos.

Já Copeland e Antikarov (2002), utilizaram o argumento através do teorema de Samuelson (1965). Esse teorema diz que, mediante um mercado eficiente, a taxa de retorno de qualquer ativo correlacionado seguirá um caminho aleatório ou um Movimento Geométrico Browniano.

A partir dessas justificativas, será considerado que o fator de capacidade segue um Movimento de Reversão à Média e o preço da energia eólica segue um Movimento Geométrico Browniano e o Projeto segue um MGB.

#### 4.6

#### **Cálculo da Volatilidade Agregada do Parque Eólico**

Antes de calcular o valor da opção do investimento, é preciso calcular a volatilidade do projeto. Para determiná-la, utiliza-se a Simulação de Monte Carlo através do software *@Risk*. Foram utilizadas cem mil iterações que simulam o VP do investimento.

No presente trabalho, o cálculo da volatilidade será sugerido por Dias (2011), através do MAD modificado.

No caso, as variáveis de interesse são o fator de capacidade e o preço da energia eólica. Após a simulação, é possível encontrar as curvas de valores esperados do instante 1 até o instante 20. A partir daí, é possível encontrar o valor presente do projeto sem flexibilidade, utilizando a curva de valor esperado do fator de capacidade e do preço de leilão de energia eólica. Em seguida, determina-se que o valor presente do projeto segue uma distribuição lognormal e então simula-se novamente para encontrar a média e volatilidade do projeto, conforme equações (3.15) e (3.16).

Em uma primeira etapa, foi simulada a volatilidade considerando que a variável estocástica fator de capacidade segue um movimento de reversão à média. Já para a variável estocástica preço da energia eólica, considerou-se que o processo segue um MGB.

Ao modelar o projeto como um MGB, os resultados encontrados foram:

Tabela 4.2 – Estimação dos Parâmetros do Projeto

$\alpha_V$	7%
$\sigma_V$	22,5%

## 4.7

### Estimação dos Parâmetros do Processo Estocástico

Encontram-se os parâmetros das variáveis estocásticas aplicando o logaritmo no fator de capacidade  $\ln(F_t)$  e no preço da energia eólica  $\ln(P_t)$ .

#### 4.7.1

##### Estimação dos Parâmetros de um MGB

Se o preço da energia eólica  $\ln(P_t)$  segue um movimento geométrico browniano, os parâmetros  $\alpha$  e  $\sigma$  foram obtidos através das equações 3.15 e 3.16.

Tabela 4.3 – Estimação dos Parâmetros do Preço

$\alpha_V$	23%
$\sigma_V$	50%

Sendo assim, é possível discretizar o processo, conforme a seguinte equação:

$$P_t = P_0 \left\{ \exp \left[ \left( 0.23 - \frac{0.25}{2} \right) \cdot \Delta t + 0.50 \cdot N(0,1) \cdot \sqrt{\Delta t} \right] \right\} \quad (4.2)$$



### 4.7.2

#### Estimação dos Parâmetros de um MRM

O fator de capacidade  $Ln(F_t)$  segue um movimento de reversão à média e terá a seguinte regressão em tempo discreto. De acordo com Dixit e Pindyck (1994) e através de correções realizadas por Ross (1999) a partir das equações 3.30, 3.31 e 3.32, serão estimados os parâmetros do MRM. Os resultados são:

Tabela 4.4 – Estimação dos Parâmetros de um MRM

$A$	0,95025
$B$	0,73549
$\varepsilon$	0,33446
$\eta$	3,68657
$\sigma^2$	1,34042
$\sigma$	1,15777
$F$ de longo prazo	43,5932

O processo MRM discretizado terá a seguinte equação:

$$\begin{aligned}
 x_t = \exp \left\{ [x_{(t-1)} e^{-3,6865\Delta t}] - \left[ (1 - e^{-2(3,6865)\Delta t}) \cdot \frac{1,34042}{4 \cdot (3,6865)} \right] \right. \\
 \left. + [1,1577 \sqrt{\frac{1 - e^{-2(3,6865)\Delta t}}{2(3,6865)}}] \right\} \quad (4.3)
 \end{aligned}$$

## 4.8

### Cálculo do Valor da Espera

Com o intuito de obter novas informações sobre o Parque Eólico, a opção de espera permite avaliar o adiamento do investimento por um determinado período.

A opção de espera é análoga a uma opção de compra americana, dando o direito ao investidor, mas não a obrigação, de realizar o investimento. De acordo com Dias (1996), a possibilidade de adiar uma decisão de investimento, que é o tema deste trabalho, permite que os tomadores de decisão tenham tempo para examinar o desenrolar dos futuros acontecimentos e dá a chance de evitar erros de custo elevado, caso ocorram cenários desfavoráveis. Por outro lado, caso os eventos futuros caminhem para um cenário mais favorável, a espera terá permitido realizar o projeto em condições mais vantajosas, com uma maior rentabilidade.

Devido às incertezas referentes à economia mundial e aos rumos da energia eólica, cabe analisar se a espera por novas informações é vantajosa. Será que é ótimo aguardar para investir?

O cálculo da opção em uma primeira etapa será realizado através do método de Black and Scholes com a aproximação analítica de Bjerk Sund & Stensland (1993). Em uma segunda etapa, o cálculo da espera será realizado através do Método Binomial, apenas para fins de comparação.

#### 4.8.1

#### Cálculo do Valor da Espera através de *Contingent Claims*

Será calculado o valor da opção em que o valor de espera  $F(t)$  pode ser igual ou maior que o investimento sem flexibilidade ou investimento imediato. Se o valor de  $V$  for maior ou igual ao valor crítico  $V^*$ , então é ótimo o exercício imediato, caso contrário, é melhor aguardar por maiores informações do mercado.

O valor crítico  $V^*$  (valor de gatilho) e o valor da opção de investir  $F(V)$  são fornecidos pelas seguintes equações 3.39 e 3.40.

O retorno esperado do investimento ( $\mu$ ) é a soma da taxa de ganho de capital ( $\alpha$ ) e da taxa de dividendos ( $\delta$ ).

$$\mu = \alpha + \delta \quad (4.4)$$

Entretanto, sabe-se que o retorno esperado é igual à taxa ajustada ao risco encontrada no 4.2.2 de 10% a.a e a taxa de ganho de capital é igual a 7%.

Os parâmetros para o cálculo do valor da espera de um Parque Eólico são:

- O valor da ação ou VP do projeto será de R\$ 12.499.121,00;
- O payoff da ação ou o Investimento (I) será de R\$ 16.407.600,00;
- O tempo de expiração será de 20 anos;
- A taxa livre de risco de ( $r_f$ ) de 10%;
- A volatilidade de ( $\sigma$ ) de 22,5%;
- O dividendo será de ( $\delta$ ) de 3%.

Através da planilha timing <http://www.puc-rio.br/marco.ind/timing.html>, que usa a aproximação analítica de Bjerksund e Stensland, foi calculado o valor de espera para o investimento do Parque Eólico. De acordo com o resultado encontrado, o valor da opção (F) foi de R\$ 5.372.000,79, ou seja, é preferível aguardar por novas informações em comparação com o exercício imediato (VPL = -R\$ 3.908.478,53).

O Gatilho  $V^*$  em que o investidor fica indiferente entre investir ou postergar é de R\$ 72.576.000,47.

O tempo  $T^*$  para haver o exercício da opção é de 19 anos, com probabilidade de 27,3%.

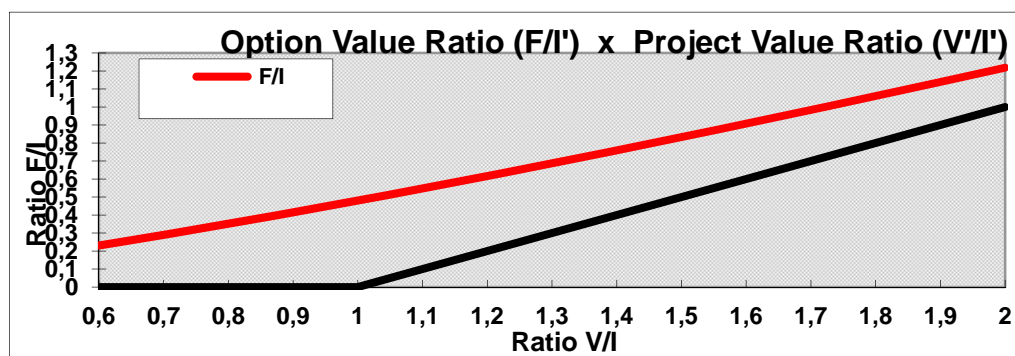


Gráfico 4.8 – Valor da Opção de Espera

No Gráfico 4.4, o eixo y corresponde ao Valor da Opção enquanto o eixo x corresponde ao Valor do Projeto. No eixo x, o valor de 0,6 a 1 é preferível não investir. Neste mesmo eixo, do valor de 1 até 2, é necessário aguardar por novas informações.

#### 4.8.2

#### Cálculo do Valor da Espera através do Método Binomial

A segunda forma para o cálculo do valor de espera é através do Método Binomial, desenvolvido por Cox, Ross e Rubinstein (1979). Para a construção do método, foram consideradas as seguintes premissas:

- Valor da opção (VP) R\$ 13.759.295,73;
- O payoff da ação ou o Investimento (I) será de R\$16.407.600,00;
- Intervalo de tempo ( $\Delta t$ ) de 20 anos;
- Volatilidade ( $\sigma$ ) de 22,5%;
- Taxa livre de risco ( $r_f$ ) de 10%;
- Dividendos ( $\delta$ ) de 3 %;
- Fator de subida (u) de 1,2532;
- Fator de descida (d) de 0,7985;
- Probabilidade de subida (p) de 60,38%;
- Probabilidade de descida (1-p) de 54,40%.

O cálculo das probabilidades de subida e descida (p) e (1-p) foram calculadas conforme as equações, (3.51) descritas no capítulo 3. Já os fatores de subida (u) e descida (d), foram calculados conforme equações (3.49) e (3.48), porém acrescidos dos dividendos ( $\delta$ ).

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
12899	15652,78	19602,33413	24548,45	30742,5797	38499,631	48213,9628	60379,4408	75414,5455	94099,8133	118587,214	148509,4622	185981,7736	232909,2008	291877,4836	365274,3396	457441,3546	572864,2014	717410,8549	894429,9131	1121234,139	
9980,654	12499,0006	15652,78	19602,3342	24548,4485	30742,5798	38499,6312	48213,9628	60379,441	75414,5438	94099,81372	118587,2144	148509,4629	185981,7745	232909,2017	291877,485	365274,3413	457441,3567	572864,208	717410,8582	894429,9166	

Figura 4.3 – Valor do projeto pelo Método Binomial

Após calcular a árvore recombinante, o próximo e último passo é computar o valor da opção de espera (F). Inicia-se com o cálculo *backwards* da árvore binomial. A cada nó, o valor da opção é dado pela seguinte equação:

$$F_n = \max \left( VP_n - I; \frac{F_{n,u}(p) + F_{n,d}(1 - p)}{1 + r} \right) \quad (4.5)$$

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
11262,9	14384,37	18321,7053	23278,16	29506,7368	37322,6064	47118,7505	59385,6147	74735,6508	93933,8675	117935,715	147933,9584	185416,7085	232239,5151	290725,4274	363727,9471	454872,4316	568631,6662	710594,7235	88729,7802	1108724,193	
8232,097	10616,21367	13644,22	17478,4757	22320,4605	28420,3743	36089,3175	45714,7609	57780,1467	72889,5829	91798,6795	115452,6187	145032,806	182013,7292	228231,106	285980,3879	358110,5703	448183,7132	560638,8632	701010,8582	870101,5588	

Figura 4.4 – Valor da Opção de Espera pelo Método Binomial

De acordo com os resultados, o modelo binomial forneceu valores melhores à valoração da opção em tempo contínuo (*Contingent Claims*) de R\$ 11.239.000,00, o que justifica a opção de aguardar por mais informações para executar o investimento em um Parque Eólico.