



Mario Domingues Simões

**Decisão de Sazonalização de Contratos de Fornecimento
de Energia Elétrica através da Otimização da Medida
Ômega (Ω)**

Dissertação de Mestrado

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

Orientador: Prof. Leonardo Lima Gomes

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2009



Mario Domingues Simões

**Decisão de Sazonalização de Contratos de Fornecimento
de Energia Elétrica através da Otimização da Medida
Ômega (Ω)**

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

Prof. Leonardo Lima Gomes

Orientador

Departamento de Administração – PUC-Rio

Prof. Luiz Eduardo T. Brandão

Departamento de Administração – PUC-Rio

Dr. Luiz Guilherme Marzano

CEPEL

Dr. Pedro Moretson David

EPE

Prof. Nizar Messari

Vice-Decano de Pós-Graduação
do CCS - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 17 de fevereiro de 2009

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

Mario Domingues de Paula Simões

Graduado em Engenharia Química na Universidade Federal do Rio de Janeiro (Escola de Química) em 1979, em seguida obteve o título de Master of Science in Chemical Engineering Practice pelo Massachusetts Institute of Technology em 1982, ingressando no Programa de Pós-Graduação em Administração da PUC-Rio em 2007. É consultor independente de várias empresas.

Ficha Catalográfica

Simões, Mario Domingues de Paula

Decisão de sazonalização de contratos de fornecimento de energia elétrica através da otimização da medida Ômega (Ω) / Mario Domingues de Paula Simões ; orientador: Leonardo Lima Gomes. – 2009.

52 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Administração)—Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

Inclui bibliografia

1. Administração – Teses. 2. Análise de decisão. 3. Medida ômega. 4. Energia elétrica. 5. Simulação. 6. Otimização. I. Gomes, Leonardo Lima. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Administração. III. Título.

CDD: 658

RESUMO

Simões, Mario Domingues; Gomes, Leonardo, Lima; **Decisão de Sazonalização de Contratos de Fornecimento de Energia Elétrica através da Otimização da Medida Ômega (Ω)**. Rio de Janeiro, 2009. 52p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Desde o final dos anos 90, o setor elétrico brasileiro vem passando por grandes reformas, cujos principais objetivos são aumentar a competição e a eficiência na alocação de recursos. Em função deste aumento de eficiência na alocação de recursos e devido ao consumo sazonal de energia no Brasil, foi estabelecida uma flexibilidade para as hidrelétricas conhecida como sazonalização. A sazonalização permite que, a cada ano, o agente de geração declare para o próximo ano o quanto é a energia mensal respeitando-se certos limites. Neste artigo, propõe-se um modelo de análise de decisão da sazonalização a partir da otimização da medida ômega, com restrições de valor em risco (restrição prática difundida na indústria). Para o cálculo desta medida, utiliza-se simulação dos preços de curto prazo. Aplica-se este modelo ao caso de uma pequena central hidrelétrica. Os resultados indicam que a decisão de sazonalização muda substancialmente quando há restrição de valor em risco, fazendo com que a decisão ótima fique mais próxima de uma alocação uniforme ao longo do ano.

Palavras-chave

análise de decisão; medida ômega; energia elétrica; simulação; otimização

ABSTRACT

Simões, Mario Domingues; Gomes, Leonardo, Lima; **Decision of the Seasonalization of Electricity Supply Contracts based on the Optimization of the Omega Measurement (Ω)**. Rio de Janeiro, 2009. 52p. M. Sc. Dissertation. – Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Since the late 1990s, the Brazilian electric power industry has undergone significant structural changes, the main objective being to increase competition and resources allocation efficiency. Due to this increase in efficiency and because of seasonal electricity consumption, there is the inclusion of a contractual flexibility, named seasonalization. This flexibility in the contract allows for the generation agent (hydroelectric plant) to choose the monthly electricity amount generated and supplied to the system, each year, within certain limits. In this work it is proposed a model for the analysis and decision of the best energy supply profile, for the twelve months of the contract time span, based on the optimization of the omega measurement, subjected to value at risk restrictions (restriction widely employed in the related industry). In order for this omega measurement to be employed, the simulation of short term prices is used, and the model then applied to a small hydroelectric generation facility. The results indicate that the seasonalization decision will change substantially when there are “value at risk” restrictions, forcing the optimal decision to be closer to a flat allocation throughout the year.

Keywords

decision analysis; omega measurement; electricity; simulation; optimization

Sumário

1	INTRODUÇÃO	10
2	O MERCADO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL	14
2.1	Formatação dos Contratos	14
2.2	A Sazonalização	15
3	REVISÃO DA LITERATURA E A MEDIDA ÔMEGA (Ω)	16
3.1	Alguns Métodos de Escolha de Carteiras	16
3.2	A Medida VaR	18
3.3	A Medida Ômega	20
3.4	Definição e Cálculo da Medida Ômega	21
3.5	Visão alternativa da Medida Ômega	25
3.6	Simplificação para Retornos Equiprováveis	28
4	METODOLOGIA	30
4.1	Modelagem dos Resultados Considerando Sazonalização	30
4.2	Cálculo e Simulação dos PLDs	32
4.3	Aferição dos Resultados	34
4.4	Otimização e Convergência	35
5	Resultados	37
5.1	Variação do Ω e do VaR 95% em Função da Meta	37
5.2	Variação do Ω Fixando o VaR _{95%}	29
5.3	Sensibilidade de Ω e VaR _{95%} ao Preço Contratado	
5.4	Perfil de Entrega Sazonalizada	40
6	Conclusões	42

7	Referências Bibliográficas	46
8	Apêndices	48
8.1	O Sistema Elétrico Brasileiro	48
8.1.1	Procedimento de Formação dos PLDs	48
8.1.2	Operação de um Sistema Hidrotérmico	48
8.1.3	Cálculo do PLD	51
8.1.4	Simulação dos PLDs	52

Lista de Figuras

Figura 1 – Distribuição de Exemplo de Retornos e limite $L = 1,2$	21
Figura 2 – Ilustração da Definição de Ômega Ω (L)	22
Figura 3 – Ilustração das Parcelas Ganho e Perda (todos os valores)	23
Figura 4 – Numerador $EC(L)$ e Denominador $ES(L)$ para a derivação de Ω	25
Figura 5 – Percentis Referentes à Simulação de PLDs	33
Figura 6 - Opções de execução do add-in Solver	35
Figura 7 - Ω e $VaR_{95\%}$ Variando-se a Meta (limite L)	37
Figura 8 – Ω com restrição de $VaR_{95\%}$	38
Figura 9 – Ω vs Preços Contratuais	39
Figura 10 – Perfil Ótimo de Entrega Sazonalizada com Restrição de $VaR_{95\%}$	40
Figura 11 – Perfil Ótimo de Entrega Sazonalizada sem Restrições	41
Figura 12 – Processo de decisão para sistemas hidrotérmicos (GOMES, L. L.; Luiz, I. G.; 2009)	49
Figura 13 – Custo Imediato e Futuro (GOMES, L. L.; LUIZ, I. G.; 2009)	50
Figura 14 – Uso Ótimo da Água (GOMES, L. L.; Luiz, I. G.; 2009)	50

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Exemplo de Distribuição de Resultados	22
Tabela 2 – Marcha de Cálculo dos Ganhos e Perdas Ponderadas para a Distribuição de Retornos de Exemplo e dado um Limite $L = 1,2$	24
Tabela 3 – Marcha de Cálculo do Valor da Medida Ômega (Ω) de acordo com a Equação (3) e um Limite $L = 1,2$ para os Dados da Distribuição Exemplar	27
Tabela 4 -Diferenças de valores Ω para entregas mensais com variações marginais (+1 MW e -1 MW)	36