



Iago Emanuel Barbosa da Costa Veiga

**Otimização de uma carteira de swaps de energia elétrica
no Brasil, usando a medida ômega com restrição de cVaR**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-
graduação em Administração de Empresas da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Leonardo Lima Gomes

Rio de Janeiro
Abril de 2012



Iago Emanuel Barbosa da Costa Veiga

**Otimização de uma carteira de swaps de energia elétrica
no Brasil, usando a medida ômega com restrição de cVaR**

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

Prof. Leonardo Lima Gomes

Orientador

Departamento de Administração – PUC-Rio

Prof. Luiz Eduardo Teixeira Brandão

Departamento de Administração - PUC-Rio

Prof. Carlos de Lamare Bastian Pinto

UniGranRio

Prof^a. Mônica Herz

Vice-Decana de Pós-Graduação do CCS

Rio de Janeiro, 3 de abril de 2012

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

Iago Emanuel Barbosa da Costa Veiga

Graduou-se em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 2009. Engenheiro de Produção na Petrobras, empresa brasileira atuante na indústria de petróleo e energia.

Ficha Catalográfica

Veiga, Iago Emanuel Barbosa da Costa

Otimização de uma carteira de Swaps de energia elétrica no Brasil, usando a medida ômega com restrição de CVaR / Iago Emanuel Barbosa da Costa Veiga ; orientador: Leonardo Lima Gomes. – 2012.

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

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Administração, 2012.

Inclui bibliografia

1. Administração – Teses. 2. Swap de energia elétrica. 3. Medida ômega. 4. CVaR. I. Gomes, Leonardo Lima. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Administração. III. Título.

CDD: 658

Para meus pais,
Ana Luiza e José Antônio,
pelo apoio e confiança.

Agradecimentos

Ao Professor Leonardo Lima por sua orientação, paciência, confiança e contribuição para o amadurecimento da minha formação acadêmica e, especialmente, na realização deste trabalho.

A PUC-Rio pelo auxílio concedido, sem os quais esse trabalho não poderia ter sido realizado.

Aos meus pais, Ana Luiza e José Antônio, por seu amor, dedicação e exemplo de vida que contribuíram, de forma inestimável, para a minha formação profissional e como ser humano.

A minha irmã Jordana pela ajuda e motivação.

Aos amigos Antônio, Felipe, Hugo e Rafael por todo apoio, paciência e compreensão.

A todos os amigos e familiares que de alguma forma ou de outra me estimularam ou me ajudaram.

Resumo

Veiga, Iago Emanuel Barbosa da Costa Veiga; Gomes, Leonardo Lima (Orientador). **Otimização de uma carteira de *Swaps* de energia elétrica no Brasil, usando a medida Ômega com restrição de CVaR**. Rio de Janeiro, 2012. 87 p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O mercado brasileiro de energia elétrica é composto basicamente de matrizes hidroelétricas e termoeletricas, sendo que seu fornecimento pode ser contratado em dois ambientes, um de contratação regulamentada e outro livre. Dessa forma o apetrechamento da energia é algo complexo e com incertezas, pois seu modelo leva em consideração comportamentos de afluências futuras, além de estimar a utilização de termoeletricas, que possuem fontes de energia mais caras. No Brasil, existem quatro submercados que podem ter preços divergentes. Algumas comercializadoras se utilizam dessa diferença buscando aferir ganhos extraordinários fazendo *Swaps*. Essa operação consiste em compra e venda de uma mesma quantidade de energia com liquidação fixada em uma determinada data com o preço à vista entre diferentes submercados. Essas empresas utilizam medidas de otimização de carteiras e controle de risco para fazerem operações ótimas, onde há maior probabilidade de maximizar o lucro, tendo o prejuízo máximo sob controle. Esse trabalho tem como objetivo encontrar a carteira de *Swaps* de energia que maximiza a medida Ômega, usada como avaliador de desempenho, tendo uma expectativa de lucro e com uma restrição de risco com um limite para o *Conditional Value at Risk* (CVaR), assim auxiliando as comercializadoras a maximizarem seu lucro não ultrapassando seu limite de risco. O estudo levou em consideração valores de previsão reais feitos por modelos fornecidos por órgãos especializados, levando em consideração os dados para os anos de 2012 e 2013 sendo estudadas todas as combinações possíveis de *Swaps* para a composição da carteira ótima para cada um dos anos estudados. A carteira ótima foi encontrada, no entanto, pode-se concluir que sua composição varia de acordo com os dados simulados não existindo assim uma carteira ótima única devendo essa ser calculada caso a caso.

Palavras-chave

Swap de Energia Elétrica; Medida Ômega; CVaR

Abstract

Veiga, Iago Emanuel Barbosa da Costa Veiga; Gomes, Leonardo Lima (Advisor). **Optimization of a portfolio of electric energy swaps in Brazil using the Omega measurement with CVaR constraints.** Rio de Janeiro, 2012. 87 p. MSc. Dissertation - Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The Brazilian energy market is composed basically by hydroelectric and thermoelectric energy sources, which can be contracted in two different environments, one regulated and the other free. In this way, the pricing of energy is something complex and uncertain, because its model takes in consideration the behavior of future water affluences, besides estimating the more expensive thermal units. In Brazil, there are four submarkets that have diverging prices and some traders use this difference to reach extraordinary gains by entering into Swap operations. This operation consists of buying and selling a same amount of energy with its liquidation fixed at pre-determined date, at a spot price between different submarkets. These companies use portfolio optimization and risk management methods to reach optimal operations, in which there is a greater probability of maximizing profits, while measuring risk. This study aim to find the portfolio of Swaps that`s maximize the Omega measurement as the performance measurement, has a estimated profit and uses the conditional Value at Risk (CVaR) as the restriction for the risk that can be taken. Its objective is to help traders maximize their profit without exceeding their risk limit. The study took in consideration values from real previsions made by models provided by specialized agencies, taking in consideration all the data for the years of 2012 and 2013, with all the combinations of Swaps being studied. The optimal portfolio was achieved in both cases however, it`s possible to conclude that this composition varies according the input data, not existing thereby a unique optimal portfolio should that be calculated by case.

Keywords

Electric Energy Swap; Omega Measurement; CVaR

Sumário

| | |
|---|----|
| 1 Introdução | 14 |
| 2 Características do Mercado Brasileiro de Energia Elétrica | 20 |
| 2.1. O Setor Elétrico Brasileiro | 20 |
| 2.1.1. A Reforma do Setor Elétrico Brasileiro | 20 |
| 2.1.2. O Atual Modelo do Setor Elétrico | 22 |
| 2.2. O Preço de Liquidação de Diferenças | 24 |
| 2.3. O Ambiente de Contratação Livre | 26 |
| 2.4. A Formatação dos Contratos de Energia | 28 |
| 3 Revisão de Literatura e Conceituação da Medida Ômega | 29 |
| 3.1. Avaliação de Carteiras | 29 |
| 3.2. Valor em Risco (VaR) | 32 |
| 3.3. Conditional Value at Risk (CVaR) | 33 |
| 3.4. Medida Ômega | 34 |
| 3.4.1. Cálculo da medida Ômega | 35 |
| 4 Metodologia | 37 |
| 4.1. Cálculo da simulação dos PLDs | 40 |
| 4.2. Construção dos <i>Swaps</i> de energia elétrica entre diferentes submercados | 40 |
| 4.3. Maximização da medida Ômega com carteira de <i>Swaps</i> Otimizada | 41 |
| 4.4. Simulação de valores para a análise das sensibilidades | 42 |
| 5 Apresentação e análise dos resultados | 44 |
| 5.1. Simulação dos PLDs | 44 |
| 5.2. <i>Swaps</i> de energia elétrica entre submercados | 51 |
| 5.3. Maximização da medida Ω para a Carteira de <i>Swaps</i> | 60 |
| 5.4. Análise das sensibilidades | 68 |
| 5.4.1. Sensibilidade Ω x L | 68 |

| | |
|-----------------------------------|----|
| 5.4.2. Sensibilidade Ω x M | 72 |
| 5.4.3. Sensibilidade CVaR95% x M | 77 |
| 6 Conclusões | 83 |
| 7 Referência Bibliográfica | 86 |

Lista de tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - <i>Swaps</i> do ano 2012 | 41 |
| Tabela 2 - <i>Swaps</i> do ano 2013 | 41 |
| Tabela 3 - Estatísticas descritivas dos PLDs de 2012 | 45 |
| Tabela 4 - Estatísticas descritivas dos PLDs de 2013 | 45 |
| Tabela 5 - Estatísticas descritivas dos <i>Swaps</i> com valor esperado positivo de 2012 | 52 |
| Tabela 6 - Estatísticas descritivas dos <i>Swaps</i> com valor esperado positivo de 2013 | 53 |
| Tabela 7 - <i>Swaps</i> otimizados individualmente para $L = R\$ 100.000,00$ | 60 |
| Tabela 8 - <i>Swaps</i> otimizados individualmente para $L = R\$ 10.000,00$ | 61 |
| Tabela 9 - Carteiras otimizadas de 2012 | 62 |
| Tabela 10 - Carteiras otimizadas de 2013 | 63 |
| Tabela 11 - Carteiras escolhidas em 2012 e 2013 | 64 |
| Tabela 12 - Estatísticas descritivas da carteira otimizada de 2012 | 64 |
| Tabela 13 - Valores que compõem o histograma dos retornos da carteira ótima de 2012 | 65 |
| Tabela 14 - Estatísticas descritivas da carteira otimizada de 2013 | 66 |
| Tabela 15 - Valores quem compõem o histograma dos retornos da carteira ótima de 2013 | 67 |
| Tabela 16 - Sensibilidade de $\Omega \times L$ para os <i>Swaps</i> de 2012 | 69 |
| Tabela 17 - Sensibilidade de $\Omega \times L$ para os <i>Swaps</i> de 2013 | 70 |
| Tabela 18 - Sensibilidade de $\Omega \times L$ para carteiras otimizadas de 2012 e 2013 | 72 |
| Tabela 19 - Sensibilidade de $\Omega \times M$ para os <i>Swaps</i> de 2012 | 73 |
| Tabela 20 - Sensibilidade de $\Omega \times M$ para os <i>Swaps</i> de 2013 | 74 |
| Tabela 21 - Sensibilidade de $\Omega \times M$ para carteiras otimizadas de 2012 e de 2013 | 76 |
| Tabela 22 - Sensibilidade de CVaR95% $\times M$ para <i>Swaps</i> de 2012 | 78 |
| Tabela 23 - Sensibilidade de CVaR95% $\times M$ para <i>Swaps</i> de 2013 | 79 |
| Tabela 24 - Sensibilidade de CVaR95% $\times M$ para carteiras otimizadas | |

Lista de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Novo Modelo do Setor Elétrico: Organograma das Principais Instituições | 22 |
| Figura 2 - Custo imediato e futuro, e uso ótimo da água, respectivamente. | 25 |
| Figura 3 - Visão geral da comercialização de energia. | 26 |
| Figura 4 - Comparação entre VaR e cVaR | 34 |
| Figura 5 - Cálculo da Medida Ômega | 35 |
| Figura 6 - Histograma dos PLDs do submercado Nordeste para 2012 | 47 |
| Figura 7 - Histograma dos PLDs do submercado Norte para 2012 | 47 |
| Figura 8 - Histograma dos PLDs do submercado Sudeste para 2012 | 48 |
| Figura 9 - Histograma dos PLDs do submercado Sul para 2012 | 48 |
| Figura 10 - Histograma dos PLDs do submercado Nordeste para 2013 | 49 |
| Figura 11 - Histograma dos PLDs do submercado Norte para 2013 | 49 |
| Figura 12 - Histograma dos PLDs do submercado Sudeste para 2013 | 50 |
| Figura 13 - Histograma dos PLDs do submercado Sul para 2013 | 50 |
| Figura 14 - Histograma do <i>Swap</i> Nordeste Norte de 2012 | 54 |
| Figura 15 - Histograma do <i>Swap</i> Sudeste Nordeste de 2012 | 54 |
| Figura 16 - Histograma do <i>Swap</i> Sudeste Sul de 2012 | 55 |
| Figura 17 - Histograma do <i>Swap</i> Sudeste Norte de 2012 | 55 |
| Figura 18 - Histograma do <i>Swap</i> Sul Nordeste de 2012 | 56 |
| Figura 19 - Histograma do <i>Swap</i> Sul Norte de 2012 | 56 |
| Figura 20 - Histograma do <i>Swap</i> Nordeste Norte de 2013 | 57 |
| Figura 21 - Histograma do <i>Swap</i> Sudeste Sul de 2013 | 57 |
| Figura 22 - Histograma do <i>Swap</i> Sudeste Nordeste de 2013 | 58 |
| Figura 23 - Histograma do <i>Swap</i> Sul Nordeste de 2013 | 58 |
| Figura 24 - Histograma do <i>Swap</i> Sudeste Norte de 2013 | 59 |
| Figura 25 - Histograma do <i>Swap</i> Sul Norte de 2013 | 59 |
| Figura 26 - Histograma dos retornos da carteira ótima de 2012 | 65 |
| Figura 27 - Histograma dos retornos da carteira ótima de 2013 | 67 |
| Figura 28 - Sensibilidade de $\Omega \times L$ para os Swaps de 2012 | 69 |

| | |
|--|----|
| Figura 29 - Sensibilidade de Ω x L para os Swaps de 2013 | 71 |
| Figura 30 - Sensibilidade de Ω x L para as carteiras otimizadas de 2012 e de 2013 | 72 |
| Figura 31 - Sensibilidade de Ω x M para os Swaps de 2012 | 73 |
| Figura 32 - Sensibilidade de Ω x M para Swaps de 2013 | 75 |
| Figura 33 - Sensibilidade de Ω x M para as carteiras ótimas de 2012 e de 2013 | 76 |
| Figura 34 - Sensibilidade de CVaR95% x M para Swaps de 2012 | 78 |
| Figura 35 - Sensibilidade de CVaR95% x M para Swaps de 2013 | 80 |