



Rafael Alcides Raphael

**Uma Aplicação da Teoria de Opções Reais na Avaliação
Econômico-Financeira de Projetos e Análise das
Flexibilidades Operacionais na Indústria de Alumínio**

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
Co-orientador: Prof. Carlos de Lamare Bastian Pinto

Rio de Janeiro, agosto de 2010



Rafael Alcides Raphael

**Uma Aplicação da Teoria de Opções Reais na Avaliação
Econômico-Financeira de Projetos e Análise das
Flexibilidades Operacionais na Indústria de Alumínio**

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. Carlos de Lamare Bastian Pinto

Co-Orientador

Departamento de Administração – PUC-Rio

Prof. Leonardo Lima Gomes

Departamento de Administração - PUC-Rio

Prof. Celso Funcia Lemme

UFRJ

Prof^a. Mônica Herz

Vice-Decana de Pós-Graduação do CCS

Rio de Janeiro, 10 de agosto de 2010

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

Rafael Alcides Raphael

Engenheiro de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1999), pós-graduado em Finanças Corporativas pelo IBMEC (2003) e certificado como Profissional em Gerenciamento de Projetos pelo Project Management Institute desde 2005. Experiência profissional em empresas multinacionais como Unisys e Koch Industries, onde atuou em cargos gerenciais nas áreas de finanças e desenvolvimento de negócios.

Ficha Catalográfica

Raphael, Rafael Alcides

Uma aplicação da teoria de opções reais na avaliação econômico-financeira de projetos e análise das flexibilidades operacionais na indústria de alumínio / Rafael Alcides Raphael ; orientador: Luiz Eduardo Teixeira Brandão ; co-orientador: Carlos de Lamare Bastian Pinto. – 2011.

82 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Administração, 2011.

Inclui bibliografia

1. Administração – Teses. 2. Opções reais. 3. Avaliação de projetos. 4. Flexibilidade gerencial. 5. Indústria de alumínio. 6. Preços de commodities. 7. Energia elétrica. 8. Smelter. I. Brandão, Luiz Eduardo Teixeira. II. Pinto, Carlos de Lamare Bastian. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Administração. IV. Título.

CDD: 658

À minha mãe, Eliana Dias Raphael (*in memoriam*)

Agradecimentos

Aos meus professores do IAG PUC-RJ e, em especial, ao meu orientador, Prof. Luiz Eduardo Teixeira Brandão, pelos ensinamentos que formaram os alicerces desta dissertação.

Ao meu co-orientador, Prof. Carlos de Lamare Bastian-Pinto, pelo apoio essencial na elaboração deste trabalho.

Ao colega Marcelo Desterro, pela dedicação e fundamental participação.

Ao colega Alexandre Vianna, pela valiosa contribuição.

Aos meus colegas de turma que compartilharam dos bons momentos e dos desafios ao longo deste curso.

À minha família, pelo apoio incondicional de sempre.

Resumo

Raphael, Rafael Alcides; Brandão, Luiz Eduardo Teixeira. **Uma Aplicação da Teoria de Opções Reais na Avaliação Econômico-Financeira de Projetos e Análise das Flexibilidades Operacionais na Indústria de Alumínio.** Rio de Janeiro, 2010. 82p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A grande competitividade do mercado mundial de commodities faz com que as indústrias busquem soluções que lhes permitam gerar maior rentabilidade em suas operações. Esse processo intensifica a busca por otimizações de operação e processos produtivos mais eficientes, incluindo alternativas competitivas de fontes de insumos. Nesse contexto a flexibilidade gerencial pode atuar como um importante fator no aumento do valor de projetos industriais, através da possibilidade de proporcionar redução de custos operacionais através da flexibilização do processo produtivo. No caso da indústria de alumínio, onde há presença de volatilidade no custo de seus insumos, principalmente da energia elétrica, além da volatilidade do próprio alumínio, a possibilidade de alternância na estrutura da cadeia produtiva pode trazer janelas de oportunidades para redução de custos a partir da flexibilização do processo produtivo. Essa flexibilidade de alternar a origem do metal que é introduzido na fundição gera uma opção ao gestor que poderá utilizar o alumínio proveniente das salas de redução eletrolítica, cujo custo de produção é altamente influenciado pelo custo da energia elétrica, ou alternativamente, utilizar lingotes de alumínio comprados no mercado. A decisão de exercício da opção ocorrerá em função destas alternativas de modelo operacional, tendo em vista a variância no preço de seus insumos. Essa dissertação propõe a utilização da Teoria de Opções Reais para avaliar as opções de alternância existentes entre as fases de redução e fundição do alumínio, utilizando um caso de uma empresa brasileira no setor de alumínio, a Valesul. Os resultados indicam que essa metodologia é capaz de valorar ganhos econômicos não contemplados pelos tradicionais métodos de avaliação, indicando a influência positiva da flexibilidade gerencial na eficiência operacional e aumento da competitividade destas indústrias.

Palavras-chave

Opções reais; avaliação de projetos; flexibilidade gerencial; indústria de alumínio; preços de commodities; energia elétrica; *Smelter*

Abstract

Raphael, Rafael Alcides; Brandão, Luiz Eduardo Teixeira (Advisor). **An Application of the Real Options Theory in Project Valuation and Analysis of Operational Flexibility in the Aluminum Industry.** Rio de Janeiro, 2010. 82p. MSc. Dissertation - Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The strong competitiveness of the commodities market forces industries to pursue solutions that allow them to generate greater profitability in their operations. This process intensifies the need for optimizations in the operations and for more efficient production processes, including competitive alternative supply sources. Within this context, managerial flexibility can play an important role to increase the value of industrial projects, due to the possibility of providing operational cost reduction through flexible production processes. In the case of the aluminum industry, where there is volatility in the cost of raw materials, especially electrical energy in addition to the volatility of the aluminum itself, the possibility of switching the production chain structure may bring opportunities for cost reduction based on flexible production processes. The flexibility to switch the origin of the metal that is introduced into the Cast house generates an option for management that will be able to use aluminum coming from the Reduction plant, where cost is highly influenced by electrical energy costs, or alternatively use the aluminum ingots purchased directly from the market. The decision to exercise this option will be based on these alternative operational models, in view of their costs which are influenced by the price volatility of the raw materials. This study proposes the use of Real Options Theory to analyze the switch option in the aluminum Reduction and Casting phases, based on the case of Valesul, a Brazilian company in the aluminum sector. The obtained results indicate that this methodology is able to capture the economic value added that are not contemplated by the traditional valuation methods, pointing to the positive influence of managerial flexibility in the operational efficiency and increase of competitiveness within these industries.

Key words

Real options; project valuation; managerial flexibility; aluminum industry; price of commodities; electrical energy; *smelter*

Sumário

1. Introdução	13
1.1. O Problema de Estudo	13
1.2. Objetivos do Estudo	14
1.3. Relevância do Estudo	16
1.4. Delimitação do Trabalho	17
1.5. Estrutura da Dissertação	17
2. Revisão de Literatura e Referencial Teórico	19
2.1. Revisão de Literatura	19
2.2. Referencial Teórico	25
2.2.1. Valor Presente Líquido e o Método do Fluxo de Caixa Descontado	25
2.2.2. Teoria de Opções Reais	26
3. Análise da Indústria de Alumínio e do Setor de Energia Elétrica	32
3.1. A Indústria do Alumínio	32
3.2. O Setor de Energia Elétrica no Brasil	35
3.2.1. Breve Histórico	35
3.2.2. Características do Setor no Brasil	38
3.2.3. Funcionamento do Mercado e Precificação	43
4. O Modelo Proposto: Avaliação por Opções Reais do <i>Smelter</i> Valesul	47
4.1. O Modelo Teórico	47
4.1.1. Modelagem com Movimento de Reversão à Média	47
4.1.2. Modelos de Reversão à Média	49
4.2. Análise das Incertezas e Definição de Parâmetros	51
4.2.1. Análise do Preço do Alumínio	51
4.2.2. Análise do Preço da Energia Elétrica	53
4.3. O Modelo Proposto – Aplicação ao <i>Smelter</i> de Alumínio: Caso Valesul	56
4.3.1. Descrição do Caso	56
4.3.2. Premissas do Modelo	59
4.3.3. Estrutura do Modelo	66
5. Resultado	71
6. Considerações Finais	76
6.1. Conclusões	76
6.2. Limitações e Sugestões para Estudos Futuros	77
7. Referências Bibliográficas	79

Lista de figuras

Figura 1: Modelo de Cox, Ross e Rubinstein	30
Figura 2: Etapas do processo de obtenção de alumínio (fonte:ABAL)	33
Figura 3: Agentes do setor elétrico brasileiro (fonte: MME)	37
Figura 4: Oferta Interna de energia elétrica (fonte: MME)	39
Figura 5: Mundial de energia elétrica (fonte: MME)	39
Figura 6: Oferta interna de energia (fonte: MME)	40
Figura 7: Oferta mundial de energia (fonte: MME)	40
Figura 8: Oferta e demanda interna total de energia (fonte: EPE)	42
Figura 9: Oferta e demanda interna eletricidade (fonte: EPE)	42
Figura 10: PLD por subsistema (fonte: CCEE)	45
Figura 11: PLD região sudeste (fonte: CCEE)	46
Figura 12: Preços de alumínio deflacionado – média anual	52
Figura 13: Projeção PLD NEWAVE	54
Figura 14: Flexibilidade operacional do <i>smelter</i> – opção de alternância	58
Figura 15: Fluxograma – algoritmo da opção de alternância	68
Figura 16: Resumo esquemático modelagem	70
Figura 17: Custos operacionais – rodada da simulação	71
Figura 18: Resultado simulação – custo operacional 1	72
Figura 19: Resultado simulação – custo operacional 2	73
Figura 20: Resultado simulação – custo operacional 3	73
Figura 21: Sensibilidade – saltos	74
Figura 22: Sensibilidade – troca de revestimento	75

Lista de tabelas

Tabela 1: Comparação entre opções financeiras e reais	29
Tabela 2: Insumos da produção de alumínio primário (fonte: ABAL)	34
Tabela 3: Custos de produção (fonte: ABAL)	34
Tabela 4: Funções dos principais agentes do setor (fonte: MME)	38
Tabela 5: Crescimento percentual projetado (fonte: FMI – abril/2010)	41
Tabela 6: Limites do PLD (fonte: CCEE)	44
Tabela 7: Parâmetros do MRM dos preços de alumínio	52
Tabela 8: Premissas – MRM com saltos	55
Tabela 9: Parâmetros do MRM dos preços da energia elétrica	55
Tabela 10: Resumo das premissas	65
Tabela 11: Resumo das premissas – variáveis estocásticas	66
Tabela 12: Modelo operacional 1 – cálculo de custo	66
Tabela 13: Modelo operacional 2 – cálculo de custo	67
Tabela 14: Custo de alternância	67
Tabela 15: Sensibilidade – saltos	74
Tabela 16: Sensibilidade – troca de revestimento	75