



**Alexandre Panza Vidal**

**Avaliação de Projeto de Mineração Aplicando a Teoria de  
Opções Reais**

**Dissertação de Mestrado**

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

Orientador: Prof. Luiz Felipe Jacques da Motta  
Co-Orientador: Prof. Luiz Eduardo Teixeira Brandão

Rio de Janeiro

Julho de 2008



**Alexandre Panza Vidal**

## **Avaliação de Projeto de Mineração Aplicando a Teoria de Opções Reais**

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

**Prof. Luiz Felipe Jacques da Motta**

Orientador

Departamento de Administração – PUC-Rio

**Prof. Luiz Eduardo Teixeira Brandão**

Co-Orientador

Departamento de Administração – PUC-Rio

**Prof. Marcelo Cabus Klotzle**

Departamento de Administração – PUC-Rio

**Prof. Leonardo Lima Gomes**

Neoenergia

**Prof. Nizar Messari**

Vice-Decano de Pós-Graduação do CCS

Rio de Janeiro, 24 de julho de 2008

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

### **Alexandre Panza Vidal**

Graduou-se em Engenharia de Produção pela PUC RIO em 2004 e concluiu o mestrado de administração de empresas pela PUC RIO em 2008. Atuou na área de avaliação de negócios e planejamento financeiro em empresas de grande porte, nacional e multinacional. Seus interesses de pesquisa estão relacionados à avaliação de projetos de investimento, planejamento estratégico, avaliação de desempenho corporativo e processos de fusões e aquisições de empresas.

#### Ficha Catalográfica

Vidal, Alexandre Panza

Avaliação de projeto de mineração aplicando a teoria de opções reais / Alexandre Panza Vidal; orientador: Luiz Felipe Jacques da Motta; co-orientador: Luiz Eduardo Teixeira Brandão. – 2008.

75 f. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Administração) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

Inclui bibliografia

1. Administração - Teses. 2. Opções reais. 3. Análise de projetos. 4. Análise de decisões. I. Motta, Luiz Felipe Jacques da. II. Brandão, Luiz Eduardo Teixeira. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Administração. IV. Título.

CDD 658

Dedico este trabalho aos meus pais, namorada e irmã, que me deram apoio e incentivo.

## **Agradecimentos**

Agradeço ao meu orientador, Professor Luiz Felipe, pela ajuda, contribuições, interesse e apoio para realização deste trabalho.

Agradeço ao Professor Luiz Brandão pela co-orientação e contribuições importantes sobre o tema escolhido.

Agradeço a todos os professores que contribuíram direta e indiretamente ao longo do curso de mestrado.

Agradeço à Marcelle por toda paciência e incentivo.

## Resumo

Vidal, Alexandre Panza; Motta, Luiz Felipe Jacques da; Brandão, Luiz Eduardo Teixeira. **Avaliação de Projeto de Mineração Aplicando a Teoria de Opções Reais**. Rio de Janeiro, 2008. 75p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A demanda por commodities mineral e energético no mundo vem sofrendo um forte aumento nos últimos anos causado principalmente pelo crescimento da economia chinesa. No setor de minério de ferro movimentos de aquisições e consolidações são cada vez mais frequentes pois grandes grupos siderúrgicos buscam, por meio de aquisições, garantir o fornecimento de seu principal insumo e se proteger contra a forte variação do preço no mercado e, por outro lado, empresas de mineração, ao se consolidarem, se protegem contra essas ameaças. A avaliação de novos projetos de mineração é fundamental para identificar o valor da empresa ao considerarmos que uma empresa de mineração é um portfólio de projetos. Dada as características de alguns projetos de mineração, o uso da Teoria de Opções Reais permite uma avaliação mais eficiente do valor destes projetos em função das flexibilidades gerenciais e incertezas de mercado. Esta dissertação procura rever e aplicar os conceitos de opções reais utilizando a probabilidade neutra ao risco e processo estocástico com *drifts* de crescimento da variável de incerteza através de um projeto de mineração hipotético com a opção de expandir sua capacidade em um prazo de 5 anos.

## Palavras-chave

Opções Reais; Análise de Projetos; Análise de Decisões

## Abstract

Vidal, Alexandre Panza; Motta, Luiz Felipe Jacques da; Brandão, Luiz Eduardo Teixeira. **Mining Project Valuation Applying The Real Option Theory**. Rio de Janeiro, 2008. 75p. MSc. Dissertation - Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The world demand for mineral and energetic commodities is rising strongly in the last years due mainly to the growth of the Chinese economy. In the iron ore industry movements of merger and acquisition are more frequent therefore steel producers groups are looking to, by means of acquisition, guarantee their iron ore supply and to protect against the huge volatility of price in the market. On the other hand mining companies are protecting their business against these threats by merger operations. In this context, the valuation of new mining projects is essential to identify the enterprise value, considering that a mining company is a portfolio of projects. Given the characteristics of some mining projects, the use of the Real Option Theory allows a more efficiently valuation be done in presence of flexibilities and market uncertainties. This thesis intent to apply the concepts of real option, considering the risk neutral probability and stochastic process with growth drift of the variable of uncertainty, thru a hypothetic mining project, which holds a capacity expansion option that can be exercised in the five year time.

## Keywords

Real Option; Valuation; Decision Analysis

## Sumário

1	Introdução	12
1.1.	Objetivos	13
1.2.	Delimitação do Estudo	14
1.3.	Relevância do Estudo	15
1.4.	Estrutura da Dissertação	15
2	Referencial Teórico	16
2.1.	Modelagem Financeira Tradicional	16
2.1.1.	Fluxo de Caixa Descontado	17
2.1.2.	Custo de Capital	18
2.2.	Teoria das Opções Reais	19
2.2.1.	Opções Financeiras	20
2.2.2.	Tipos de Opções Reais	22
2.2.3.	Movimento Geométrico Browniano	25
2.2.4.	Princípios da Neutralidade ao Risco	26
2.2.5.	Modelo Binomial	28
2.2.6.	Preço de Mercado do Risco	30
2.2.7.	Modelo de Avaliação de Opções Reais	32
2.2.8.	Simulação de Monte Carlo	35
3	Mercado de Mineração no Brasil	37
3.1.	Histórico	37
3.2.	Condições Atuais de Mercado	38
3.3.	Projeto de Mineração	40
3.4.	A Teoria de Opções Reais na Avaliação de Ativos de Recursos Naturais	44
4	Aplicação ao Projeto de Expansão de uma Mina	45
4.1.	Introdução	45
4.2.	Premissas	45
4.2.1.	Reservas Minerais	47
4.2.2.	Investimentos	47

4.2.3. Custo e Despesas	49
4.2.4. Preço do Minério de Ferro	50
4.2.5. Custo de Capital	51
4.3. Modelagem Financeira do Projeto	52
4.4. Flexibilidade do Projeto	54
4.4.1. Opção de Expandir	54
4.5. Solução	56
4.5.1. Modelagem Determinística: FCD sem Opção	56
4.5.2. Determinação da Volatilidade	58
4.5.3. Risco do Projeto	61
Árvore de Eventos	63
4.5.5. Opção de Expansão (Árvore de Decisão)	66
5 Conclusões e Recomendações	70
5.1. Conclusões	70
5.2. Sugestões para Trabalhos Futuros	71
6 Referências Bibliográficas	73
Anexo I	75

## Lista de figuras

Figura 1 – Quatro Tipos de Opções Reais	22
Figura 2 – Modelo Binomial	28
Figura 3 – Resumo do Modelo da Copeland & Antikarov	32
Figura 4 – Brasil no Ranking Internacional de Produção por Minerais	37
Figura 5 – Relação oferta-demanda de minério de ferro	38
Figura 6 – Curva histórica e esperada de preço FOB Itabira para Europa de finos de minério de ferro (em unidades de Fe seca)	39
Figura 7 – Etapas da Obtenção de Direitos Minerários	41
Figura 8 – Classificação do Minério de Ferro por Produto	43
Figura 9 – Investimento de Recentes Projetos de Minério de Ferro	48
Figura 10 – Referências de custo de produção e transporte até porto de embarque de diferentes projetos de minério de ferro	49
Figura 11 – Obtenção do Custo de Capital	51
Figura 12 – Comportamento do processo estocástico do preço do minério	60
Figura 13 – Valor esperado do projeto	60
Figura 14 – FCD do projeto de mineração à taxa livre de risco	62
Figura 15 – Modelo da árvore binomial do projeto	64
Figura 16 – Árvore de eventos do projeto	65
Figura 17 – Opção de expansão da produção	66
Figura 18 – Árvore de decisão do projeto com opção de expansão	67
Figura 19 – Frequência da decisão de expandir	68
Figura 20 – Sensibilidade do investimento para expansão do projeto	68
Figura 21 – Sensibilidade da volatilidade do preço do minério	69

## Lista de tabelas

Tabela 1 – Comparação Opção Financeira x Opção Real	22
Tabela 2 – Premissas adotadas para avaliação do projeto de mineração	46
Tabela 3 – Método de precificação do minério de ferro	50
Tabela 4 – Valores esperados do preço do minério de ferro para cada ano do projeto	51
Tabela 5 – Modelo de fluxo de caixa	53
Tabela 6 – Opção de expansão da mina	56
Tabela 7 – FCD do projeto de mineração em operação	57
Tabela 8 – Preço de histórico do minério de ferro em US\$/dm <sup>3</sup>	58
Tabela 9 – <i>Drift</i> variável do preço do minério de ferro no processo estocástico	59