

**Emílio Hiroshi Matsumura**

**Ensaio sobre Liberalização,  
Regulação e Investimento em  
Sistemas Hidrotérmicos**

**TESE DE DOUTORADO**

**DEPARTAMENTO DE ECONOMIA**  
Programa de Pós-graduação em  
Economia

**Emílio Hiroshi Matsumura**

**Ensaio sobre Liberalização, Regulação e  
Investimento em Sistemas Hidrotérmicos**

**Tese de Doutorado**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em  
Economia do Departamento de Economia da PUC-Rio  
como parte dos requisitos parciais para obtenção do título  
de Doutor em Economia

Orientador: Prof. Humberto L. A. Moreira

Rio de Janeiro  
Dezembro de 2003



**Emílio Hiroshi Matsumura**

**Ensaio sobre Liberalização, Regulação e  
Investimento em Sistemas Hidrotérmicos**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Economia do Departamento de Economia do Centro de Ciências Sociais da PUC-Rio como parte dos requisitos parciais para obtenção do título de Doutor em Economia. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Humberto L. A. Moreira**

Orientador

EPGE – Fundação Getúlio Vargas

**Prof. Walter Novaes**

Departamento de Economia — PUC-RIO

**Prof. Rogério L. F. Werneck**

Departamento de Economia — PUC-RIO

**Prof. Paulo C. Coutinho**

Departamento de Economia — UnB

**Prof. Mario V.F. Pereira**

PSR-Inc

**Prof. João Pontes Nogueira**

Vice-Decano de Pós-Graduação do Centro de Ciências  
Sociais – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 18 de Dezembro de 2003

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

### **Emílio Hiroshi Matsumura**

Graduou-se em Economia pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). Especializou-se em Economia Internacional e Economia do Setor Público. Áreas de interesse: Regulação de Serviços Públicos, Setor Elétrico e Organização Industrial. É professor do departamento de Economia da PUC-Rio e já lecionou nas Faculdades Cândido Mendes.

#### Ficha Catalográfica

Matsumura, Emílio Hiroshi

Ensaio sobre Liberalização, Regulação e Investimento em Sistemas Hidrotérmicos/ Emílio Hiroshi Matsumura; orientador: Humberto L. A. Moreira. — Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Economia, 2003.

v., 135 f: il. ; 29,7 cm

1. Tese (doutorado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Economia.

Inclui referências bibliográficas.

1. Economia – Teses. 2. Regulação do Setor Elétrico. 3. Liberalização do Setor Elétrico. I. Moreira, Humberto L. A.. II. EPGE – FGV. III. Título.

## Agradecimentos

Agradeço a todos aqueles que contribuíram decisivamente para que a tese tivesse um bom fim:

A Deus ofereço todo meu trabalho e todos os frutos de minha vida.

À minha família: meus pais, que tiveram participação fundamental na minha formação pessoal e sem cujo esforço não teria chegado onde cheguei; minha avó querida e meus irmãos.

Ao meu orientador Professor Humberto Moreira pelas várias conversas que me ajudaram a pensar com mais cuidado sobre o tema de minha tese.

Aos professores que participaram de minha banca: Walter Novaes, Rogério Werneck, Mario Pereira e Paulo Coutinho pelo tempo e generosidade com que me receberam.

A CAPES, a FAPERJ e à PUC-Rio, pelos auxílios financeiros concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Aos professores do departamento da PUC-Rio pelo incentivo incessante e pelo apoio em momentos-chave durante meu curso, em particular, Marcelo Abreu, Afonso Bevilaqua, Márcio Garcia, Ilan Goldfajn e Gustavo Gonzaga. Ao professor Roberto Rigobon por ter me ajudado no meu doutorado-sanduíche no MIT.

Aos meus amigos que me ajudaram em momentos difíceis durante meu curso: Christina Hutchinson, Marcelo Moreira, Gino Olivares e Solange Vieira.

Aos meus amigos da PUC-Rio pelos momentos agradáveis de convívio: Antonio Ambrozio, Juliano Assunção, Mauricio Cortez.

Ao pessoal do departamento de Economia pela ajuda de todos os dias, em particular à Graça, Bianca, Flávia e Sônia.

## Resumo

Matsumura, Emílio Hiroshi; Moreira, Humberto L. A.. **Ensaio sobre Liberalização, Regulação e Investimento em Sistemas Hidrotérmicos**. Rio de Janeiro, 2003. 135p. Tese de Doutorado — Departamento de Economia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A dissertação é composta por 3 ensaios nos quais analisam-se os efeitos econômicos da liberalização e regulação de sistemas hidrotérmicos. No primeiro ensaio, um dos principais problemas de mercados de eletricidade liberalizados é tratado: o poder de mercado dos geradores. Analisa-se a eficácia de 2 medidas comumente propostas para sistemas com predominância de termelétricas (incentivos a contratação de longo prazo e redução da concentração horizontal) em um sistema hidrotérmico e mostra-se que diferentes resultados podem ser obtidos. No segundo ensaio, consideram-se os incentivos ao investimento em capacidade de geração no sistema hidrelétrico brasileiro. A entrada futura de capacidade é uma das principais variáveis no despacho centralizado. Quando o investimento é privado, a entrada efetiva de nova capacidade pode ser consideravelmente diferente daquela utilizada no despacho ótimo. Modelos anteriores de opções reais incorporam a decisão estratégica dos investidores em seus modelos, porém não consideram que essa decisão acaba afetando o armazenamento ótimo de água nas hidrelétricas. Essa variável, por sua vez, é fundamental na determinação da evolução da rentabilidade futura de novos projetos o que acaba afetando novamente a decisão de investimento.

No terceiro ensaio, discutem-se as experiências de reestruturação dos mercados de eletricidade do Brasil e da Califórnia. Apesar de diferentes objetivos e diferentes estruturas iniciais de mercado, ambos empreenderam a reforma dos seus respectivos setores elétricos baseados amplamente no mesmo modelo de separação vertical em voga nos anos noventa. Coincidentemente, alguns anos depois, ambos enfrentavam sérias crises. Desconsideração de aspectos relevantes na liberalização de mercados e incentivos de regulação inadequados podem ter exacerbado ao invés de atenuado os efeitos deletérios da crise tanto no Brasil quanto na Califórnia. A principal lição das duas experiências reside no reconhecimento de que a liberalização dos mercados elétricos deve ser feita com muito cuidado e com especial atenção ao efeito da nova estrutura na alocação de equilíbrio durante situações extremas de mercado.

### **Palavras-chave**

Regulação, Liberalização de Mercados de Energia Elétrica, Poder de Mercado, Investimento, Sistemas Hidrotérmicos.

## Abstract

Matsumura, Emílio Hiroshi; Moreira, Humberto L. A.. **Essays on Liberalization, Regulation and Investment in Hydrothermal Systems**. Rio de Janeiro, 2003. 135p. PhD. Thesis — Departamento de Economia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This dissertation is structured into 3 essays in which I analyze the economic effects of regulation and liberalization of hydrothermal systems. So far empirical and theoretical studies about power markets have been done mainly for thermal systems, in which equilibrium conditions reflect the fact that current production decisions can be analyzed separately from future production decisions. In hydrothermal systems, however, strategies are dynamically connected what yields equilibrium conditions different from thermal systems. This difference in the nature of the equilibrium is the main building block upon which I will analyze some important questions like liberalization of the market, investment, market power of generators and policies towards its mitigation and to compare the effectiveness of some common proposed policy interventions recommended to thermal systems in the context of a hydrothermal system. In the first essay, I analyze one of the main concerns in restructured electricity markets: the market power of generators. I show that two common mitigation measures proposed for thermal power markets (incentives to long-term contracting and horizontal deconcentration) do not necessarily affect the firms' market power in hydrothermal systems in the same way as in thermal systems. In the second essay, I consider the incentives to investment in the Brazilian centralized dispatch in which future entry of new capacity is one of the most important determinants in the optimal management of the system. When investment is not determinative, investors can choose the most appropriate time to enter into the market.



Previous real option models incorporates this flexibility on the optimal time to invest but do not consider that each potential new firm may affect the current optimal stock of water to be left to the next period. The fact that indicative entry plan does not take into account that investors' choice of the optimal time to invest may affect current values (especially the stock of water to be left to the next period) and hence reinforcing possible distortions in the investment decision, given future prices and dispatched quantities depend on the current optimal dispatch. In the third essay, I discuss the restructuring experiences of Brazil and California. Despite different goals and different initial market structures, both undertook the restructuring of their respective electricity sectors largely based on the same deregulation framework in vogue in the 1990s. Coincidentally, a few years later, both were facing serious crisis in their respective electricity sectors. The lack of attention to some important aspects of the liberalization or deregulation of the electricity sector and inadequate regulatory incentives could have exacerbated rather than attenuated the deleterious effects of their respective crisis. The main lesson from both experiences is that liberalization or deregulation of electricity markets should be carefully implemented, with special attention to the potential impact of the new structure on the equilibrium allocation during market stress situations.

## **Keywords**

Regulation, Liberalization of Electricity Markets, Market Power, Investment, Hydrothermal Systems.

## Conteúdo

1	Introdução	12
2	Atenuação do Poder de Mercado das Geradoras em um Sistema Hidrotérmico	14
2.1	Um modelo simples de um sistema hidrotérmico	17
2.2	Aumento do número de termelétricas	25
2.3	Contratos	29
2.4	Conclusões	34
3	Investimento em Termelétricas no Sistema de Despacho Centralizado Brasileiro	35
3.1	O setor de geração elétrica no Brasil	38
3.2	O Modelo de Despacho Centralizado sem Expansão da Capacidade	41
3.3	O Modelo de Despacho Centralizado com Expansão de Capacidade	44
3.4	Conclusões	55
4	Liberalização de Mercados e Crise no Setor Elétrico: Lições do Brasil e da Califórnia	56
4.1	Califórnia	59
4.2	Brasil	71
4.3	Conclusões	83
5	Conclusão	85
	Bibliografia	86
6	Apêndice	90
6.1	Capítulo 2	90
6.2	Capítulo 3	109
6.3	Capítulo 4	120

## Lista de Figuras

3.1	Seqüência de Eventos no Modelo com Investimento	47
3.2	Seqüência de Eventos	51
4.1	Importações Líquidas e Preço de Eletricidade	62
4.2	Crescimento da Capacidade Instalada e da Demanda	71
4.3	Percentual do Total da Capacidade de Energia Acumulada nos Reservatórios dos Subistemas SE/CO e NE	73
4.4	Contribuição para o Racionamento em Termos de Energia Acumulada no Sistema	74
4.5	Preços da Energia e Estoque Acumulado de Energia nos Reservatórios do Sub-sistema SE/CO	79

## Lista de Tabelas

4.1	Efeito de Contratação sobre a Alocação de Equilíbrio	69
4.2	Exemplo do Caso-Base	81
4.3	Exemplo 1	81
4.4	Exemplo 2	82
4.5	Exemplo 3	82
4.6	Exemplo 4	82
6.1	Efeito de uma variação em $a$	127
6.2	Efeito de uma variação em $b$	127
6.3	Efeito de uma variação em $\alpha$	128
6.4	Efeito de uma variação em $\sigma$	128
6.5	Efeito de uma variação em $f$	129
6.6	Efeito de uma variação em $c_1$	129
6.7	Efeito de uma variação em $c_2$	130