



**André Fichel Nascimento**

**Avaliação de Investimentos em Tecnologia da Informação:  
uma Perspectiva de Opções Reais**

**Dissertação de Mestrado**

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

Orientador: Tara Keshar Nanda Baidya

Rio de Janeiro

Abril de 2005



**André Fichel Nascimento**

**Avaliação de Investimentos em Tecnologia da  
Informação: uma Perspectiva de Opções Reais**

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

**Prof. Tara Keshar Nanda Baidya**  
Orientador  
DEI – PUC-Rio

**Prof. José Paulo Teixeira**  
DEI – PUC-Rio

**Prof. Carlos Patrício Samanez**  
DEI – PUC-Rio

**Prof. José Eugênio Leal**  
Coordenador Setorial do Centro  
Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 11 de Abril de 2005

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

### **André Fichel Nascimento**

Graduou-se em Engenharia da Computação na PUC-Rio em Agosto de 2001. Durante o período de graduação, estagiou em diversas empresas e foi bolsista CNPQ da empresa Espaço A+C e bolsista IBM do TecComm, grupo de pesquisas em comércio eletrônico, na PUC-Rio. Após a graduação foi consultor da Advus/Lumina durante quase dois anos e capacitou-se em Gerência de Projetos pela Fundação Vanzolini na USP em 2002. Possui interesse nas áreas de Informática, Finanças e Gerência de Projetos.

#### Ficha Catalográfica

Nascimento, André Fichel

Avaliação de investimentos em tecnologia da informação : uma perspectiva de opções reais / André Fichel Nascimento ; orientador: Tara Keshar Nanda Baidya. – Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Engenharia Industrial, 2005.

151 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Avaliação de projetos. 3. Opções reais. 4. Simulação de Monte Carlo. 5. Regressão dos mínimos quadrados. 6. Tecnologia da informação. I. Baidya, Tara Keshar Nanda. II. Pontifícia Universidade do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

Aos meus pais, que sempre me ajudaram,  
dando-me muita força e incentivo

## Agradecimentos

A Deus, por me dar esta oportunidade.

Aos meus pais, pelo amor, carinho, educação, paciência e todo apoio dado durante o mestrado.

Ao meu orientador, Professor Tara Keshar Nanda Baidya, pelo estímulo, pela paciência, pela amizade e pela colaboração neste trabalho.

Aos meus professores José Paulo Teixeira, Carlos Patrício Samanez e Leonardo Lima pelos ensinamentos dados.

A Marcelo Sant'Anna, pelo estímulo e direcionamento.

Aos meus amigos e colegas de estudo, pela companhia e pela amizade.

A todos os meus familiares que de alguma forma me ajudaram ou me estimularam.

A todos os funcionários do Departamento de Engenharia Industrial, por tornar a minha vida mais fácil.

À CAPES e ao Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

## Resumo

Nascimento, André Fichel; Baidya, Tara Keshar Nanda. **Avaliação de Investimentos em Tecnologia da Informação: uma Perspectiva de Opções Reais**. Rio de Janeiro, 2005. 151p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Com o crescimento da participação da indústria tecnológica na economia global durante a última década, a avaliação de investimentos em tecnologia de informação, ou TI, vem merecendo cada vez mais atenção por profissionais e estudiosos de finanças. No entanto, devido às características dinâmicas e incertas dos projetos de TI, as ferramentas tradicionais de orçamentação de capital não são adequadas para avaliar este tipo de investimento. Por outro lado, a aplicação do método das opções reais permite uma forma de se quantificar a geração de valor em investimentos com características semelhantes aos investimentos em TI. Este estudo visa justamente aplicar a teoria das opções reais na avaliação de investimentos em tecnologia da informação. Para isso, relacionam-se dois dos principais modelos de avaliação de investimentos em tecnologia da informação, baseados em opções reais. Os modelos adotados levam em conta as incertezas nos custos e nos benefícios do projeto, além da possibilidade da ocorrência de um evento catastrófico, que proporcionaria o fim do projeto. No presente trabalho, avalia-se a decisão de investimento tanto para projetos de pesquisa e desenvolvimento quanto para projetos de aquisição e desenvolvimento de ativos de TI. Uma atenção especial foi dada à solução numérica dos modelos. Métodos numéricos baseados em simulação de Monte Carlo foram analisados e utilizados para resolver os exemplos.

## Palavras-chave

Avaliação de Projetos; Opções Reais; Simulação de Monte Carlo; Regressão dos Mínimos Quadrados; Tecnologia da Informação (TI).

## **Abstract**

Nascimento, André Fichel; Baidya, Tara Keshar Nanda. **Valuation of Information Technology Investments: a Real Options Perspective**. Rio de Janeiro, 2005. 151p. MSc. Dissertation - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Based on the growth of the technological industry's share of the economy during the last decade, the valuation of information technology (IT) investments has recently been receiving more and more attention. However, due to the dynamic and uncertain features of IT projects, traditional capital budgeting techniques do not apply to this type of investment. On the other hand, putting in practice real option valuation enables quantification of the value generated by investments with similar characteristics of IT investments. This study does just that, by applying the real options theory to value information technology investments. In order to achieve this, a couple of models based on real options and applied to IT investment valuation were considered. The approach takes into account uncertainty in costs and benefits to be generated, as well as the possible occurrence of catastrophic events, which could put an end to the project. In the current work, the model presented can be used to value resource and development projects as well as IT acquisition and development projects. Special attention has been given to the numerical solution of the models, where numerical methods based on Monte Carlo simulation were first analyzed and then used to solve the examples.

## **Keywords**

Project Valuation; Real Options; Monte Carlo Simulation; Least Squares Regression; Information Technology (IT).

# Sumário

1	Introdução	16
2	Investimentos em Tecnologia da Informação	19
2.1.	Características dos Investimentos em Tecnologia da Informação	19
2.2.	Avaliação de Investimentos em Tecnologia da Informação	22
3	Avaliação de Opções Americanas	26
3.1.	Métodos Numéricos Baseados em Simulação	26
3.1.1.	Método de Grant, Vora e Weeks	28
3.1.1.1.	Resumo do Algoritmo	30
3.1.1.2.	Determinação dos Parâmetros do Método	32
3.1.1.3.	Análise de Convergência	33
3.1.2.	Método dos Mínimos Quadrados de Monte Carlo	35
3.1.2.1.	Exemplo Numérico – Cálculo de uma Put Americana	36
3.1.2.2.	Determinação dos Parâmetros do Método	42
3.1.2.2.1.	Funções Base	42
3.1.2.2.2.	Número de Simulações	44
3.1.2.2.3.	Número de Datas de Exercício	44
3.1.2.3.	Análise de Convergência	47
3.2.	Extensões	48
3.2.1.	Técnicas de Redução de Variância	49
3.2.2.	Seqüências Quase-aleatórias	50
3.2.3.	Técnicas de Aceleração de Convergência para o Método de GVW	51
4	Modelos Relacionados a Investimentos em Tecnologia da Informação	52
4.1.	Modelo de Schwartz e Zozaya (2000)	52
4.1.1.	Modelo para Projetos de Desenvolvimento	55
4.1.1.1.	Valor da Oportunidade de Investimento	57



4.1.2. Modelo para Projetos de Aquisição	59
4.1.2.1. Valor do Ativo de TI	60
4.1.2.2. Valor da Oportunidade de Investimento	61
4.2. Modelo de Schwartz (2002)	62
4.2.1. Modelo para Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento	63
4.2.1.1. Valor do Projeto	65
4.2.1.2. Valor da Oportunidade de Investimento	66
5 Aplicações	67
5.1. Desenvolvimento de uma Nova Tecnologia	67
5.1.1. Solução Numérica	71
5.1.1.1. Valor do Projeto com Opção de Abandono	72
5.1.1.2. Valor do Projeto sem Opção de Abandono	74
5.1.2. Resultados Numéricos	75
5.1.3. Análise de Sensibilidade	79
5.1.3.1. Parâmetros do Custo	79
5.1.3.2. Parâmetros do Fluxo de Caixa	82
5.1.3.3. Outros Parâmetros	85
5.2. Aquisição de um Ativo de TI	88
5.2.1. Solução Numérica	91
5.2.1.1. Valor do Projeto com Opção de Espera	91
5.2.1.2. Valor do Projeto sem Opção de Espera	93
5.2.2. Resultados Numéricos	93
5.2.3. Análise de Sensibilidade	96
5.2.3.1. Parâmetros do Custo	96
5.2.3.2. Parâmetros do Fluxo de Caixa	99
5.2.3.3. Outros Parâmetros	101
6 Conclusão	104
7 Referências Bibliográficas	106

Apêndice A: Resultados da Análise de Sensibilidade do Projeto de P&D	108
A.1. Resultados Numéricos	108
A.2. Gráficos Complementares	111
Apêndice B: Resultados da Análise de Sensibilidade do Projeto de Aquisição	114
B.1. Resultados Numéricos	114
B.2. Gráficos Complementares	117
Apêndice C: Réplica de Resultados de Araújo (2004)	120
Apêndice D: Réplica dos Resultados de Schwartz (2002)	122
D.1. Resultados da Simulação	123
D.2. Resultados da Análise de Sensibilidade	124
Apêndice E: Desenvolvimento Matemático	126
E.1. Modelo de Schwartz e Zozaya (2000)	126
E.1.1. Equação (4.7) da Oportunidade de Investimento do Projeto de Desenvolvimento	126
E.1.2. Equação (4.19) da Oportunidade de Investimento do Projeto de Aquisição	129
E.2. Modelo de Schwartz (2002)	130
E.2.1. Equação (4.23) do Valor do Projeto	130
E.2.2. Equação (4.27) da Oportunidade de Investimento	132
Apêndice F: Código Fonte dos Algoritmos	135
F.1. Método Binomial para Opção Americana	135
F.2. Método de GVW para Opção Americana sobre ativo com MGB	136
F.3. Método LSM	138
F.4. Valor do Projeto de P&D com Opção de Abandono via LSM	141
F.5. VPL do Projeto de P&D	145
F.6. Valor do Projeto de Aquisição com Opção de Espera via LSM	147
F.7. VPL do Projeto de Aquisição	150

## Lista de Figuras

Figura 1: Diagrama do RUP	
Fonte: site <a href="http://www.msc-inc.net/images/rup_fu1.jpg">http://www.msc-inc.net/images/rup_fu1.jpg</a>	21
Figura 2: Ilustração dos passos do algoritmo de avaliação do método de GVW	32
Figura 3: Gráfico da análise de convergência de exemplo em Araújo (2004)	46
Figura 4: Ranking das técnicas de redução de variância em função da velocidade de e da redução do erro de convergência	49
Figura 5: Classificação da homogeneidade das seqüências SMC e SQMC em função do número de dimensões do problema	50
Figura 6: Diagrama do projeto de TI de aquisição	
Fonte: Schwartz e Zozaya (2000), p.4	54
Figura 7: Diagrama do projeto de TI de desenvolvimento	
Fonte: Schwartz e Zozaya (2000), p.4	54
Figura 8: Diagrama do projeto genérico de TI	
Fonte: Schwartz e Zozaya (2000), p.4	55
Figura 9: Simulação das variáveis de estado do exemplo do projeto de P&D	76
Figura 10: Histograma da percentagem de caminhos abandonados	78
Figura 11: Percentual acumulado de abandono	78
Figura 12: Gráfico do custo esperado versus o valor do projeto de P&D	80
Figura 13: Percentual de caminhos abandonados em função do custo esperado no projeto de P&D	80
Figura 14: Gráfico da taxa máxima de investimento versus o valor do projeto de P&D	81
Figura 15: Percentual de caminhos abandonados em relação à taxa máxima de investimento no projeto de P&D	82
Figura 16: Gráfico do fluxo de caixa versus o valor do projeto de P&D	83

Figura 17: Percentual de caminhos abandonados em relação ao retorno instantâneo do fluxo de caixa no projeto de P&D	84
Figura 18: Gráfico da volatilidade do fluxo de caixa versus o valor do projeto de P&D	84
Figura 19: Gráfico do vencimento da patente versus o valor do projeto de P&D	85
Figura 20: Gráfico do múltiplo do fluxo de caixa versus o valor do projeto de P&D	86
Figura 21: Gráfico da taxa de desconto versus o valor do projeto de P&D	86
Figura 22: Gráfico da correlação entre custo e fluxo de caixa versus o valor do projeto de P&D	87
Figura 23: Percentual de caminhos abandonados em relação à taxa de ocorrência de catástrofe no projeto de P&D	88
Figura 24: Simulação das variáveis de estado do exemplo do projeto de aquisição de TI	94
Figura 25: Diagrama da regra ótima de investimento do projeto de aquisição com opção de espera	95
Figura 26: Gráfico do custo esperado versus o valor do projeto de aquisição	97
Figura 27: Gráfico da relação entre a regra de investimento e a taxa de mudança nos custos no projeto de aquisição	97
Figura 28: Gráfico do custo esperado versus o valor do projeto de aquisição	98
Figura 29: Gráfico do fluxo de caixa por período versus o valor do projeto de aquisição	99
Figura 30: Gráfico da relação entre a regra de investimento e o fluxo de caixa anual no projeto de aquisição	100
Figura 31: Gráfico da relação entre a volatilidade do FC, o percentual de inv. adiados e o tempo médio de espera no projeto de aquisição	101
Figura 32: Gráfico da vida útil do ativo de TI versus o valor do projeto de aquisição	102

Figura 33: Gráfico da taxa de desconto versus o valor do projeto de aquisição	102
Figura 34: Gráfico da correlação versus o valor do projeto de aquisição	103
Figura 35: Gráfico da incerteza técnica dos custos versus o valor do projeto de P&D	111
Figura 36: Percentual de caminhos abandonados em relação ao valor do fluxo de caixa no projeto de P&D	111
Figura 37: Gráfico do parâmetro de tendência do fluxo de caixa versus o valor do projeto de P&D	112
Figura 38: Gráfico do prêmio de risco do fluxo de caixa versus o valor do projeto de P&D	112
Figura 39: Gráfico da taxa de ocorrência de catástrofe versus o valor do projeto de P&D	113
Figura 40: Gráfico da taxa de mudança no custo de ativos de TI versus o valor do projeto de aquisição	117
Figura 41: Gráfico do prêmio de risco dos custos versus o valor do projeto de aquisição	117
Figura 42: Gráfico do parâmetro de tendência do fluxo de caixa versus o valor do projeto de aquisição	118
Figura 43: Gráfico da volatilidade do fluxo de caixa versus o valor do projeto de aquisição	118
Figura 44: Gráfico do prêmio de risco do fluxo de caixa versus o valor do projeto de aquisição	119
Figura 45: Gráfico da regra de investimento em relação à taxa de desconto no projeto de aquisição	119
Figura 46: Influência da probabilidade de poisson no processo regido por $F(V,K)$	127
Figura 47: Influência da probabilidade de poisson no processo regido por $F(C,K,t)$	133

## Lista de Tabelas

Tabela 1: Balanço patrimonial financeiro	20
Tabela 2: Resultados da simulação de uma <i>put</i> americana através do método de GVW	34
Tabela 3: Matriz de simulação do preço da ação	36
Tabela 4: Matriz de fluxos de caixa atualizada no instante final	37
Tabela 5: Matriz de parada ótima atualizada no instante final	37
Tabela 6: Dados para a regressão no instante 2	38
Tabela 7: Comparação dos valores de exercício imediato e de continuação no instante 2	39
Tabela 8: Matriz de parada ótima atualizada no instante 2	39
Tabela 9: Dados para a regressão no instante 1	40
Tabela 10: Comparação dos valores de exercício imediato e de continuação no instante 1	40
Tabela 11: Matriz completa da regra ótima de exercício	41
Tabela 12: Matriz de fluxos de caixa realizados	41
Tabela 13: Análise de convergência de exemplo em Araújo (2004), em função do número de datas de exercício	45
Tabela 14: Relação dos parâmetros da opção simulada	47
Tabela 15: Resultados da simulação de uma <i>put</i> americana através do método LSM	48
Tabela 16: Parâmetros do exemplo numérico do projeto de P&D	71
Tabela 17: Resultados da simulação do exemplo do projeto de P&D	77
Tabela 18: Parâmetros do exemplo numérico do projeto de aquisição de um ativo de TI	90
Tabela 19: Resultados da simulação do exemplo do projeto de aquisição	95
Tabela 20: Resultados da análise de sensibilidade sobre os parâmetros de custo	108

Tabela 21: Resultados da análise de sensibilidade sobre os parâmetros do fluxo de caixa	109
Tabela 22: Resultados da análise de sensibilidade sobre os parâmetros restantes	110
Tabela 23: Resultados da análise de sensibilidade sobre os parâmetros de custo	114
Tabela 24: Resultados da análise de sensibilidade sobre os parâmetros do fluxo de caixa	115
Tabela 25: Resultados da análise de sensibilidade sobre os parâmetros restantes	116
Tabela 26: Parâmetros da opção de venda analisada por Araújo (2004)	120
Tabela 27: Réplica dos resultados da simulação de Araújo (2004)	121
Tabela 28: Parâmetros do projeto de P&D analisado por Schwartz (2002)	122
Tabela 29: Réplica dos resultados da simulação de Schwartz (2002)	123
Tabela 30: Análise dos parâmetros de custo	124
Tabela 31: Análise dos parâmetros do fluxo de caixa	124
Tabela 32: Análise do restante dos parâmetros do modelo	125