Gláucia de Paula Falco

**Valoração do Meio Ambiente: uma abordagem pela teoria de
opções reais**

Tese de doutorado

Tese de doutorado apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Doutor pelo Programa de pós-
graduação em Engenharia Elétrica da PUC - Rio.

Orientadora: Marley M.B. Vellasco
Co-orientador: Juan Lazo Lazo Guilherme

Rio de Janeiro
Maio de 2010

Gláucia de Paula Falco

**Valoração do Meio Ambiente: uma abordagem pela
teoria de opções reais**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Profa. Marley Maria Bernardes Rebuzzi Vellasco

Orientadora

Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

Prof. Juan Guillermo Lazo Lazo

Co-Orientador

Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

Prof. Joari Paulo da Costa

ONS

Prof. Ronaldo Serôa da Motta

IPEA

Prof. José Paulo Teixeira

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Prof. Marco Antonio Guimarães Dias

Petrobrás

Prof. Luiz Eduardo Teixeira Brandão

Departamento de Administração – PUC-Rio

Profa. Karla Tereza Figueiredo Leite

Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 7 de maio de 2010

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

Gláucia de Paula Falco

Graduou-se em Economia pela Universidade Federal de Juiz de Fora. Fez especialização *latu senso* em Métodos Estatísticos Computacionais-UFJF. Obteve o título de mestre pelo Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) da PUC-Rio em 2005. No mestrado sua linha de pesquisa foi modelagem estatística de dados com ênfase em modelos de previsão. Atualmente finaliza o seu doutorado no DEE da PUC-Rio (2010). Dentre os temas de sua linha de pesquisa estão a valoração econômica do meio ambiente, macroeconomia aplicada e análise quantitativa de dados.

Ficha Catalográfica

Falco, Gláucia de Paula

Valoração do meio ambiente : uma abordagem pela teoria de opções reais / Gláucia de Paula Falco ; orientadora: Marley M. B. Vellasco ; co-orientador: Juan Lazo Lazo Guilherme. – 2010.

166 f. ; 30 cm

Tese (doutorado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica, 2010.

Inclui bibliografia

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Meio ambiente. 3. Valor econômico. 4. Irreversibilidade. 5. Incertezas. 6. Opções reais. 7. Restrições hídricas. I. Vellasco, Marley M. B.. II. Lazo Lazo, Juan Guilherme. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. IV. Título.

CDD: 621.3

As minhas irmãs e ao meu pai

Agradecimentos

A Deus.

A minha orientadora Marley Vellasco por sua paciência e todo o incentivo nessa caminhada. Ao meu co-orientador Juan Guilherme Lazo Lazo pelo tema do trabalho e por seus comentários e críticas. Ao professor Marco Antônio Guimarães Dias por suas sugestões e disposição em debater ideias. Ao Joari e ao Murilo por me receberem prontamente no ONS quando necessário.

A minha família por todo amor e cuidado.

As amigas tão presentes em todos os momentos Luciana Campos, Luciana Melo, Adriana, Joyce Altaf.

Aos colegas do ICA (Laboratório de Inteligência Computacional Aplicada/PUC-Rio).

À Capes e à PUC-Rio pelos auxílios concedidos para a realização deste trabalho.

Resumo

Falco, Gláucia de Paula, Vellasco, Marley M.B (advisor). **Valoração do Meio Ambiente: Uma Abordagem pela Teoria das Opções Reais**. Rio de Janeiro, 2010. 166p. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Este trabalho pretende desenvolver uma metodologia para valorar variáveis ambientais a partir da teoria das opções reais. Na tentativa de atribuir um valor monetário às variáveis do meio ambiente, diversos métodos têm sido propostos no campo de análise das ciências econômicas. No entanto, atribuir um valor econômico para o ativo ambiental não tem sido uma tarefa simples, pois envolve uma gama de conceitos multidisciplinares. Existem vários métodos para a avaliação dos recursos ambientais e três destes aparecem recorrentemente na literatura. São eles : Métodos do Custo da Viagem (MCV), Método dos Preços Hedônicos (MPH) e Método de Valoração Contingente (MVC). Estas três técnicas se fundamentam essencialmente nas preferências dos consumidores, o que aumenta a subjetividade presente no valor calculado pelas mesmas. Além disso, alguns aspectos importantes envolvidos na valoração do ambiente, como o “valor de quasi-opção” e o “valor de existência”, são simplesmente desconsiderados ou ficam completamente implícitos, como no caso do MCV. Desta forma, a totalidade da valoração econômica do meio ambiente não é atacada. Esta pesquisa se propôs a desenvolver uma metodologia de avaliação dos recursos naturais utilizando uma abordagem pela teoria de opções reais e de seus conceitos inerentes. No propósito de desenvolver uma nova metodologia de avaliação dos recursos naturais, o problema da valoração foi inserido no contexto de um estudo de caso referente ao setor elétrico brasileiro. O sistema elétrico do Brasil opera assumindo as restrições hidráulicas de maneira rígida e a violação destas restrições implica em danos ao meio ambiente. As restrições hidráulicas limitam a autonomia de decisão do uso da água para a geração de energia elétrica por questões legais e institucionais. Porém, em momentos críticos, como em períodos de secas, é preciso cogitar a possibilidade de relaxar os limites estabelecidos para

as restrições. Isso pode implicar em incorrer em custos que, em geral, são desconhecidos. A violação dos limites rígidos das restrições envolve um conjunto de aspectos que podem ser de natureza social, econômica, política e ambiental. A fim de desenvolver a metodologia proposta, este estudo irá focar prioritariamente nas questões econômico-ambientais associadas à violação das restrições associadas ao aproveitamento hidrelétrico do rio São Francisco na localidade do estado da Bahia. Contudo, em trabalhos futuros, o método poderá ser estendido para abranger os demais aspectos mencionados. Entre as principais contribuições desta pesquisa estão a inclusão do “valor futuro” do meio ambiente na definição do seu valor presente. Isto é feito levando em conta as incertezas existentes nas parcelas que compõem o valor total do meio ambiente. Além disso, o trabalho propõe uma forma de calcular explicitamente as parcelas do “valor de existência”, do “valor de quasi opção” e o “valor de uso indireto” dos bens ambientais. Sob a ótica do setor elétrico, esta pesquisa apresenta um formato para operacionalizar a análise custo-benefício da violação (ou não) de certas restrições em situações específicas. Para o estudo de caso analisado constatou-se que não seria ótimo flexibilizar as restrições hidráulicas a partir dos dados que foram considerados.

Palavras-chave

Meio ambiente; valor econômico; irreversibilidade; incertezas; opções reais; restrições hídricas.

Abstract

Falco, Gláucia de Paula, Vellasco, Marley M.B (advisor). **Environmental Valuation: A Real Options Approach**. Rio de Janeiro, 2010. 166p. Thesis - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This thesis intends to develop a methodology for valuing environmental variables by applying the real options theory. In the attempt to assign a monetary value to environmental variables, several methods have been proposed in the field of economic sciences. However, assigning an economic value to an environmental asset has not been an easy task as it involves a multidisciplinary range of concepts. There are several methods for evaluating environmental resources and among them there are three which appear repeatedly in the literature, such as: Travel Cost Method (TCM), Hedonic Price Method (HPM) and Contingent Valuation Method (CVM). These three techniques are primarily based on consumer preferences, which increase the subjectivity in calculating the respective values. Furthermore, some important aspects involved in the environmental valuation, such as the “quasi-option value” and the “existence value”, are simply ignored or completely implicit, as in the case of the TCM. Hence, some aspects of the totality of the environmental economic valuation are not taken into consideration. The purpose of this research was to develop a methodology for assessing natural resources using the real options theory approach as well as its inherent concepts. In order to develop a new methodology for assessing natural resources, the problem of valuation has been placed in the context of a case study related to the Brazilian electricity sector. The Brazilian electrical system addresses the hydraulic constraints in a strict way and the violation of these restrictions results in damage to the environment. Due to legal and institutional issues, the hydraulic constraints limit the autonomy of decision regarding the use of water to generate electric power. However, at critical moments, as in periods of drought, it is necessary to contemplate the possibility of making the limits to these restrictions more flexible. This may incur costs that are generally unknown. The violation of these rigorous limits involves a series of aspects that may be of social, economic, political and environmental nature. In order to develop

the proposed methodology, this study will focus primarily on economic and environmental issues associated with the violation of the restrictions related to the hydroelectric efficiency of the Sao Francisco River, located in the state of Bahia. Nevertheless, in future studies, the method can be extended to comprise the other mentioned aspects. Among other relevant contributions of this research, it is important to mention the inclusion of "future value" of the environment when defining its present value. This is achieved by taking into consideration the uncertainties that are present in the parts that constitute the total value of the environment. In addition, this study proposes an approach to explicitly calculate the parts of the "existence value", the "quasi-option value" and the "indirect use value" of environmental assets. From the perspective of the electricity sector, this research presents a format for operationalizing the cost-benefit analysis of the violation (or non-violation) of certain restrictions in specific situations. For the case study analyzed, it was verified, from the data considered, that making the hydraulic restrictions more flexible would not be an optimal alternative.

Keywords

Environment; economic value; irreversibility; uncertainties; real options; hydraulic restrictions.

Sumário

1. Introdução	15
1.1.Motivação	15
1.2.Objetivos	20
1.3.Contribuições do trabalho	21
1.4.Organização da tese	22
2.O tema ambiental e o valor econômico do meio ambiente	23
2.1. Considerações iniciais	23
2.2. O que se entende por meio ambiente	27
2.3. A origem do tema ambiental	30
2.4. Valor do Meio Ambiente	30
2.5. A questão ambiental no Brasil	37
3. Valoração econômica do meio ambiente	41
3.1. O que valorar?	41
3.2. O valor econômico	42
3.3.Conceitos econômicos intrínsecos aos métodos de valoração	45
3.4. Critérios econômicos inseridos na abordagem do meio ambiente	49
3.4.1.Análise Custo-Benefício (ACB)	49
3.4.2.Análise Custo-Utilidade (ACU)	50
3.4.5. Análise Custo-Eficiência (ACE)	51
3.5. Metodologias de valoração do meio ambiente	51
3.5.1. Métodos da função de produção ou métodos da produtividade	51
3.5.2. Métodos da função de demanda	52
3.5.3. Método dos bens complementares	53
3.5.3.1. Método de Preços Hedônicos	54
3.5.3.2. Método de Custos da Viagem	54
3.5.4. Método das preferências reveladas por mercados hipotéticos	55
3.5.4.1. Método da Valoração Contingente	55

3.5.5. Métodos de mercado de bens substituto	56
3.5.5.1. Método das despesas de reposição	57
3.5.5.2. Método das despesas evitadas	58
3.5.5.3. Método das despesas de prevenção/control	58
3.5.6. A função dose-resposta (MDR)	58
4. Teoria de opções reais	60
4.1. Fundamentos da avaliação de um projeto	60
4.2. Teoria tradicional de análise de investimento	61
4.3. Incerteza e Flexibilidade	65
4.4. A teoria de opções reais	66
4.4.1. Opção	67
4.4.2. Tipos de opções	68
4.4.3. Teoria financeira tradicional versus teoria de opções reais	69
4.4.4. Fatores que determinam o valor da opção	72
4.4.5. Tipos de opções reais	73
4.4.6. A neutralidade ao risco	75
4.4.7. Métodos para o cálculo do valor da opção	76
4.4.8. Gatilho	77
4.4.9. Movimento Geométrico Browniano	78
4.5. Simulação de Monte Carlo	81
4.6. Teoria de opções reais em problemas de preservação ambiental	82
4.7. A teoria de opções na literatura dos recursos ambientais	87
5. Modelagem proposta	92
5.1. Reespecificando as parcelas do valor econômico do meio ambiente sob a ótica da teoria de opções reais	92
5.2. A inclusão das incertezas nas três parcelas de valor	98
5.2.1. A incerteza no valor de uso direto	98
5.2.2. A incerteza no valor de uso indireto	100
5.2.3. A incerteza no valor de existência	106
5.3. O conceito de irreversibilidade da mudança	108
5.4. O valor da quasi opção	111
5.5. Considerações finais	112

6. Estudo de caso: o setor elétrico e as restrições hidráulicas da Bahia no aproveitamento hidrelétrico do rio São Francisco	113
6.1. O setor elétrico brasileiro	113
6.2. As restrições hidráulicas do setor elétrico	116
6.3. As restrições hidráulicas na Bahia	121
6.3.1. Bahia	122
6.3.1.1. A atividade turística	122
6.3.1.2. A atividade agrícola	122
6.3.1.3. Rio São Francisco	124
6.3.2. Principais usinas da região	125
6.3.3. Restrições hidráulicas da usina de Sobradinho	126
6.4. Descrição do problema e resultados	126
6.4.1. Dados da análise empírica	127
6.4.1.1. Valor de uso direto	127
6.4.1.2. Valor de uso indireto (A^*)	128
6.4.2. Modelagem	129
6.4.2.1. Modelagem do "Valor de Uso Direto"	129
6.4.2.2. Modelagem do "Valor de Uso Indireto"	133
6.4.3. Custos e Investimentos	135
6.4.4. Simulação do "Valor de Uso direto"	135
6.4.5. Fluxo de caixa, taxa de desconto e payoff para o "Valor de Uso Direto"	139
6.4.6. Simulação do "Valor de Uso Indireto"	140
6.4.6.1. Simulação analítica do "Valor de Uso Indireto"	140
6.4.7. Modelagem do "Valor de Existência"	142
6.4.8. Modelagem do "Valor de Quasi Opção"	143
6.5. Resultados para o valor de uso direto e uso indireto	144
6.6. A modelagem da irreversibilidade da mudança	147
6.7. Resultados para o valor de quasi opção	150
7. Conclusões e Recomendações	154
8. Referências Bibliográficas	158

Lista de figuras

Figura 2.1 - Ranking das preocupações mundiais	28
Figura 3.1- Taxonomia geral do valor econômico	44
Figura 3.2 – Excedente do consumidor	46
Figura 3.3 - O excedente do consumidor e a DAP	53
Figura 4.1- Assimetria na opção de compra	69
Figura 4.2 – Movimento Geométrico Browniano	80
Figura 5.1– Variáveis empregadas na metodologia da pesquisa	93
Figura 5.2 - Interseção entre o valor de uso indireto e valor de uso direto	96
Figura 5.3 - Interseção entre o valor de uso indireto e valor de existência	97
Figura 6.1 - Configuração do SIN	115
Figura 6.2 - Localização Pólo Petrolina/Juazeiro	123
Figura 6.3 - Bacias hidrográficas brasileiras	124
Figura 6.4 - Estimativa da receita turística para a Bahia	128
Figura 6.5 - Fluxo de Turistas na Bahia	129
Figura 6.6 - Caminhos simulados para as quantidades de soja produzidas	136
Figura 6.7 - Caminhos simulados para o preço da soja	136
Figura 6.8 - Caminhos simulados para as quantidades de milho produzidas	137
Figura 6.9 - Caminhos simulados para os preços do milho	138
Figura 6.10 - Caminhos simulados para o fluxo de receitas turísticas	139
Figura 6.11 - Evolução estocástica do valor existência	143
Figura 6.12 - Análise do valor de quasi opção	150

Lista de tabelas

Tabela 4.1 – Principais diferenças entre teoria financeira tradicional e opções reais	71
Tabela 4.2 – Analogia entre opções financeiras e opções reais	71
Tabela 6.1 - Parâmetros utilizados no MGB	131
Tabela 6.2 - Valores esperados da receita turística mensal (24 meses)	132
Tabela 6.3 - Estimativas de drift e volatilidade para a variável número de visitantes	134
Tabela 6.4- Análise de sensibilidade do valor crítico de existência	141
Tabela 6.5 - Valor presente de 'L' e 'A'	146