



Rodrigo Gil

**Avaliação da Expansão do Complexo de Carajás
através da Teoria de Opções Reais**

Dissertação de Mestrado

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

Orientador: Prof. Luiz Eduardo Teixeira Brandão

Rio de Janeiro
Março de 2014



Rodrigo Gil

Avaliação da Expansão do Complexo de Carajás através da Teoria de Opções Reais

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. Luiz Eduardo Teixeira Brandão

Orientador

Departamento de Administração – PUC-Rio

Prof. Leonardo Lima Gomes

Departamento de Administração - PUC-Rio

Prof. Luiz de Magalhães Ozorio

IBMEC Educacional

Prof^a. Mônica Herz

Vice-Decana de Pós-Graduação do CCS – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 25 de março de 2014

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

Rodrigo Gil

Graduou-se em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas e Computação na UERJ (Universidade do Estado do Rio de Janeiro) em 2002. Cursou MBA em Gerenciamento de Projetos na FGV (Fundação Getúlio Vargas em 2006. Trabalhou na empresa VIVO de 2002 à 2008, quando iniciou na empresa Promon Engenharia, onde encontra-se desenvolvendo a função de engenheiro de custos.

Ficha Catalográfica

Gil, Rodrigo

Avaliação da expansão do complexo de Carajás através da teoria de opções reais / Rodrigo Gil ; orientador: Luiz Eduardo Teixeira Brandão. – 2014.
76 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)—Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Administração, 2014.

Inclui bibliografia

1. Administração – Teses. 2. Opções reais. 3. Carajás. 4. S11D. I. Brandão, Luiz Eduardo Teixeira. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Administração. III. Título.

CDD:658

Para minha esposa Erika Enrique, meus pais Euzebio e Gisselly, minha irmã
Priscilla, meu irmão Michel e minhas sobrinhas Beatriz e Olívia.

Agradecimentos

Ao meu orientador Professor Luiz Eduardo Brandão pela paciência, pelo estímulo e por sua vocação por compartilhar sua sabedoria.

À PUC-Rio por sua contínua estrutura de apoio à sociedade em obtenção do conhecimento.

Aos meus colegas de mestrado Bernardo Paiva, André Ferreira, Armando Antunes e todos que tive o prazer de conhecer e conviver ao longo do curso.

Aos meus amigos Felipe Carvalho da Cruz e Rodrigo Oliveira por todo apoio e instrução.

Aos professores Luiz de Magalhães Ozório e Leonardo Lima que participaram da Comissão examinadora.

A todos os professores e funcionários do Departamento pelos ensinamentos e pela ajuda.

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

À minha mãe pela educação, atenção e carinho a quem serei eternamente grato. Ao meu pai que me serve de exemplo de vida. A minha irmã que consegue exercer sua carreira acadêmica, profissional e de mãe de forma magistral.

À minha esposa que sempre me incentivou a atingir meus objetivos. Sem seu apoio eu jamais conseguiria concluir este trabalho. Obrigado por estar sempre ao meu lado.

Resumo

Gil, Rodrigo; Brandão, Luiz Eduardo Teixeira. **Avaliação da Expansão do Complexo de Carajás através da Teoria de Opções Reais**. Rio de Janeiro, 2014. 76p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Segundo a Associação de Comércio Exterior do Brasil, o minério de ferro representou 12,8% do total exportado pelo Brasil em 2012, se mantendo como primeiro produto, em valor, na pauta de exportação brasileira. Nesse contexto, o complexo Carajás, localizado no sudeste do estado do Pará em operação desde 1985, destaca-se por ser a maior reserva do país e por ter o minério com maior teor de ferro do mundo. Este trabalho tem como objetivo avaliar o projeto de expansão de Carajás, conhecido como projeto S11D, através da teoria de opções reais, buscando considerar o valor da flexibilidade gerencial existente no projeto e potenciais incertezas de mercado de forma a obter uma avaliação mais eficaz de um ativo tão representativo para o país. Os resultados indicam que a opção de expansão aumenta o valor do projeto de US\$ 77 bilhões para US\$ 99 bilhões, indicando o valor da opção em US\$ 22 bilhões.

Palavras-chave

Opções reais; Carajás; S11D

Abstract

Gil, Rodrigo; Brandão, Luiz Eduardo Teixeira (Advisor). **Carajás expansion project valuation using Real Option theory**. Rio de Janeiro, 2014. 76p. MSc. Dissertation- Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

According to the Brazilian External Association of Commerce, iron ore represented 12,8% of total export revenue in 2012, being the first product, at value, on the Brazilian export market share. In this context, Carajás Complex, located at south east of Pará State in operation since 1985, express itself from being the biggest reserve in the country and for having the highest iron ore content of the world. The target of this work is to evaluate the Carajás expansion project, known as S11D project, through Real Option Theory, considering the value of management flexibility existing in this project and potential market uncertainties in which obtain a valuation more efficient from an asset so representative to the country. The results indicate that the expansion option raises the project value from US\$ 77 billion to US\$ 99 billion, resulting the option value of US\$ 22 billion.

Keywords

Real options; Carajás; S11D

Sumário

1. Introdução	12
1.1. Justificativa da Pesquisa	14
1.2. Objetivo	15
1.3. Limitações do Estudo	16
1.4. Metodologia da Pesquisa	16
1.5. Estrutura do Estudo	16
2. Revisão de Literatura	18
2.1. Modelagem Financeira Tradicional	18
2.1.1. Fluxo de Caixa Descontado	19
2.1.2. Custo de Capital	20
2.2. Teoria das Opções Reais	22
2.2.1. Opções Financeiras	22
2.2.2. Tipos de Opções Reais	24
2.2.3. Movimento Geométrico Browniano	27
2.2.4. Princípios da Neutralidade ao Risco	28
2.2.5. Modelo Binomial	29
2.2.6. Preço de Mercado do Risco	31
2.2.7. Modelo de Avaliação de Opções Reais	33
2.2.7.1. Estimando a Volatilidade	34
2.2.7.2. Método Brandão, Dyer e Han (BDH)	36
2.2.8. Simulação de Monte Carlo	36
3. Mineração	38
3.1. Origem da Mineração	38
3.2. Mineração no Brasil	39
3.3. A Indústria Extrativista	43
3.4. A Importância Econômica da Mineração	45
3.5. Mineração de Ferro	45
3.5.1. Origem da Mineração de Ferro	46
3.5.2. Reservas	46
3.5.3. Produção	47
3.5.4. Preço	48
3.5.5. Investimentos	49
4. Aplicação ao Projeto de Expansão de uma Mina	51
4.1. Introdução	51
4.2. Premissas	51
4.2.1. Reservas Minerais	53
4.2.2. Investimentos	53
4.2.3. Custo e Despesas	54
4.2.4. Preço do Minério de Ferro	54
4.2.5. Custo de Capital	55
4.3. Modelagem Financeira do Projeto	55
4.4. Flexibilidade do Projeto	56
4.4.1. Opção de Expandir	57

4.5. Solução	59
4.5.1. Modelagem Determinística: FCD sem Opção	59
4.5.2. Determinação da Volatilidade	61
4.5.3. Aplicando o Modelo Binomial	64
4.5.4. Opção de Expandir a Capacidade de Produção	65
5. Conclusões e Recomendações	68
5.1. Conclusões	68
5.2. Sugestões para Trabalhos Futuros	69
6. Referências Bibliográficas	70
Apêndice	73

Lista de tabelas

Tabela 1 – Comparação Opção Financeira x Opção Real	24
Tabela 2 – Classificação da produção e das reservas minerais brasileiras no mundo	42
Tabela 3 – Resumo do comercio exterior por substancias (1º semestre/2013)	44
Tabela 4 – Modelo de fluxo de caixa	55
Tabela 5 – Fluxo de caixa determinístico da operação 140 mtpa	60
Tabela 6 – Preço de histórico do minério de ferro em US\$/ton	61

Lista de figuras

Figura 1 – Quatro tipos de opções reais	24
Figura 2 – Modelo binomial	30
Figura 3 – Diagrama sequencial do modelo de Copeland & Antikarov	34
Figura 4 – Evolução do comércio exterior de bens minerais	42
Figura 5 – Distribuição das exportações por produto (1º semestre de 2013)	44
Figura 6 – Produção mundial e brasileira de minério de ferro 2000 – 2011	48
Figura 7 – Preço do minério de ferro nos últimos 10 anos	49
Figura 8 – Histórico de investimentos no período de 2007 – 2012	50
Figura 9 – Investimentos por tipo de minério no Brasil	50
Figura 10 – Valor esperado do projeto	63
Figura 11 – Árvore de eventos do projeto sem opção	65
Figura 12 – Árvore de decisão do projeto com opção de expansão	66
Figura 13 – Política ótima de investimentos – opção de expansão	66
Figura 14 – Valor da opção	67