

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



**André Luiz de Souza Portugal**

**Aplicação da teoria das Opções Reais na  
avaliação de uma usina hidrelétrica**

**Dissertação de Mestrado**

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

Orientador: Prof. Luiz Eduardo Teixeira Brandão

Rio de Janeiro  
Outubro de 2007



**André Luiz de Souza Portugal**

**Aplicação da teoria das Opções Reais na  
avaliação de uma usina hidrelétrica**

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

**Prof. Luiz Eduardo Teixeira Brandão**

Orientador

Departamento de Administração - PUC-Rio

**Prof. Luis Felipe Jacques da Motta**

Departamento de Administração - PUC-Rio

**Prof. Leonardo Lima Gomes**

Grupo Neoenergia

**Prof. João Pontes Nogueira**

Vice-Decano de Pós-Graduação do CCS

Rio de Janeiro, 18 de outubro de 2007

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

## **André Luiz de Souza Portugal**

Graduou-se em Ciências Contábeis pela PUC-Minas Gerais e obteve pós-graduação em Gestão Empresarial na PUC-Rio de Janeiro. Trabalhou na PricewaterhouseCoopers, Telemar e no BNDES. Atualmente trabalha na BHP Billiton.

### Ficha Catalográfica

Portugal, André Luiz de Souza

Aplicação da teoria das opções reais na avaliação de uma usina hidrelétrica / André Luiz de Souza Portugal ; orientador: Luiz Eduardo Teixeira Brandão. – 2007.  
135 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Administração)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

Inclui bibliografia

1. Administração – Teses. 2. Avaliação de investimentos. 3. Opções reais. 4. Incertezas. 5. Flexibilidade gerencial. 6. Geração de energia. I. Brandão, Luiz Eduardo Teixeira. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Administração. III. Título.

CDD: 658

## Agradecimentos

Em primeiro lugar, a Deus.

Ao meu Professor Orientador Luiz Brandão, pelas inestimáveis contribuições de conhecimento.

Aos meus pais, pela oportunidade de terem me concedido a vida e a condição de pensar.

À minha mulher Raquel, pela confiança, compreensão e renúncia, e a quem dedico essa dissertação.

À minha filha Lara, que veio ao mundo em meio a essa pesquisa.

## Resumo

Portugal, André Luiz de Souza.; Brandão, Luiz Eduardo Teixeira. **Aplicação da teoria das Opções Reais na avaliação de uma usina hidrelétrica.** Rio de Janeiro, 2007. 135 p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O significativo potencial hídrico do Brasil tem gerado interesse para investimentos no setor de geração de energia hidrelétrica. No entanto, os métodos de avaliação financeira tradicionalmente utilizados como o Fluxo de Caixa Descontado (FCD) não incorporam as opções que os investidores possuem para gerenciar suas decisões de investimento de capital, e, em consequência, o valor do ativo é por vezes subavaliado. Nessa dissertação, avaliamos, por meio da utilização da Metodologia das Opções Reais, a viabilidade financeira de um projeto de uma usina hidrelétrica cuja capacidade de geração pode ser expandida ao longo do prazo da concessão. Para tanto, foram consideradas as incertezas relacionadas ao preço da energia, à vazão de águas na região do projeto, ao fator de perda na geração, aos indicadores macroeconômicos TJLP e IGP-M, além da possibilidade do investimento ser adiado para uma data futura. Assumindo que o preço *spot* de energia segue um processo de reversão à sua média histórica de longo prazo, o valor das flexibilidades analisadas não é significativo. No entanto, a análise de sensibilidade envolvendo as variáveis “volatilidade” e “investimento para expansão” revelou que o valor do projeto aumenta de R\$ 1,449 milhões para aproximadamente R\$ 1,650 milhões. Dado o alto grau de incerteza associado à oferta futura de energia elétrica no Brasil, concluímos que a Metodologia das Opções Reais oferece uma melhor estimativa do real valor de um projeto de investimento flexível, devido à existência desta incerteza nos parâmetros utilizados no modelo.

## Palavras-chave

Avaliação de Investimentos; Opções Reais; Incertezas; Flexibilidade Gerencial; Geração de Energia.

## Abstract

Portugal, André Luiz de Souza.; Brandão, Luiz Eduardo Teixeira. **An Application of Real Options Theory to the valuation of a hydroelectric power plant.** Rio de Janeiro, 2007. 135 p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The significant hydric potential available in Brazil has been attracting investments in this business area. On the other hand, traditional valuation methods such as Discount Cash Flow (DCF) do not incorporate the value of the options investors possess when managing their capital investment decisions and as a result, the value of these assets may be undervalued. In this dissertation, we use the Real Options Approach to analyze the financial feasibility of a hydroelectric power plant project that can expand its generation capacity throughout its concession life. We consider uncertainties such as the spot price of energy, the water flow in the construction region of the project, the energy generation loss factor, macroeconomic parameters such as the TJLP interest rate and the IGP-M inflation rate, and also the possibility that the capital investment decision be postponed. Considering that the spot price of energy follows a long-term mean reversion process, the value of the flexibilities analyzed is not significant. Nevertheless, a sensitivity analysis of the “volatility” and “investment required for an expansion” parameters shows that the value of this project increases from R\$ 1.449 millions to approximately R\$ 1.650 millions. Given the high level of uncertainty regarding the future supply of energy in Brazil, we concluded that the Real Options Approach offers a better valuation of a flexible investment project given the uncertainty concerning the parameters used in the model.

## KeyWords

Investment Valuation; Real Options; Uncertainties; Managerial Flexibility; Energy Generation.

## Sumário

1. Introdução	13
1.1. Objetivos do estudo	15
1.2. Delimitações do estudo	15
1.3. Relevância do estudo	16
1.4. Definição dos termos	17
2. Referencial teórico	19
2.1. O processo de análise de projetos de investimento	19
2.2. O método do FCD	21
2.2.1. As variáveis que compõem o método	23
2.2.1.1. Fluxos de caixa futuros	23
2.2.1.2. Taxa de crescimento dos fluxos de caixa	24
2.2.1.3. Taxa de desconto dos fluxos de caixa	26
2.2.2. Críticas à aplicação do método	29
2.3. Breve abordagem do mercado de opções financeiras	30
2.4. A teoria das Opções Reais	32
2.4.1. Conceitos fundamentais	35
2.4.1.1. A abordagem da certeza equivalente	36
2.4.1.2. A abordagem do portfólio replicado	37
2.4.1.3. A abordagem probabilística neutra ao risco	40
2.4.1.4. A hipótese do “ <i>Marketed Asset Disclaimer</i> ”	42
2.4.1.5. Os processos estocásticos	44
2.4.1.5.1. Propriedade de Markov	44
2.4.1.5.2. Processo de Wiener	45
2.4.1.5.3. Lema de Itô	48
2.4.1.5.4. O modelo de reversão à média (“MRM”)	52
2.4.1.6. O tratamento dos riscos associados às Opções Reais	53
2.4.2. O modelo de Black-Scholes	54
2.4.3. Taxonomia das opções reais	61

2.4.4. Modelos de avaliação das Opções Reais	64
2.4.4.1. O modelo binomial	64
2.4.4.2. A árvore de decisões	66
2.4.4.3. “ <i>Contingent Claims Analysis</i> ”	68
2.4.4.4. A utilização da Simulação de Monte Carlo (“SMC”)	69
2.4.4.5. Programação dinâmica	72
2.4.4.6. Outros modelos	73
3. Metodologia	75
3.1. Tipo de pesquisa	75
3.2. Coleta de dados	75
3.3. Tratamento dos dados	76
3.4. Limitações do método	76
4. O estudo de caso	79
4.1. Introdução	79
4.2. Estrutura burocrática do setor elétrico Brasileiro	87
4.3. O projeto da usina hidrelétrica	90
4.4. Definições das premissas	92
4.4.1. Premissas macroeconômicas	92
4.4.2. Aspectos relacionados ao orçamento de capital	92
4.4.2.1. Investimentos	93
4.4.2.2. Depreciação e amortização	94
4.4.3. Receitas operacionais	95
4.4.3.1. Dados físicos	95
4.4.3.2. Preços e reajustes	97
4.4.4. Impactos tributários	98
4.4.5. Custos operacionais	100
4.4.5.1. Transmissão e geração	101
4.4.5.2. Operação e manutenção	101
4.4.5.3. Concessão pública	101

4.4.5.4. Outros custos operacionais	102
4.4.6. Fontes de recursos e estrutura de capital	104
4.4.6.1. Recursos de terceiros	105
4.4.6.2. A definição da taxa de desconto do projeto	106
4.5. Avaliação pelo método do FCD	107
4.6. Avaliação pela teoria das Opções Reais	113
4.6.1. Modelagem do ativo básico	115
4.6.2. As opções de expansão	117
4.6.3. Análise de sensibilidade	119
5. Conclusões	122
6. Referências bibliográficas	126

## Lista de tabelas

Tabela 1 – Os parâmetros das opções de compra e de venda	58
Tabela 2 – Comparação entre opções financeiras e reais	60
Tabela 3 – Potencial de geração elétrica no Brasil	79
Tabela 4 – Potencial hidrelétrico brasileiro por bacia hidrográfica	81
Tabela 5 – Demanda de energia elétrica por setores da economia	84
Tabela 6 – Resumo das premissas macroeconômicas	92
Tabela 7 – O orçamento de capital do projeto	93
Tabela 8 – Os custos pré-operacionais do projeto	93
Tabela 9 – Taxas anuais de depreciação	94
Tabela 10 – Dados operacionais por turbina de geração	95
Tabela 11 – Premissas tributárias da modelagem financeira	99
Tabela 12 – Cronograma de investimentos de capital do projeto sem expansão	104
Tabela 13 – Cronograma de liberações de capital de terceiros	105
Tabela 14 – A modelagem utilizada para as variáveis de incerteza	110
Tabela 15 – As volatilidades associadas ao projeto	113
Tabela 16 – Cronograma de distribuição de dividendos do projeto	114
Tabela 17 – Matriz de sensibilidade do valor do projeto	121

## Lista de figuras

Figura 1 – Modelos de Avaliação Financeira	21
Figura 2 – Relação entre a capacidade de reação dos investidores e a probabilidade de se receber novas informações	34
Figura 3 – Analogia entre o modelo de Black-Scholes e a teoria das Opções Reais	57
Figura 4 – Taxonomia das opções reais	61
Figura 5 – Equivalência entre os valores do ativo replicado e de uma opção	68
Figura 6 – O processo de Simulação de Monte Carlo	71
Figura 7 – Produção mundial de energia hidrelétrica em 2004	80
Figura 8 – Mapa de bacias hidrográficas do Brasil	81
Figura 9 – Sistema Interligado Nacional	82
Figura 10 – A operação de uma usina hidrelétrica	91
Figura 11 – Comportamento histórico da vazão de águas na região do projeto	97
Figura 12 – Série histórica de preços <i>spot</i> de energia praticados na CCEE	98
Figura 13 – O modelo de fluxo de caixa	107
Figura 14 – O valor esperado do projeto calculado a partir do @Risk	111
Figura 15 – Análise de regressão da modelagem financeira	112
Figura 16 – A modelagem do ativo básico	116
Figura 17 – O valor esperado do projeto calculado a partir do DPL	117
Figura 18 – A modelagem das opções de expansão	118
Figura 19 – O valor esperado do projeto expandido	119
Figura 20 – Análise de sensibilidade da volatilidade do projeto	120
Figura 21 – Análise de sensibilidade do investimento para expansão	121

## **Anexos**

Anexo I – Modelagem dos fluxos de caixa descontados	130
Anexo II – Premissas utilizadas nas projeções dos fluxos de caixa	133
Anexo III – Sumário das operações por turbina	134