



Rodrigo Corrêa Torres

**Avaliação de Portfolios de Contratos
de Compra e Venda de Energia Elétrica:
Uma Abordagem pela Teoria de Opções**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Industrial.

Orientador: Tara Keshar Nanda Baidya

Rio de Janeiro
Janeiro de 2006



Rodrigo Corrêa Torres

**Avaliação de Portfolios de Contratos
de Compra e Venda de Energia Elétrica:
Uma Abordagem pela Teoria de Opções**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Tara Keshar Nanda Baidya
Orientador
DEI – PUC-Rio

Prof. Carlos Patrício Samanez
DEI – PUC-Rio

Prof. Leonardo Lima Gomes
Fucape - Vitória

Prof. José Eugênio Leal
Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 05 de Janeiro de 2006

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

Rodrigo Corrêa Torres

Graduou-se em Engenharia Civil na Universidade Federal do Rio de Janeiro em 1999. Durante o período de graduação, estagiou em diversas empresas e foi bolsista CNPQ. Pós-graduou-se em administração na U.C. Berkeley em 2000. Trabalhou no Cepel durante quatro anos em projetos relacionados à avaliação de empreendimentos no setor elétrico brasileiro. Atualmente trabalha como analista comercial na NC Energia.

Ficha Catalográfica

Torres, Rodrigo Corrêa

Avaliação de portfolios de contratos de compra e venda de energia elétrica: uma abordagem pela teoria de opções / Rodrigo Corrêa Torres ; orientador: Tara Keshar Nanda Baidya. – Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Engenharia Industrial, 2005.

117 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia industrial – Teses. 2. Avaliação de Portfolios. 3. Análise de Risco. 4. Simulação de Monte Carlo. 5. Avaliação de Opções. I. Baidya, Tara Keshar Nanda. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

Agradecimentos

Aos meus pais Manoel e Vera Lúcia, minha irmã Ana Paula e meu irmão Renan, pelo carinho, pela paciência e todo apoio dado durante o mestrado.

Ao meu orientador, Professor Tara Keshar Nanda Baidya e a Leonardo Lima Gomes pelo estímulo e pela colaboração neste trabalho.

Aos professores José Paulo Teixeira e Carlos Patrício Samanez pelos ensinamentos dados.

A Albert C. Geber Melo e a Fabio Rodrigo Siqueira Batista pelo incentivo dado em iniciar este programa de mestrado.

Aos amigos do Cepel, pela ajuda e amizade ao longo deste curso.

Aos amigos do mestrado, pelo companheirismo e união.

Aos funcionários do DEI, pela ajuda e amizade ao longo deste curso.

Resumo

Torres, Rodrigo Corrêa; Baidya, Tara Keshar Nanda. **Avaliação de Portfólios de Contratos de Compra e Venda de Energia Elétrica: Uma Abordagem pela Teoria de Opções**. Rio de Janeiro, 2006. 117p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O Ambiente de Contratação Livre proporcionou uma continuidade do processo de livre concorrência de mercado iniciado com a reestruturação do setor elétrico em 1997. A mudança de um regime baseado em contratos de suprimento renováveis para uma estrutura baseada em preços dados por um mercado competitivo, expõe as empresas do setor elétrico brasileiro à volatilidade do mercado de eletricidade. Neste novo ambiente, as empresas devem gerenciar os riscos associados às suas operações. Devido às características singulares do setor elétrico brasileiro, o gerenciamento de risco é um grande desafio para os próximos anos. Por outro lado, com a liberdade de negociação permitida pelo segmento de comercialização de energia no Ambiente de Contratação Livre, os contratos de compra e venda de energia elétrica passaram a adaptar-se às necessidades de mercado com a incorporação de flexibilidades que viessem a mitigar os riscos com relação à demanda por energia elétrica e principalmente com relação ao preço. Dentro desse contexto, foi desenvolvido um modelo de avaliação de portfólio de contratos de compra e venda de energia elétrica, incorporando as flexibilidades inerentes à atividade de comercialização, de forma a quantificar os riscos associados a esta atividade e determinar o valor adicionado ao portfólio pelas flexibilidades. O caso estudado é fictício, mas é um exemplo típico na área de comercialização de energia elétrica dentro deste novo modelo.

Palavras-chave

Avaliação de Portfólios; Análise de Risco; Simulação de Monte Carlo; Avaliação de Opções.

Abstract

Torres, Rodrigo Corrêa; Baydia, Tara Keshar Nanda. **Portfolio Valuation of Electricity Contracts: an Options Theory Approach**. Rio de Janeiro, 2006. 117p. MSc. Dissertation - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The Free Contracts Environment enabled continuity of the free market competition process which started with the electric sector restructure in 1997. The shift from a regime based on renewable supply contracts to a structure based on prices established by competition exposes companies in the Brazilian electric sector to the volatility of the electricity market. In this new environment companies must manage the risks associated to the operations. The Brazilian electric sector singular features make risk management a great challenge for ensuing years. On the other hand, with free negotiation enabled by the energy trade segment within the free contracts environment, electric energy purchase and sale contracts started to adapt to the market needs incorporating flexibilities designed to face uncertainty regarding electric energy demand in general and prices in particular. Within this context, an electric energy purchase and sale portfolio valuation model was developed, incorporating the flexibilities inherent to commercialization activities, in order to quantify the risks associated with this activity and establish the value added to the portfolio by the flexibilities. The case studied is fictitious, but typical in the field of electric energy trading within this new model.

Keywords

Portfolio Valuation; Risk Analysis; Monte Carlo Simulation; Options Valuation.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	13
2 AVALIAÇÃO DE PORTFOLIOS NA ÁREA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	20
2.1. A Nova Estrutura de Comercialização	21
2.2. Formação do Preço de Liquidação de Diferenças e do Preço de Contratos Bilaterais	23
2.3. Contratos de Compra e Venda de Energia Elétrica	31
2.4. Avaliação de Ativos e Gerenciamento de Risco	37
3 BASE TEÓRICA	40
3.1. Risco e Retorno de Carteiras	40
3.2. Métricas de Risco	43
3.2.1. Value at Risk (VaR)	44
3.2.2. Conditional Value at Risk (CVaR)	48
3.3. Opções Financeiras	50
3.3.1. Simulação de Monte Carlo para Avaliação de Opções Europeias	55
3.3.2. Teoria das Opções Aplicada ao Setor Elétrico Brasileiro	58
4 MODELAGEM MATEMÁTICA	60
4.1. Simulação do Preço de Liquidação de Diferenças (PLD)	60
4.2. Incerteza com Relação ao Consumo de Energia	65
4.3. Cálculo do Valor Esperado do Portfolio	68
4.4. Cálculo dos Valores em Risco	74

4.5. Cálculo do Valor Adicionado pelas Flexibilidades nos Contratos de Compra	75
5 EXEMPLO NUMÉRICO	79
5.1. Premissas do Exemplo Numérico	80
5.2. Análise de Risco e Valor do Portfolio	84
5.2.1. Sensibilidade sobre a Taxa de Desconto	86
5.2.2. Sensibilidade sobre a Flexibilidade dos Contratos de Compra	87
5.2.3. Sensibilidade sobre o Nível de Confiança do VaR e do CVaR	88
5.2.4. Sensibilidade sobre o Número de Simulações do MAB	89
5.2.5. Risco Volumétrico	91
5.3. Precificação das Flexibilidades nos Contratos de Compra de Energia Elétrica	92
5.3.1. Sensibilidade sobre a Taxa de Desconto	97
5.3.2. Sensibilidade Sobre o Preço dos Contratos de Curto Prazo	98
6 CONCLUSÕES E PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	99
6.1. Trabalhos Futuros	103

Lista de Figuras

FIGURA 2.1 - ESTRUTURA DE COMERCIALIZAÇÃO NO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO	22
FIGURA 2.2 - EVOLUÇÃO DO MERCADO LIVRE NA EUROPA	22
FIGURA 2.3 – PROCESSO DE DECISÃO PARA SISTEMAS HIDROTÉRMICOS	26
FIGURA 2.4 – FUNÇÕES DE CUSTO IMEDIATO E FUTURO X ARMAZENAMENTO	26
FIGURA 2.5 – USO ÓTIMO DA ÁGUA EM SISTEMAS HIDROTÉRMICOS	27
FIGURA 2.6 – EVOLUÇÃO DOS PLDS	30
FIGURA 2.7 – OPÇÃO DE COMPRA E VENDA	34
FIGURA 2.8 – PORTFOLIO	34
FIGURA 2.9 – EXERCÍCIO DA OPÇÃO DE VENDA	34
FIGURA 2.10 – EXERCÍCIO DA OPÇÃO DE COMPRA	35
FIGURA 2.11 – HISTÓRICO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA – INDÚSTRIA QUÍMICA	36
FIGURA 2.12 – TAKE OR PAY – CONTRATOS DE VENDA	37
FIGURA 2.13 – EXPOSIÇÃO DE CONTRATOS	39
FIGURA 4.1 – DISTRIBUIÇÃO DE PLDS	64
FIGURA 4.2 – MAB PARA O CONSUMO DE ENERGIA	68
FIGURA 5.1 – ÁGIO SOBRE O PLD (%)	80
FIGURA 5.2 – PORTFOLIO DE CONTRATOS DE COMPRA E VENDA	82
FIGURA 5.3 – PROJEÇÃO DE PLDS – SUBMERCADO SUDESTE	83
FIGURA 5.4 – PROJEÇÃO DE PLDS – SUBMERCADO NORDESTE	83
FIGURA 5.5 – PROJEÇÃO DE PLDS – SUBMERCADO SUL	84
FIGURA 5.6 – RISCO E RETORNO DO PORTFOLIO – CASO BASE	85
FIGURA 5.7 – SENSIBILIDADE SOBRE A TAXA DE DESCONTO	86
FIGURA 5.8 – SENSIBILIDADE SOBRE A FLEXIBILIDADE DOS CONTRATOS DE COMPRA – RETORNO ESPERADO	87
FIGURA 5.9 – SENSIBILIDADE SOBRE A FLEXIBILIDADE DOS CONTRATOS DE COMPRA – MÁXIMO VAR E CVAR	87

FIGURA 5.10 – SENSIBILIDADE SOBRE O NÍVEL DE CONFIANÇA DO VAR E DO CVAR	88
FIGURA 5.11 – PERFIL DE RISCO DO AGENTE PARA DIFERENTES NÍVEIS DE CONFIANÇA	89
FIGURA 5.12 – CONVERGÊNCIA DAS ESTIMATIVAS DE VP – DESVIO PADRÃO	90
FIGURA 5.13 – CONVERGÊNCIA DAS ESTIMATIVAS DE VP – COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	90
FIGURA 5.14 – LIMITES MÁXIMO E MÍNIMO DOS CONTRATOS DE VENDA	91
FIGURA 5.15 – VALOR TOTAL DAS OPÇÕES (MILHÕES R\$)	94
FIGURA 5.16 – CONTABILIZAÇÃO MENSAL DO PORTFOLIO	96
FIGURA 5.17 – SENSIBILIDADE SOBRE A TAXA DE DESCONTO	97
FIGURA 5.18 – SENSIBILIDADE SOBRE O PREÇO DO CONTRATO DE CURTO PRAZO	98

Lista de Tabelas

TABELA 2-1 – DESPACHO RESULTANTE DA PRIMEIRA HORA	24
TABELA 2-2 – DESPACHO RESULTANTE DA SEGUNDA HORA	24
TABELA 2-3 – ESTRATÉGIA ALTERNATIVA DE OPERAÇÃO	25
TABELA 3-1 – EFEITO NO PREÇO DAS OPÇÕES	51
TABELA 5-1– CONTRATOS DE COMPRA	81
TABELA 5-2– CONTRATOS DE VENDA	81
TABELA 5-3– ESTATÍSTICAS DE VALOR ESPERADO E VALORES EM RISCO	86
TABELA 5-4– RISCO VOLUMÉTRICO	92
TABELA 5-5– VALOR PRESENTE DO PORTFOLIO	93
TABELA 5-6– VALOR DAS OPÇÕES (R\$/MWH)	95

Lista de Abreviações

ACL	- Ambiente de Contratação Livre
ACR	- Ambiente de Contratação Regulado
ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
CCEE	- Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CMO	- Custo Marginal de Operação
ONS	- Operador Nacional do Sistema Elétrico
PLD	- Preço de Liquidação de Diferenças