

Marta Corrêa Dalbem

Análise de Investimentos em Energia Eólica no Brasil

Tese de Doutorado

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração de Empresas da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Administração de Empresas.

Orientador:
Prof. Leonardo Lima Gomes

Co-Orientador:
Pedro Americo Moretz-Shon David

Rio de Janeiro
Setembro de 2010

Marta Corrêa Dalbem

Análise de Investimentos em Energia Eólica no Brasil

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração de Empresas da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Administração de Empresas da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Leonardo Lima Gomes
Orientador

Departamento de Administração – PUC-Rio

Pedro Americo Moretz-Shon David
Co-Orientador

Empresa de Pesquisa Energética - EPE

Prof. Luiz Eduardo Teixeira Brandão
Departamento de Administração – PUC-Rio

Prof. Tara Keshar Nanda Baidya
Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Prof. André Luís Marques Marcato
Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF

Luiz Guilherme Barbosa Marzano
Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL

Prof. Nizar Messari
Vice-Decano de Pós-Graduação do CCS

Rio de Janeiro, 03 de setembro de 2010.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Marta Corrêa Dalbem

Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1983), Mestrado em Administração pela Coppead/UFRJ (1986). Experiência de 20 anos de trabalho em banco comercial multinacional; tem atuado em treinamento e consultoria a empresas, com foco em avaliação de projetos.

Ficha Catalográfica

Dalbem, Marta Corrêa

Análise de investimentos em energia eólica no Brasil / Marta Corrêa Dalbem ; orientador: Leonardo Lima Gomes ; co-orientador: Pedro Americo Moretz-Shon David. – 2010.

198 f. : il. (color.) ; 30 cm

Tese (doutorado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Administração, 2010.

Inclui bibliografia

1. Administração – Teses. 2. Opções reais. 3. Jogos com opções reais. 4. Medida ômega. 5. Risco. 6. Energia eólica. 7. Leilões de energia. 8. Políticas de incentivo. I. Gomes, Leonardo Lima. II. David, Pedro Americo Moretz-Shon. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Administração. IV. Título.

CDD 658

A Abol e Nyleide, que me deram raízes e asas.

A Adriano, Marina e Fernanda, luzes de minha vida.

Agradecimentos

Ao meu orientador, professor Leonardo Lima Gomes, a quem serei para sempre grata pela generosidade com que me acolheu, pela orientação segura, pelo carinho e atenção com que sempre trata seus alunos e orientandos.

Ao meu co-orientador, professor Pedro Americo Moretz-Shon David, pela paciência e inestimável ajuda.

Aos professores André Luís Marques Marcato, Luiz Guilherme Barbosa Marzano, Tara Keshar Nanda Baidya, Luiz Eduardo Teixeira Brandão, por aceitarem participar de minha banca e pelas contribuições valiosas a este trabalho.

Aos professores da PUC-Rio, em especial a Diana Macedo-Soares, Jorge Ferreira, Kátia Rocha, Marcelo Klotzle, Patrícia Tomei, Paulo César Motta, pelo apoio nestes anos de Doutorado.

Ao professor Marco Antônio Dias da PUC-Rio e, novamente, ao professor Leonardo Lima Gomes, que tão generosamente dividiram comigo seus conhecimentos e se tornaram minhas referências do que deve ser um Professor.

Aos meus colegas de Doutorado Carlos de Lamare Bastian Pinto e Graziela Fortunato pela amizade e apoio em momentos difíceis, e aos meus também colegas de Doutorado Maria Paula Valente, Renée Spinelli, Maribel Suarez, Henrique Silva, que tornaram estes anos de estudo prazerosos.

À PUC-Rio, Capes e Faperj pelo apoio financeiro.

A Deus, pela oportunidade de conhecer tantas pessoas especiais e pela ajuda neste caminho, como em tantos outros.

Resumo

Dalbem, Marta Corrêa; Gomes, Leonardo Lima. **Análise de Investimentos em Energia Eólica no Brasil**. Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, p. 198 – Departamento de Administração de Empresas, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Este trabalho foca a política adotada em 2009 no Brasil para a contratação de energia eólica via leilões e seus impactos na decisão de investimento. Dividida em três partes conectadas entre si, esta tese primeiro discute as políticas de incentivo à energia eólica já adotadas no Brasil e em outros países, os benefícios e dificuldades da inserção eólica, identificando os problemas da atual política e propondo alterações. Na segunda parte, analisa-se a decisão sobre que quantidade ofertar em leilões de energia eólica no Brasil, e a que preço, considerando-se o risco do vento e as regras específicas para o segmento eólico adotadas em 2009. Usa-se como critério de decisão a medida $\hat{\Omega}$ (KEATING & SHADWICK, 2002), medida de risco ainda pouco disseminada no mundo corporativo e em especial no segmento eólico. Conclui-se que o setor tem incentivos para participar dos leilões ofertando um pouco mais que a geração esperada do projeto, haja vista que as regras são assimétricas para as situações em que o projeto está desempenhando abaixo ou acima do esperado. O resultado é útil para legisladores e para potenciais investidores em geração eólica no Brasil. Finalmente, considerando-se que alguns projetos de menor potencial eólico sobrepujaram outros de maior viabilidade econômica no leilão, a terceira parte deste trabalho procura identificar até que ponto o cenário incerto e as diferentes visões sobre o futuro podem ter favorecido este resultado. Supondo-se que ganhadores e perdedores do leilão apresentam assimetrias não só em termos do investimento necessário para entrar no mercado e no valor de seus projetos-padrão, mas também na forma como prevêm que o mercado para energia eólica evoluirá no Brasil, a tese analisa este problema à luz da teoria de Jogos com Opções Reais, avaliando a decisão de investir em projetos eólicos em ambiente de incerteza e sob os efeitos de competição. Mais especificamente, usa-se como referencial teórico os trabalhos de Huisman (2001) e Pawlina & Kort (2006) para duopólios assimétricos, estendendo-os de modo a considerar três assimetrias: assimetria no

investimento necessário para entrar no mercado, no fluxo de valor de cada jogador (representado pelo valor dos projetos-padrão que compõem o portfólio de cada jogador), assimetria no processo estocástico utilizado para caracterizar as perspectivas futuras para os projetos eólicos. Análises de sensibilidade do modelo aos parâmetros identificam as situações limite em que se passa a favorecer a entrada no mercado de projetos menos viáveis economicamente e, portanto, com menores chances de serem concretizados. Conclui-se que pequenas discrepâncias na visão de futuro podem ter deixado de fora do leilão empresas com maiores chances de materializarem seus projetos. O risco de preempção de empresas menos viáveis cai quando há menos informação sobre as crenças dos concorrentes, porém ao custo de preços de energia um pouco mais elevados para os consumidores. Observa-se que quando há baixa incerteza e similaridade de crenças, fruto de política governamental mais clara, favorece-se tanto uma tarifa baixa de energia quanto uma indústria eólica mais forte no Brasil.

Palavras- Chave

Opções Reais; Jogos com Opções Reais; Medida Ômega; Risco; Energia Eólica; Leilões de Energia; Políticas de Incentivo; Brasil.

Abstract

Dalbem, Marta Corrêa; Gomes, Leonardo Lima. **Analysis of Investments in Wind Power in Brazil**. Rio de Janeiro, Doctoral Dissertation, 198 p.– Departamento de Administração de Empresas, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

This dissertation focuses on the governmental policy adopted in 2009 to contract wind power energy in Brazil through auctions and its impacts on the decision to invest in the wind power industry, and is organized into three separate but interconnected studies. The first study discusses the incentive policies adopted in Brazil and worldwide and the benefits and difficulties of increasing the stake of wind power in the country, identifying potential problems in the current policy and proposing changes. In the second part, the decision on the optimal amount of power to offer at auctions – and at what price – is analyzed based on the wind risk at the project's site and on the specific rules for wind power in Brazil that were prevailing in 2009. For this purpose, the Omega measure (KEATING & SHADWICK, 2002) was adopted as decision criterion. The use of the Omega measure is still new to the corporate world and has not yet been used in the wind industry. The main conclusion is that entrepreneurs have incentives to sell slightly more than the expected output of the wind farm, given that the purchasing rules are asymmetric for situations in which a farm is underperforming or is above expectations. This result is useful for legislators and potential investors in wind power generation in Brazil. Finally, considering that some projects with lower wind potential have won over others with higher potential, the third part of this work attempts to identify to what extent the uncertain scenario and investors' different outlooks of the market's potential may have influenced this result. Assuming that losers and winners of the auction had asymmetries not only in terms of the investments necessary to enter the market and build their portfolio of wind farms, but also in terms of their views on how the market for wind power will evolve in Brazil, this dissertation analyses this problem in light of the Option-Games Theory, deriving the decision to invest in wind projects under uncertainty and competition. The theoretical frameworks of this analysis are the works by Huisman (2001) and Pawlina & Kort (2006) for asymmetric duopolies, extending

their theory to consider three asymmetries: asymmetry in the investment to enter the market, in the value of each player's portfolio, and asymmetry in the stochastic process adopted by each player to describe the market prospects for wind farms. A sensitivity analysis to the parameters of the model identified the thresholds above which less viable firms preempt the market. The main conclusion is that minor asymmetries in the views about the future may have been sufficient to make more viable firms quit the auction earlier. The risk of less viable firms preempting the market drops when their opponent's beliefs are not known, but at the expense of higher energy prices for consumers. When uncertainty is low and beliefs are symmetric, a feasible scenario when the governmental policy for the sector is clearer, the result can be lower energy tariffs as well as a stronger wind industry in Brazil.

Keywords

Real Options; Option-Games; Omega Measure; Risk; Wind Energy; Energy Auctions; Support Schemes; Brazil.

Sumário

1	Introdução	19
1.1.	Organização da Tese	22
1.2.	Revisão de Literatura	23
2	Análise das Políticas de Incentivo a Eólicas e das Novas Regras Adotadas no Brasil em 2009, à luz da experiência em outros países	25
2.1.	Introdução	25
2.2.	Geração de Energia no Brasil – Breve Histórico e Contextualização	27
2.3.	Riscos e Benefícios de Aumentar a Inserção da Geração Eólica	30
2.4.	Histórico dos Incentivos a Eólicas, no Brasil	37
2.5.	Novas Regras para a Geração Eólica – 2009	42
2.6.	Comparação com as Políticas para Energia Eólica Adotadas em Outros Países	46
2.6.1.	Incentivos à Implantação de Parques Eólicos na Europa	46
2.6.2.	Alemanha	48
2.6.3.	Reino Unido	48
2.6.4.	Espanha	50
2.6.5.	Holanda	50
2.6.6.	França e Irlanda	51
2.6.7.	China	51
2.6.8.	Índia	53
2.6.9.	EUA	53
2.7.	Conclusões e Recomendações	54
2.8.	Referências Bibliográficas	58
3	Decisão sobre como Ofertar Energia Eólica nos Leilões do Brasil, Considerando o Risco do Vento	63
3.1.	Introdução	63
3.2.	Revisão de Literatura	65

3.2.1. Avaliação de Projetos	65
3.2.2. Medidas de Risco e Escolha de Carteiras	67
3.3. Leilões de Energia no Brasil e Regras de Contratação do Leilão 2009 para Eólicas	71
3.3.1. Histórico dos Leilões de Energia	71
3.3.2. Regras de Contratação do Leilão de Eólica 2009	72
3.4. Fluxo de Caixa: Premissas Adotadas	75
3.4.1. Investimento (<i>Capex</i>)	76
3.4.2. Quantidade Gerada de Energia e Receita de Vendas	77
3.4.3. Custos de Operação e Manutenção	77
3.4.4. Custos de Transmissão e Distribuição	78
3.4.5. Receitas de Créditos de Carbono	78
3.4.6. Despesas Financeiras	78
3.4.7. Tributação	78
3.4.8. Custo de Capital	79
3.4.9. Resumo das Premissas Adotadas	80
3.5. Simulações dos Ventos e dos VPLs dos Parques Eólicos	81
3.6. Decisão de Contratação com Base na Maximização da Medida Ômega	83
3.6.1. O Problema a Ser Resolvido	83
3.6.2. Exemplo Numérico	84
3.7. Conclusões	92
3.8. Referências Bibliográficas	94
4 Leilões de Energia Eólica no Brasil: Análise dos Resultados com Base na Teoria de Jogos com Opções Reais	105
4.1. Introdução	106
4.2. Revisão de Literatura	109
4.2.1. Opções Reais	109
4.2.2. Teoria dos Jogos	113
4.2.2.1. Caracterização do Jogo	114
4.2.2.2. Solução do Jogo	116
4.2.3. Jogos com Opções Reais (<i>Option-Games</i>)	118

4.2.3.1. Literatura & Referencial Teórico	118
4.2.3.2. Solução de Jogos com Opções Reais Envolvendo Duopólios Assimétricos	120
4.3. Incertezas do Mercado de Energia Eólica no Brasil e Possíveis Condições de Assimetria entre os Concorrentes	126
4.4. O Problema, Modelado Como Um Duopólio Em Que Há Três Assimetrias	129
4.4.1. Premissas Básicas	129
4.4.2. Cenários/Modelos Considerados	135
4.4.3. Modelo 1 – Ambas Adivinham Corretamente	136
4.4.3.1. Empresa <i>i</i> é o Líder, Empresa <i>j</i> é o Seguidor	136
4.4.3.2. Empresa <i>j</i> é o Líder, Empresa <i>i</i> é o Seguidor	143
4.4.4. Modelo 2 – Ambas Adivinham Erroneamente – o Impacto da Falta de Informação Sobre as Crenças do Concorrente	144
4.4.4.1. Empresa <i>i</i> como Líder, Empresa <i>j</i> como Seguidor	145
4.4.4.2. Empresa <i>j</i> como Líder, Empresa <i>i</i> como Seguidor	146
4.5. Aplicação do Modelo e Discussão dos Resultados	146
4.5.1. Aplicação do Modelo	146
4.5.2. Discussão dos Resultados	150
4.5.2.1. Cenário-Base	150
4.5.2.2. Modelo 1	153
4.5.2.3. Modelo 2	159
4.6. Conclusões e Recomendações	166
4.7. Referências Bibliográficas	168
5 Conclusões e Recomendações para Futuras Pesquisas	180
6 Referências Bibliográficas Consolidadas	187

Lista de figuras

Figura 2.1: Impacto de Eólicas e Outras Fontes Renováveis no Preço da Energia, Conforme o Nível dos Reservatórios das Hidrelétricas	32
Figura 2.2: Velocidade dos Ventos em Praia das Neves-ES, versus Demanda Média Total por Energia Elétrica ao Longo do Dia, no Brasil	33
Figura 2.3: Geração Eólica Potencial na Região NE, versus a Vazão Natural do Rio São Francisco no Reservatório da Hidrelétrica de Sobradinho	34
Figura 2.4: Geração Eólica que Seria Obtida via Parque Eólico de 50 MW em Palmas, Comparado com a Geração Hidrelétrica na Região SE	34
Figura 2.5: Balanço Energético do Subsistema NE	35
Figura 2.6: Balanço Energético do Subsistema S	35
Figura 2.7: Balanço Energético do Subsistema SE-CO	36
Figura 2.8: Principais Geradoras de Energia Elétrica no Brasil e Parques Eólicos PROINFA 1 (ago 2009)	41
Figura 2.9: Evolução da Política de Apoio a Fontes Renováveis na Europa, por Tipo de Incentivo, e Índice de Eficácia de Cada País para Eólicas <i>On-shore</i>	47
Figura 2.10: Remuneração da Energia Eólica na Europa, em Euros/ MWh, em 2006	47
Figura 3.1: Exemplo de Cálculo da Medida Ômega, Considerando-se que a Meta L é Igual a 10.	69
Figura 3.2: Medida Ômega Como a Divisão de Dois Valores Esperados: ganho esperado no trecho só de ganhos/perda esperada no trecho só de perdas = $EC(L)/ES(L)$	69
Figura 3.3: Esquema de Comercialização dos Leilões de Energia de Reserva (LER)	73
Figura 3.4: Exemplo de Parque Submetido às Regras do Leilão 2009. Fonte: elaboração própria	75
Figura 3.5: Exemplo de Simulação da Série Sintética de Ventos e dos VPLs do Parque Eólico	82
Figura 3.6: VPL Médio Obtido nas 1000 Simulações, para Diferentes Níveis de Preço e Oferta.	84

Figura 3.7: VPL Médio e <i>VaR</i> 95%,99% para o Caso EOL NE, ao Preço R\$ 148/MWh.	85
Figura 3.8: Distribuição de VPLs no Caso EOL NE, Preço R\$ 148/MWh.	86
Figura 3.9: Decisão Ótima em Cada Critério; Caso EOL NE, Preço R\$ 148/MWh.	86
Figura 3.10: EOL NE, Preço R\$ 148/MWh, Submetido a uma Série de Ventos Fracos	88
Figura 3.11: EOL NE, Preço R\$ 148/MWh, Submetido a uma Série de Ventos Fortes	89
Figura 3.12: Medida Ômega, prob. $VPL < 0$ e P90 para EOL NE, ao Preço de R\$ 148/MWh	90
Figura 3.13: Curva dos Ômegas Ótimos para os Diversos Níveis de Preço e os Respective Percentuais Ótimos.	91
Figura 4.1: Momento de Investir, Conforme Recomendado pelo Método do FCD e pela TOR	112
Figura 4.2: Valor de uma Empresa em Situação de Monopólio e já em Situação de Duopólio, segundo o Método do Fluxo de Caixa Descontado.	121
Figura 4.3: Curva de Valor do Líder em um Duopólio.	123
Figura 4.4: Curvas de valor como Líder e como Seguidor de uma das Empresas do Duopólio.	123
Figura 4.5: Entrada do Líder Quando não Há Ameaça de que o Oponente Entrará Antes como Líder no Mercado	124
Figura 4.6: Curvas de Valor das Duas Empresas do Duopólio.	125
Figura 4.7: Distribuição de Frequências dos Ganhadores & Perdedores do Leilão 2009, por Garantia Física/Potência Instalada	128
Figura 4.8: Resultado das Projeções do FVE Esperado do Projeto-Padrão de Cada Empresa, Quando Sujeitos à Variação no Preço Contratado da Energia	150
Figura 4.9: Curvas de Valor no Cenário-Base, Horizonte de Investimentos=5anos	151
Figura 4.10: Curvas de Valor no Cenário-Base, Horizonte Infinito de Investimentos	152
Figura 4.11: Curvas de Valor Quando o Cenário-Base é Alterado de	

Modo a Refletir Assimetria na Volatilidade dos FVEs, Horizonte=5 anos	154
Figura 4.12: Curvas de Valor Quando o Cenário-Base é Alterado de Modo a Refletir Assimetria na Tendência dos FVEs. Horizonte=5anos	155
Figura 4.13: Curvas de Valor Quando o Cenário é Equivalente ao da Figura 4.12, Porém Alterado de Modo a Refletir Maior Assimetria no Custo de Entrada no Mercado	156
Figura 4.14: Curvas de Valor Quando o Cenário é Equivalente ao Cenário-Base, Exceto no Que se Refere ao α_j , Agora Arbitrado em -5%	157
Figura 4.15: Curvas de Valor Quando o Cenário é Equivalente ao Cenário-Base, Exceto no que se Refere ao α_i , Agora Arbitrado em -29%	158
Figura 4.16: Parâmetros Que Influenciam as Equações de Valor Como Líder e Como Seguidor, Para Diferentes Valores de α e σ	159
Figura 4.17: Curvas de Valor Quando: (a) os Jogadores Conhecem a Visão de Futuro do Competidor; (b) Cada Jogador Assume Que o Competidor Tem a Mesma Visão de Futuro do Competidor; (b) Cada Jogador Assume Que o Competidor Tem a Mesma Visão de Futuro que a Sua Própria	160
Figura 4.18: Gatilho para Investir, Como Monopolista ou Como Líder, e Respectiveivos Valores em Cada Caso (Miopia de Leahy)	175

Lista de tabelas

Tabela 2.1: Capacidade Instalada de Geração de Energia Elétrica no Brasil, Por Fonte	26
Tabela 3.1: Resumo das Premissas Adotadas	80
Tabela 4.1: Resumo das Características de Cada Empresa do Duopólio:	133
Tabela 4 .2: Cenários a Serem Modelados	135
Tabela 4.3: Cenário-Base para Cada Empresa, no Qual não Há Assimetria Quanto à Visão de Futuro	149
Tabela 4.4: Comparando o Modelo 1 e o Modelo 2, Para um Conjunto Específico de Parâmetros	162
Tabela 4.5: Resultados Previstos pelos Modelos 1 e 2, em Diversos Cenários	164
Tabela 4.6: Resumo dos Resultados, Para Diferentes Visões de Futuro dos Jogadores	165

Lista de Siglas e Abreviaturas

ABEólica – Associação Brasileira de Energia Eólica
ACL – Ambiente de Contratação Livre
ACR – Ambiente de Contratação Regulada
AFRRM – Adicional de Frete para a Renovação da Marinha Mercante
AMC – Análise Multi-Critério
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
ARIMA – *Auto-Regressive Integrated Moving Average*
ARMA – *Auto-Regressive Moving Average*
AWEA – *American Wind Energy Association*
BNB – Banco do Nordeste do Brasil
BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CALL – Opção de Compra
CanWEA – *Canadian Wind Energy Association*
CAPEX – *Capital Expenditures* – Investimentos de Capital (Ativo Fixo & outros)
CAPM – Capital Asset Pricing Model
CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CER – Contratos de Energia de Reserva
COFINS – Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CONER – Conta de Energia de Reserva
CONUER – Contrato de Uso de Energia de Reserva
EER – Encargo de Energia de Reserva
EWEA – *European Wind Energy Association*
FCD – Fluxo de Caixa Descontado
FCLA – Fluxo de Caixa Livre para o Acionista
FCLP – Fluxo de Caixa Livre do Projeto
FVE – Fluxo de Valor da Empresa
GWEC – *Global Wind Energy Council*
ICSD – Índice de Cobertura do Serviço da Dívida
ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de

Serviços

IGPM – Índice Geral de Preços do Mercado

IOF – Imposto sobre Operações Financeiras (de Crédito, Câmbio e Seguros)

IPCA – Índice de Preços ao Consumidor Ampliado

IPI – Imposto sobre Produtos Industrializados

IR – Imposto de Renda

LAJIDA – Lucro Antes dos Juros, Imposto de Renda, Depreciação & Amortização

LER – Leilão de Energia de Reserva

MAE – Mercado Atacadista de Energia

MGB – Movimento Geométrico Browniano

MME – Ministério de Minas e Energia

MRM – Movimento de Reversão à Média

PASEP – Programa de Formação do Patrimônio do Servidor

PCH – Pequena Central Hidrelétrica

PDEE – Plano Decenal de Expansão de Energia

PIB – Produto Interno Bruto

PIS – Programa de Integração Social

PROINFA- Programa de Incentivo a Fontes Alternativas

SEB – Setor Elétrico Brasileiro

SIN – Sistema Interligado Nacional

SMC – Simulação de Monte Carlo

S&P – Standard & Poor's

TJLP – Taxa de Juros de Longo Prazo

TOR – Teoria das Opções Reais

UNFCCC – *United Nations Framework Convention on Climate Change*,
Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima

VaR , V@R - Value At Risk

VETEF – Valor Econômico de Tecnologia Específica

VPL – Valor Presente Líquido

WWEA – World Wind Energy Association