

ANTÔNIO AMARO SOBRINHO

DECISÃO DE INVESTIMENTOS EM PROJETOS DE PESQUISA E
DESENVOLVIMENTO NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA USANDO A
TEORIA DAS OPÇÕES REAIS

Dissertação apresentada à Faculdade
de Engenharia do Campus de
Guaratinguetá, Universidade
Estadual Paulista, para a obtenção
do título de Mestre em Engenharia
Mecânica na área de Projetos e
Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Augusto Silva Marins
Co-orientador: Prof. Dr. Edgard Dias Batista Junior

Guaratinguetá
2006

Amaro Sobrinho, Antônio

A485d Decisão de investimento em projetos de pesquisa e desenvolvimento na indústria aeronáutica usando a teoria das opções reais / Antônio Amaro Sobrinho. – Guaratinguetá : [s.n.], 2006

116 f. : il.

Bibliografia: f.(103-107)

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2006

Orientador: Fernando Augusto Silva Marins

1. Processo decisório I. Título

CDU 65.012.4

UNESP  UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

**DECISÃO DE INVESTIMENTOS EM PROJETOS DE PESQUISA E
DESENVOLVIMENTO NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA USANDO A
TEORIA DAS OPÇÕES REAIS**

ANTÔNIO AMARO SOBRINHO

ESTA DISSERTAÇÃO FOI AVALIADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA”

ESPECIALIDADE: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PROJETOS E MATERIAIS

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO

Prof. Dr. João Andrade de Carvalho Júnior
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. FERNANDO AUGUSTO SILVA MARINS
Orientador / UNESP-FEG

Prof. Dr. GUILHERME EUGÊNIO FILIPPO FERNANDES F^O
UNESP-FEG

Prof. Dr. EDSON DE OLIVEIRA PAMPLONA
UNIFEI

Prof. Dr. EDGARD DIAS BATISTA JÚNIOR
Co-Orientador / UNESP-FEG

Outubro de 2006

DADOS CURRICULARES

ANTÔNIO AMARO SOBRINHO

NASCIMENTO	16.07.1970 – GUARATINGUETÁ / SP
FILIAÇÃO	José Amaro Filho Maria do Carmo Leonor Amaro
1988/1994	Curso de Graduação em Engenharia Mecânica na Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá - UNESP.
2003	Curso de Pós-Graduação em Gerência de Marketing, nível de Especialização, na Universidade Veiga de Almeida.
2004	Curso de Pós-Graduação em Relações Públicas e Especialidades em Marketing, nível de Especialização, na Universidade Veiga de Almeida.
2004	Curso MBA em Gestão de Comércio Exterior e Negócios Internacionais, nível de Especialização, na Fundação Getúlio Vargas.
2004-2006	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Mestrado na Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da UNESP.

Dedico este trabalho a minha esposa Adriana e meu filho João Marcelo; ambos, cada um a seu modo, com muito amor e apoio, mostraram-me como eu poderia tornar mais tranquilo o processo de “exercer as opções de expandir meus conhecimentos”.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, fonte de vida, dons e talentos. Agradeço a Ele diariamente pela minha família e meus amigos.

Agradeço também:

ao meu orientador, Prof. Dr. Fernando Augusto Silva Marins pela dedicação e apoio. Sua objetividade, experiência e tranquilidade tornaram o estudo aqui apresentado possível e o período de sua realização menos árduo;

aos meus pais Maria e José, pois apesar dos difíceis caminhos pelos quais passamos, sempre incentivaram meus estudos;

à equipe da Biblioteca do Campus de Guaratinguetá pela dedicação e presteza no atendimento;

à equipe da seção de pós-graduação pela dedicação e empenho na resolução de problemas;

à Embraer S.A., em especial ao líder e amigo Benedito Celso de Siqueira, cuja excelência profissional estimula a busca de auto-desenvolvimento de todos os que com ele convivem.

“Não sei como o mundo me vê, mas eu me sinto como um menino brincando na praia, contente em achar aqui e ali uma pedrinha mais lisa ou uma concha mais bonita, tendo sempre diante de mim, ainda por descobrir, o grande oceano da verdade.”

Isaac Newton

SOBRINHO, A. A. **Decisão de investimentos em projetos de pesquisa e desenvolvimento na indústria aeronáutica usando a teoria das opções reais**. 2006. 116f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2006.

RESUMO

Empresas necessitam tomar decisões sobre alocação de investimentos diariamente. Abordagens mais cuidadosas dessas análises devem ser tomadas pelos gestores quando a ordem de grandeza desses investimentos é especialmente elevada. Ao focar o ganho ou manutenção da vantagem competitiva em longo prazo, através de investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) a indústria aeronáutica brasileira ainda apóia suas decisões em técnicas tradicionais, como o valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR). As limitações dessas técnicas muitas vezes passam despercebidas pelos gestores, resultando em decisões não adequadas de investimentos em projetos de P&D. Propõe-se a aplicação da técnica da Teoria das Opções Reais (TOR) para captar os diversos tipos de flexibilidade gerencial existentes nesses projetos estratégicos, através de técnicas matemáticas de entendimento mais simples. Também é objetivo desta dissertação demonstrar a viabilidade do uso da TOR pelos gestores da indústria aeronáutica brasileira. São analisados três estudos de projetos de pesquisa e desenvolvimento na indústria aeronáutica e, a partir deles, pôde-se demonstrar que a TOR é aplicável nesse processo de tomada de decisão, conduzindo a decisões adequadas. As aplicações da TOR são muitas e a intenção deste trabalho foi destacar apenas alguns tipos de uso mais comuns neste tipo de indústria. Sugerem-se aplicações complementares a esses estudos e outras abordagens promissoras para essa técnica, seja em nosso país ou no ambiente corporativo em geral.

PALAVRAS-CHAVE: Teoria das Opções Reais (TOR), tomada de decisão sob incerteza, pesquisa e desenvolvimento (P&D) na indústria aeronáutica, opções estocásticas.

SOBRINHO, A.A. **Investments decisions in R&D projects at aeronautic industry using Real Options Theory**. 2006. 116f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2006.

ABSTRACT

Daily, enterprises need make decisions about investments provision. Diligent approaches of these analysis should be taken by the managers when the magnitude of these investments is especially high. In focusing profits or to support the competitive advantage in long term, through research and development (R&D) investments, the Brazilian aeronautic industry still make decisions using traditional methodologies, as net present value (NPV) or internal return rate (IRR). The constraints of these methodologies often are unnoticed by the decision makers, resulting in not suitable R&D projects investments decisions. It is suggested the use of Real Options Analysis (ROA) in order to capturing the different managerial flexibilities types existing in such strategic projects, through simplest understanding mathematical approaches. This Master dissertation aims as well that the ROA is feasible to be used by the decision makers at the Brazilian aeronautic industry. Three research and development studies are carried out at aeronautic industry and from them could be demonstrated that ROA is applicable to these making decision processes, leading to suitable decisions. There are great deals of ROA applications and the objective of this work was to emphasize scarcely some of these most current applications at this kind of industry. It is suggested complementary applications to this work and other promising approaches for this methodology, either in our country or in the corporative environment worldwide.

KEYWORDS: Real options analysis (ROA), decision making under uncertainty, R&D investments, stochastic options.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	Esquema de um fluxo de caixa convencional.....	30
FIGURA 2 -	Esquema de um fluxo de caixa não convencional	30
FIGURA 3 -	Operação de compra de opções de compra	44
FIGURA 4 -	Encerramento de operações com preço à vista maior que preço de exercício.....	44
FIGURA 5 -	Perfil de risco da operação de compra de opções de compra	45
FIGURA 6 -	Operações de venda de opções de compra a descoberto.....	46
FIGURA 7 -	Resultado da operação de venda com preço à vista maior que o preço de exercício	47
FIGURA 8 -	Perfil de risco do lançamento de opções de compra	47
FIGURA 9 -	Início da operação de compra de opções de venda	48
FIGURA 10 -	Encerramento da operação de compra da opção de venda.....	49
FIGURA 11 -	Perfil de risco da operação de compra de opções de venda	50
FIGURA 12 -	Início da operação de venda de opções de venda	50
FIGURA 13 -	Resultado da operação de venda de opções de venda com preço à vista menor do que o preço de exercício	51
FIGURA 14 -	Perfil de risco de uma operação de venda de opções de venda.....	51
FIGURA 15 -	Comparação entre as características das opções financeiras e reais...	60
FIGURA 16 -	Árvore de eventos para projetos de P&D com opções de aprendizado e incerteza não-correlacionada	72
FIGURA 17 -	Fluxo de caixa do projeto para cálculo da TIR.....	73
FIGURA 18 -	Resultados de avaliação de projeto para diferentes métodos	74
FIGURA 19 -	Representação da tela de saída do ROAT® para opções de aprendizado e incertezas não-correlacionadas.....	75
FIGURA 20 -	Árvore de eventos para incertezas tecnológicas	80
FIGURA 21 -	Incertezas de produto/mercado nas fases de pesquisa e desenvolvimento	81
FIGURA 22 -	Projeto de P&D com opção composta e incertezas não-correlacionadas	82
FIGURA 23 -	Tela de saída do ROAT® para opções compostas européias.....	86

FIGURA 24 - Otimização estocástica: esperar versus executar a opção (adaptada de Mun, 2002).....	88
FIGURA 25 - Extrato da tela do software ROAT® para modelo de avaliação estocástica.....	95
FIGURA 26 - Grupo de funções disponíveis no ROAT®	109
FIGURA 27 - Análise de sensibilidade inclusa nas funções do ROAT®	109

LISTA DE SÍMBOLOS

a.a.	taxa de juros ao ano
α	Parâmetro de crescimento (tendência)
B	títulos da dívida sem risco
β	risco sistemático do negócio em relação ao mercado
D	risco sistemático da dívida
Δ	variação de tempo ou processo
E ()	esperança para um produto de variáveis
ε_t	variável aleatória com distribuição normal
i	taxa de desconto dos fluxos de caixa
i_r	alíquota do imposto de renda
k_d	custo do capital do credor
k_e	custo do capital do proprietário (ou acionista)
m	títulos do mercado correlacionados a projetos
PL	valor de mercado do capital do proprietário
r_f	taxa de desconto livre de risco
R_d	retorno da opção para tendência de queda
r_m	retorno esperado de uma carteira diversificada
R_u	retorno da opção para tendência de elevação
σ	parâmetro de variância
t	tempo
V_u	valor do ativo subjacente para preços em elevação
V_d	valor do ativo subjacente para preços em queda
x	variável de um processo estocástico
X	preço de exercício da opção no tempo t

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE SÍMBOLOS

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	16
1.2	OBJETIVOS	20
1.2.1	Objetivo geral	20
1.2.2	Objetivos específicos	20
1.3.	JUSTIFICATIVA.....	21
1.4	LIMITAÇÕES	21
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	22
2	DESENVOLVIMENTO	23
2.1	REVISÃO DE LITERATURA.....	23
2.2	METODOLOGIA	26
2.2	INVESTIMENTOS – MODALIDADES E TIPOS	28
2.3	TÉCNICAS DE ANÁLISE DE PROJETOS DE INVESTIMENTO	29
2.3.1	Considerações iniciais	29
2.3.2	Taxas de desconto apropriadas	31
2.3.3	Valor presente líquido (VPL)	33
2.3.4	Taxa interna de retorno (TIR)	34
2.3.4.1	Taxa interna de retorno modificada (TIRM).....	35
2.3.5	Período de recuperação do capital (<i>Pay-back</i>)	36
2.4	OPÇÕES FINANCEIRAS E OUTRAS DEFINIÇÕES	36
2.4.1	Mercado de opções financeiras	36
2.4.1.1	Definições do mercado de opções financeiras.....	37
2.4.1.2	Principais riscos do mercado de opções.....	41
2.4.1.3	Riscos específicos do mercado de opções.....	42
2.4.1.3.1	Validade.....	42
2.4.1.3.3	Opção de venda.....	42
2.4.2	Exemplos de operações com opções financeiras	43

2.4.2.1	Compra de opções de compra - assumindo uma posição titular de opções de compra.....	43
2.4.2.2	Venda de opções de compra descobertas - assumindo uma posição lançadora de opções de compra descobertas.....	45
2.4.2.3	Compra de opções de venda - assumindo uma posição titular de opções de venda.	47
2.4.3	Opções exóticas.....	52
2.4.4	Modelo Black-Scholes	52
2.5	TEORIA DAS OPÇÕES REAIS.....	54
2.5.1	Definindo opções reais.....	54
2.5.2	Diferenças entre as opções financeiras e opções reais	59
2.5.3	Diferenças entre as abordagens do VPL e das opções reais	59
2.5.4	Processos estocásticos.....	62
2.5.6	Decidindo com a análise por opções reais	64
2.5.7	Usando simulação Monte Carlo para calcular valores de opções reais ..	67
2.5.8	Equívocos comuns ao realizar análise por opções reais	67
3	ESTUDOS DE CAMPO.....	70
3.1	PROJETOS DE P&D COM OPÇÕES DE APRENDIZADO E INCERTEZAS NÃO-CORRELACIONADAS	70
3.1.1	Projetos de P&D com opções de aprendizado e incertezas não-correlacionadas – Solução usando o software <i>Real Options Analysis Toolkit (ROAT)</i>®.	74
3.1.2	Conclusões.....	76
3.2	PROJETO DE P&D COM OPÇÕES COMPOSTAS DO TIPO ARCO-ÍRIS SUPONDO DUAS FONTES DE INCERTEZAS NÃO-CORRELACIONADAS.	76
3.2.1	Conclusões.....	84
3.2.2	Projetos de P&D com opções compostas do tipo arco-íris supondo duas fontes de incertezas não-correlacionadas – Solução usando o software <i>Real Options Analysis Toolkit (ROAT)</i>®.	85

3.3	OPÇÕES DE AVALIAÇÃO ESTOCÁSTICA – OTIMIZANDO A DECISÃO DE CARTEIRA DE PROJETOS DE INVESTIMENTOS	87
3.3.1	Avaliando uma carteira de projetos de P&D na indústria aeronáutica	92
3.3.2	Conclusões	95
4	COMENTÁRIOS FINAIS	97
4.1	CONCLUSÕES GERAIS	97
4.2	RECOMENDAÇÕES	101
	REFERÊNCIAS	103
	APÊNDICE - USANDO O PROGRAMA REAL OPTIONS ANALYSIS TOOLKIT (ROAT®) VERSÃO 2.1.	108
	ANEXO – LEMA DE ITÔ E EQUAÇÃO DE BLACK-SCHOLES	111

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As empresas buscam persistentemente criar valor corporativo, necessariamente agregando valor para os acionistas. Entre as possibilidades de aplicação de capital pelas empresas, a escolha de projetos interessantes no atual contexto competitivo globalizado é uma tarefa importante do gestor corporativo. Para Porter¹ (1992 *apud* SANTOS; 2001) o objetivo da empresa deve ser a criação de um sistema através do qual os gestores façam investimentos que maximizem o valor de suas companhias em longo prazo.

Existem basicamente três tipos de investimento, conforme destacado por Brasil (2002), que são:

- Investimentos recorrentes: são aqueles em que a tecnologia envolvida e o comportamento do mercado são bem conhecidos. A estrutura de custos e as projeções de ganhos são conhecidas e podem ser estimadas com boa precisão.
- Investimentos estratégicos: são os que acontecem em mercados emergentes, ou naqueles em que a empresa não possui experiência. Na maioria dos casos, a empresa não domina a nova tecnologia ou ela é de fato nova para aquele setor empresarial. Isso representa fluxos de caixa difíceis de serem estimados e altas volatilidades.
- Investimentos por solicitação: são os que devem ser feitos independentes das análises de fluxo de caixa, uma vez que os benefícios deste tipo de investimento não são diretamente quantificáveis, como no caso da substituição das mesas usadas de um escritório. Os benefícios estão relacionados com a melhoria da qualidade de vida (ambiente) no trabalho.

¹ PORTER, M. E. **Capital Disadvantage: America's Failing Capital Investment System**. Harvard Business Review, Sep./Oct. Vol.70, n.5, p. 65-82. 1992 *apud* SANTOS, E. M. **Qual o valor de um projeto de pesquisa?** Uma comparação entre os métodos de opções reais, árvore de decisão e VPL tradicional na determinação do valor de um projeto real de pesquisa e desenvolvimento (P&D). 2001. Dissertação (Mestrado em engenharia de produção). UNIFEI - MG. 2001

Martins² (1972 *apud* SCHMIDT; SANTOS, 2002) define ativo como o futuro resultado econômico que uma empresa espera obter de um recurso adquirido. Schmidt e Santos (2002) definem ativo intangível como sendo recursos incorpóreos controlados pela empresa que são capazes de produzir benefícios futuros.

Citam-se como exemplos de ativos intangíveis os gastos pré-operacionais, marcas e nomes de produtos, patentes, direitos e projetos de pesquisa e desenvolvimento, entre outros. É útil a observação de que atualmente os ativos intangíveis das empresas ganharam destaque na composição patrimonial das entidades, superando por vezes o valor dos ativos tangíveis, especialmente nas empresas de alta tecnologia, onde a relação entre o valor de aquisição e o valor contábil das empresas é superior a 10, conforme descrito por Schmidt e Santos (2002). Os mesmos autores definem pesquisa e desenvolvimento através de seus componentes: pesquisa é a investigação planejada ou original empreendida com a perspectiva de novos ganhos científicos ou de técnicas de conhecimento e compreensão; por desenvolvimento entende-se a aplicação de pesquisas descobertas, outros conhecimentos para determinado projeto, desenho para a fabricação de um novo produto ou substancial melhoria de materiais, dispositivos, produtos, processos, sistemas ou serviços antes de iniciar a produção comercial ou seu uso.

Assim, completando a classificação citada anteriormente sobre os tipos de investimentos, citam-se entre os investimentos estratégicos que podem ser realizados nas empresas os investimentos em pesquisa de desenvolvimento (P&D).

Um dos maiores desafios para os gestores de projetos de P&D é a gestão da inovação, afirma Mun (2002).

Inovações bem sucedidas podem funcionar como apoios para esforços posteriores de P&D permitindo que a empresa crie vantagem competitiva sustentável. Porém, segundo Mun (2002), a complexidade em analisar a incerteza técnica, a incerteza de mercado e os movimentos competitivos numa indústria com mudanças muito rápidas, freqüentemente leva os gestores a reduzir o horizonte de tempo dos projetos de P&D para uma extensão em que cada projeto tenha uma conclusão

² MARTINS, E. **Contribuição à avaliação do ativo intangível**. Tese (Doutorado) – FEA, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1972 *apud* SCHMIDT, P.; SANTOS, J.L. **Avaliação de ativos intangíveis**. São Paulo: Atlas, 2002. p. 11-35.

bastante previsível. Outras vezes os gestores são levados a reunir os projetos de P&D como uma coleção de apostas, na esperança de encontrar entre elas uma que traga benefícios para a companhia.

Segundo Copeland e Antikarov (2001), as técnicas tradicionais de avaliação de projetos de P&D, como árvore de decisão e o valor presente líquido (VPL), podem agravar os problemas fundamentais relacionados com a análise de investimentos e gestão de carteiras de investimentos. Essas técnicas baseiam-se em informações que estão disponíveis no momento da análise e não podem captar com precisão a flexibilidade ao longo do tempo. As limitações dessas técnicas muitas vezes passam despercebidas pelos gestores, resultando em decisões de investimentos em P&D não ideais.

Muitos autores destacam a superioridade das aplicações da Teoria das Opções Reais (TOR) quando comparada às técnicas convencionais de avaliação de projetos de P&D (PENNING; LINT, 1997; SCHWARTZ, 2002; TAKALO; KANNIAINEN, 2000; SILVA et al., 2004; WALTERS; GILES, 2000; DIXIT; PINDYCK; 1993; BRASIL, 2002; COPELAND; ANTIKAROV, 2001).

Pritsch (2003) também destacou a necessidade deste novo processo de avaliação de investimentos para a “nova economia”.

Vlahos³ (2000 apud SHIMIZU, 2001) compara a análise de decisões e as opções reais, destacando que o estudo de projetos usando opções reais está sendo praticado cada vez mais na comunidade financeira. Destaca também que as duas técnicas possuem pontos comuns e também diferenças importantes. Observe-se que na fase inicial da análise, durante a estruturação do problema, as técnicas são idênticas. Nessa fase, análise usando opções reais pode representar o problema em estudo por meio de uma árvore de decisão, como ocorre com a análise de decisões. Observa-se, porém que a maior vantagem das opções reais sobre a análise de decisões refere-se à capacidade das opções de incorporar informações de mercado, sempre que estas

³ VLAHOS, K. Tooling up for risk decision. *Financial Times*, London, Mastering Risk, Part 2, p. 8-10. 2000 apud SHIMIZU, T. **Decisão nas organizações**: Introdução aos problemas de decisão encontrados nas organizações e nos sistemas de apoio à decisão. São Paulo: Atlas, p. 229 – 230. 2001.

existam, eliminando a necessidade de recorrer a probabilidades e valores de utilidade. As opções usam sim, valores das probabilidades e utilidades neutros ao risco.

Para Pries, Astebro e Obeidi (2001), não há vantagem adicional em se tentar usar a Teoria das Opções Reais (TOR) para avaliar projetos de P&D, supondo que o modelo VPL com a opção de não fabricar e comercializar os itens originados do projeto de desenvolvimento é suficiente para fins práticos. Argumenta-se que os gestores perdem o foco sobre os efeitos de mercados favoráveis ou desfavoráveis, sobre as “saídas de mercado”, perdendo chance de mitigar os riscos que poderiam surgir. Na opinião de Pries *et al.* (2001), envolver a complexidade adicional da avaliação por opções reais, onde se necessita determinar a probabilidade neutra ao risco para o evento, traz apenas uma visão marginal adicional ao cenário de decisão.

Conforme destacam Dixit e Pindyck (1993), a maioria das decisões de investimentos compartilha três características que interagem e seus efeitos influenciam umas às outras, determinando as decisões ótimas dos gestores e investidores:

- a) os investimentos são parcial ou completamente irreversíveis, ou seja, o custo inicial de um investimento é, pelo menos, parcialmente afundado (*sunk costs*) ou seja, não sendo possível recuperá-lo por completo, caso seja tomada a decisão inadequada;
- b) há incertezas sobre os retornos dos investimentos;
- c) o gestor tem certa liberdade com relação ao momento de realizar o investimento; é possível postergar a decisão de investir, aguardando-se por informação que melhore a tomada de decisão. Obviamente, aguarda-se por informação melhor, mas não por informação perfeita.

A teoria ortodoxa de investimentos não reconheceu as importantes implicações qualitativas e quantitativas da interação entre a irreversibilidade, incerteza e decisão sobre tempo adequado para execução do investimento (DIXIT; PINDYCK, 1993).

Poder-se-á verificar no capítulo dois que entre as técnicas que existem para se determinar os valores das opções reais de cada análise, preferivelmente têm sido usadas as que exigem maior embasamento matemático, como as soluções que envolvem processos estocásticos e análises em tempo contínuo (DIXIT; PINDYCK, 1993).

A maior contribuição desse trabalho está em demonstrar o uso de aplicações de decisões de investimento em projetos de pesquisa e desenvolvimento usando a TOR, de forma acessível a um maior público gestor nas empresas aeronáuticas brasileiras. Embora haja casos específicos, onde uma modelagem mais complexa seja necessária, demonstra-se para três diferentes aplicações de tomada de decisão em projetos de pesquisa e desenvolvimento que através do uso de técnicas matematicamente simples ou com o uso de *softwares* de apoio, torna-se viável a adoção pela indústria aeronáutica brasileira da análise de investimentos com a TOR.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é aplicar os conceitos da Teoria das Opções Reais na análise de projetos de pesquisa e desenvolvimento na indústria aeronáutica brasileira.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta dissertação foram:

- Executar revisão bibliográfica sobre as aplicações da TOR na análise de projetos de P&D;
- Testar a metodologia da TOR em situações reais, através de estudos de campo;
- Testar a hipótese de que o uso das técnicas tradicionais para a avaliação de projetos de investimentos em P&D tendem a sub-avaliar esses projetos e que a TOR é capaz de captar a flexibilidade disponível do projeto analisado para a decisão gerencial;
- Testar os resultados de um *software* disponível no mercado, específico para a valoração de opções reais;
- Contribuir para difundir as aplicações da TOR em ambiente corporativo.

1.3. JUSTIFICATIVA

A restrição do tema voltado à avaliação de projetos de pesquisa e desenvolvimento na indústria aeronáutica é justificada a partir da observação de que os analistas financeiros da indústria aeronáutica avaliada não adotam uma metodologia específica para permitir a tomada de decisão em investimentos de P&D em novas tecnologias. Em geral, usa-se a técnica do valor presente líquido (VPL) dos fluxos de caixa do projeto para se analisar a retorno do empreendimento e a técnica de cálculo do retorno do investimento (*Pay-back*) para se analisar o grau de risco do empreendimento.

No ambiente corporativo da indústria aeronáutica encontrou-se pouca referência sobre aplicação de novas metodologias para análise de viabilidade de investimentos em projetos de P&D. Este fato foi ainda mais destacado ao ser focado o cenário nacional durante a revisão bibliográfica. Além disso, o tema tem relevância e atualidade confirmadas pela crescente participação e edição de trabalhos em congressos acadêmicos, nacionais e internacionais, sendo também objeto de interesse de grandes empresas.

1.4 LIMITAÇÕES

O trabalho analisa somente três das diversas situações possíveis de serem avaliadas pela TOR. O interesse está direcionado para exemplos de aplicação em problemas de tomada de decisão sobre investimentos em pesquisa e desenvolvimento no ambiente da indústria aeronáutica. São demonstradas aplicações em processos de decisão em projetos de P&D com opções de aprendizado e incertezas não-correlacionadas; um segundo caso analisa opções compostas do tipo arco-íris supondo duas fontes de incertezas não-correlacionadas e o terceiro caso analisa opções de avaliação estocástica para decidir o momento ideal de execução de uma carteira de projetos.

Para tornar viáveis os estudos de campo, foi necessário trabalhar com os valores de volatilidade dos processos e valores das taxas mínimas de atratividade determinados pelo setor de controladoria da empresa.

O trabalho está limitado quanto à reprodução dos resultados, uma vez que as probabilidades de ocorrência dos diferentes eventos citados nos estudos de campo foram determinadas por especialistas nos processos analisados.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Além deste capítulo introdutório, esta dissertação compõe-se de outros quatro capítulos: no capítulo dois são descritas as técnicas de análise de projetos de investimento mais comumente aplicadas no ambiente corporativo, as características da análise de ativos reais usando a Teoria das Opções Reais (TOR) além de detalhes de aplicação desta metodologia proposta. No capítulo três são apresentados três estudos de campo com aplicação de TOR em projeto de P&D na indústria aeronáutica, em situações específicas e graus de complexidade crescentes, buscando demonstrar diferentes tipos de análise de projetos, entre os vários possíveis; no capítulo quatro são discutidos os resultados das aplicações nos estudos de campo, organizam-se as conclusões sobre o tema e são apresentadas as referências consultadas durante o trabalho.

A dissertação também apresenta um apêndice chamado “Usando o *software* ROAT® (*Real Options Analysis Toolkit*), versão 2.1” e um anexo chamado “Lema de Itô e equação de Black-Scholes”.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 REVISÃO DE LITERATURA

Ao serem consideradas abordagens sobre tratamentos teóricos e novas técnicas para a decisão empresarial de investimentos de capital, considerando irreversibilidade e condições de incerteza, torna-se necessário conhecer e citar o trabalho de Dixit e Pindyck (1993). Esta referência seminal fornece embasamento matemático em processos estocásticos e otimização dinâmica sob incerteza, além de analisar os processos de tomada de decisão nas empresas utilizando os conceitos de opções reais, seja para avaliar as oportunidades de investimentos ou para decidir sobre alocações corretas dos investimentos no tempo. A obra analisa também as condições de equilíbrio dinâmico numa indústria competitiva e políticas de intervenção e competição imperfeita, além de trazer referenciados outros 255 trabalhos sobre os diversos temas relacionados às opções reais e suas formas de apresentação e soluções.

Godinho; Afonso e Costa (2004) discorrem sobre uma abordagem que permite estabelecer um conjunto de diretrizes para auxiliar o decisor na seleção de métodos financeiros que melhor se ajustem a situações específicas de valoração de investimentos. Trabalham com considerações que conduzem à maximização do valor presente líquido de um portfólio de projetos, contudo, não usam a abordagem da TOR nem especificamente abordam os projetos de pesquisa e desenvolvimento. Neste trabalho os autores citam 15 outras referências que versam sobre os fatos abordados.

Sobre a seleção de projetos de P&D e métodos para sua avaliação, pode-se referenciar o trabalho de Fahrni e Spätig (1990) que realizaram estudos empíricos e criaram uma estrutura para seleção de projetos de P&D adaptável a diferentes condições de grau de risco, interdependência entre projetos, tipos de objetivos (simples ou múltiplos) e quantificação dos fatores relevantes dos projetos. Os autores referenciam 54 outros trabalhos e não citam aplicações da TOR.

Lint (2000) estudou aplicações da TOR em P&D, verificando forte influência da dinâmica da gestão estratégica e da tecnologia no resultado dos casos estudados.

Sugeriu a combinação de modelos de opções reais com métodos de pontuação para manter os problemas realísticos, largamente compreensíveis e tratáveis.

Importante contribuição em diversos aspectos das aplicações da TOR é feita por Dias (2006) provendo e compilando estudos e outras informações relacionadas a volatilidade, flexibilidade, arquivos criados no programa Matlab® (2006) para resolução de alguns modelos de aplicações da TOR na indústria petrolífera e em projetos de P&D; técnicas numéricas para opções reais, modelagem de custos de oportunidade em situação de competição, decisões de investimento seqüencial na presença de incerteza e outras aplicações voltadas a relação entre TOR, Opções Híbridas e Teoria dos Jogos.

Paxson (2003) realizou significativa compilação e contribuição em 13 trabalhos sobre aplicação das opções reais em P&D, onde são analisadas algumas situações de projetos com gasto imediato em P&D e condições de perpetuidade; outros modelos tratam de distribuições não log-normal para os ativos subjacentes (e sim a distribuição de Student ou um movimento geométrico browniano); citam-se também modelos com limitados estágios de desembolso e vida finita do projeto; alguns outros modelos analisam o movimento de novos entrantes influenciados pela atitude com relação ao risco e ação dos outros participantes.

Gustafsson e Salo (2005) desenvolveram o método Contingent Portfolio Programming (CPP) para apoiar a gestão dos riscos de projetos, demonstrando aplicação do método no contexto de uma carteira de projetos de P&D, embora ele seja aplicável a uma variedade de problemas de investimento nos quais a dinâmica e interações das oportunidades de investimento devam ser consideradas. Basicamente, através do método CPP, a flexibilidade do gestor sobre o projeto é captada com o desenho de árvores de decisão e as incertezas são modeladas através de programação estocástica.

Novaes e Souza (2005) sugerem aplicações da TOR em conjunto com modelos de previsão de expansão da demanda para resolver um problema clássico de expansão de capacidade fabril. Os autores destacam outras 37 referências que tratam aplicações da TOR, análises de expansão da capacidade e gestão da cadeia de suprimentos.

Uma interessante aplicação das técnicas da TOR foi idealizada por Lackner (1999) sobre o sistema de decisão em investimentos de P&D na National Aeronautics and Space Administration (NASA).

Também sobre avaliação de aplicações tecnológicas na NASA pode-se citar o trabalho de Shishko; Ebberler e Fox (2003), ao sugerirem o uso da TOR para priorizarem orçamento em novas tecnologias naquela instituição.

Amaro Sobrinho; Marins e Batista Júnior (2005a, 2005b, 2006 e 2006b) desenvolveram aplicações da TOR em estudos de campo sobre projetos de pesquisa e desenvolvimento na indústria aeronáutica brasileira.

Alvarez (2004) estudou a obtenção de uma regra ótima de investimento seqüencial por parte de firmas investidoras de capital de risco. O autor usou a TOR para avaliar possíveis oportunidades de negócio, por meio de sua propriedade de captar a flexibilidade gerencial juntamente com técnicas de programação dinâmica.

Para aplicações da TOR na análise de investimentos para *internet* e tecnologia da informação, sugere-se a consulta dos trabalhos de Silva *et al.* (2004); Nascimento (2005) e Mattos e Laurindo (2005).

Eilat; Golany e Shtub (2005) demonstraram um modelo para uso em projetos de pesquisa e desenvolvimento com interações e sugerem a aplicação paralela da TOR e da metodologia de envoltória de dados (DEA) para quantificar alguns dos conceitos qualitativos envolvidos na abordagem pelo Balanced Scorecard, uma metodologia para avaliação do desempenho empresarial, conforme descrito por Kaplan e Norton (1997).

Da leitura empreendida durante a revisão bibliográfica, observa-se que os principais usos das opções reais em P&D são:

- a) A determinação da estratégia apropriada de P&D e orçamentação geral;
- b) Determinação do tempo ótimo dos estágios (ou fases) dos projetos de P&D, quando a alocação no tempo é permissível e flexível;
- c) Alocação do orçamento disponível (restrito) entre as propostas de projetos de pesquisa concorrentes, e;
- d) Avaliação do processo de P&D com os propósitos de planejamento orçamentário ou para a venda, operações de *joint venture* com outras empresas ou engenharia financeira corporativa.

2.2 METODOLOGIA

Método em pesquisa científica, conforme definição de Cruz e Ribeiro (2004), pode ser definido como o conjunto de etapas e processos a serem realizados em uma seqüência pré-estabelecida para investigação de fatos. Com o método, é possível descobrir a regularidade que existe nos fatos e eis a grande preocupação dos cientistas: verificar, explicar e generalizar um fenômeno.

De forma geral, quatro atividades resumem a aplicação de um método científico:

- a) Desenvolvimento do problema
- b) Formulação de uma hipótese: a possível resposta para a pergunta com base em informações anteriores
- c) Coleta dos dados (informação): fase em que são coletadas informações relevantes para responder à pergunta investigada.
- d) Análise e interpretação dos resultados: verificação se a resposta obtida é satisfatória. Sendo o resultado satisfatório, a pesquisa pode ser considerada concluída.

As hipóteses são suposições que são feitas para se tentar explicar o que é desconhecido. São provisórias, até que tenham suas validades verificadas.

Nesta dissertação, testou-se a hipótese formulada num teste hipotético-dedutivo.

Conforme descrevem Cruz e Ribeiro (2004) o método hipotético-dedutivo adotado para este trabalho inicia-se pela percepção de uma lacuna nos conhecimentos, acerca das quais hipóteses podem ser formuladas e, por inferência dedutiva, testa-se a predição da ocorrência de fenômenos abrangidos pela hipótese.

Comparando com as definições de Jung (2004) em sua obra sobre metodologia para pesquisa e desenvolvimento, a pesquisa abrangida nesta dissertação é de natureza aplicada (ou tecnológica) uma vez que objetiva a aplicação de conhecimentos básicos, gera novos conhecimentos a partir do processo de pesquisa e propõe a produção de novos processos para a comunidade corporativa brasileira.

Classifica-se ainda com uma abordagem quantitativa uma vez que utiliza a elaboração de enunciados analíticos e a descrição matemática das variáveis e relações existentes entre as mesmas para modelar um determinado fenômeno.

A pesquisa é por objetivo, exploratória, classificação segundo a qual a pesquisa tem por finalidade a descoberta de teorias ou práticas que propõem a modificação de outras já existentes, a obtenção de alternativas ao conhecimento científico já validado e inovações de processos (processo de avaliação de investimentos, neste caso). O objetivo fundamental da pesquisa é a obtenção de novos princípios para substituírem os atuais. Jung (2004) afirma que normalmente, pesquisas exploratórias não exigem grandes teorizações e, sim, forte experimentação para formação de dados que servirão de base para a formulação de modelos inovadores ou explicativos. Nas atividades exploratórias concentram-se importantes descobertas científicas muitas delas originadas pelo acaso quando da verificação de fenômenos ocorridos durante experimentos.

Uma vez entendida a natureza e objetivo da pesquisa é possível determinar-se o tipo de pesquisa quanto aos procedimentos a serem usados para a coleta, análise dos dados e utilização de um modelo que será resultante do processo de pesquisa. Realizou-se então uma pesquisa operacional, procedimento este que tem a finalidade de investigar de forma sistemática e racional os processos envolvidos numa determinada atividade, com a finalidade de orientar a melhor opção para a tomada de decisão, conforme definições de Jung (2004).

A última etapa na determinação do procedimento para realização de uma pesquisa consiste em referenciar o local onde a pesquisa será realizada. Basicamente os estudos são classificados neste aspecto como pesquisa em laboratório ou pesquisa em campo.

Nesse trabalho, foram usados três estudos em campo em condição *ex post-facto* para testar as hipóteses formuladas. Os três estudos realizados usando técnicas de solução diferentes serviram para avaliar problemas com opções reais de complexidades distintas. As situações foram diretamente aplicadas à realidade da indústria aeronáutica brasileira.

Jung (2004) destaca metodologia para pesquisa e desenvolvimento aplicada a novas tecnologias, processos e produtos (inclusive para o desenvolvimento de *softwares*) e sugere seqüências de atividades (métodos) para planejamento e execução de experimentos em diferentes áreas tecnológicas, além de fornecer sugestões de formatação para projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D).

Cita-se em especial a consulta ao trabalho de Jung (2004) para obter-se uma referência detalhada de metodologia aplicável às engenharias no desenvolvimento de novos processos, através da qual poderão ser planejados e desenvolvidos futuros trabalhos de pesquisa em P&D.

2.2 INVESTIMENTOS – MODALIDADES E TIPOS

Conforme analisado por Brasil (2002), os investimentos podem ser classificados em função de sua modalidade e de seu tipo.

As principais modalidades (leia-se também, finalidades) para as quais se implementam projetos são:

a) Reposição ou atualização tecnológica

São investimentos que visam substituir ativos já desgastados ou com baixa eficiência operacional, devido ao intenso uso (obsolescência). Em alguns setores como o de tecnologia da informação, o ritmo da inovação tecnológica é intenso e as empresas estão sempre realizando investimentos em equipamentos de última geração, sob pena de perderem competitividade.

b) Expansão da capacidade

Investimentos que ampliam a capacidade da empresa em oferecer mais produtos (ou serviços) conforme solicitado na curva planejada de demanda. Contudo, a expansão da capacidade deve levar em conta o estado da arte, assim, por vezes os investimentos em expansão precisam ser considerados dentro do escopo da atualização tecnológica.

c) Diferenciação de produto ou processo

Por vezes as empresas têm de realizar investimentos com o objetivo de fazer o produto ou serviço da empresa com diferenciação em relação ao produzidos na concorrência.

Outros investimentos são feitos para tornar o processo de produção mais moderno e com menores custos operacionais.

d) **Diversificação de carteira de produto**

A decisão por realizar certos investimentos pode estar relacionada com a necessidade de uma empresa ampliar a quantidade de tipos de produtos ou serviços em sua carteira de alternativas para o cliente.

e) **Diversificação de atividades**

Certos investimentos são feitos quando uma empresa objetiva ampliar seu domínio operacional, como no caso de uma empresa que decide deixar seu nicho de negócios e diversificar suas atividades.

Os investimentos destacados acima podem ser realizados através da compra de ativos ou pela aquisição de títulos representativos desses ativos. Ao comprar-se uma ação, está-se comprando parte dos fluxos de caixa futuros que serão gerados pelos ativos da empresa emissora dessas ações.

Há ainda, três tipos de investimentos que são: os recorrentes, os investimentos estratégicos e os investimentos por solicitação, conforme detalhes citados na introdução deste trabalho.

2.3 TÉCNICAS DE ANÁLISE DE PROJETOS DE INVESTIMENTO

2.3.1 Considerações iniciais

Este trabalho foi conduzido com uma abordagem de pesquisa exploratória, através da elaboração de pesquisa bibliográfica seguida de estudos de campo. O objetivo final foi comparar o desempenho de métodos de seleção de projetos excludentes já usados por empresas da comunidade corporativa e o desempenho do método proposto de análise pela Teoria das Opções Reais.

Observe-se que os métodos quantitativos são aplicados com base em fluxos de operacionais líquidos de caixa e seu dimensionamento é um dos aspectos mais

importantes da decisão a ser tomada. Para que um investimento tenha seu resultado determinado com representatividade se faz necessário ter confiabilidade na estimativa dos fluxos de caixa. Kassai *et al.* (2000) classificam os fluxos de caixa em nominais, constantes e descontados. Os nominais são aqueles que se encontram expressos em valores correntes da época de sua realização. Fluxos de caixa constantes são os que têm os valores representados no mesmo padrão monetário, ou seja, estão referenciados em moedas de mesma capacidade de aquisição. Os fluxos de caixa descontados são aqueles em que os valores estão todos descontados para a data presente por meio de uma taxa de desconto definida para o investimento em análise.

Os fluxos de caixa podem, também, ser classificados em convencionais e não convencionais.

Fluxos de caixa convencionais são aqueles que apresentam uma saída inicial ($- S_i$) de caixa seguida de uma série de entradas ($+ E_n$), ou seja, o fluxo apresenta apenas uma inversão de sinal, conforme Figura 1:

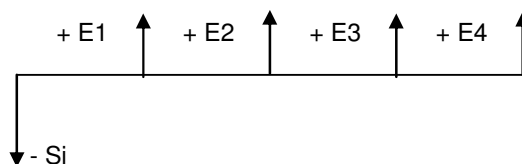


FIGURA 1 - Esquema de um fluxo de caixa convencional

Fluxos de caixa não convencionais ocorrem quando uma saída de caixa inicial não é seguida por uma série de entradas, mas de forma alternada e não uniforme, com várias entrada e saídas, como na Figura 2. Quando isso ocorre, surgem algumas dificuldades para se avaliar um projeto de investimento.

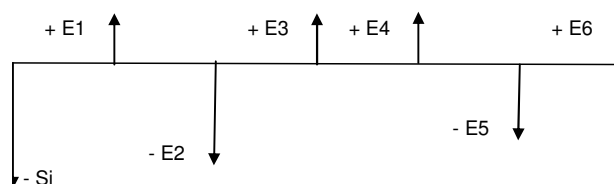


FIGURA 2 – Esquema de um fluxo de caixa não convencional

Uma vez dimensionado o fluxo de caixa do projeto, com todos os valores econômicos envolvidos, podem-se aplicar as ferramentas disponíveis de análise de investimento de capital.

Observe-se que o fluxo de caixa consiste no resultado da comparação entre as entradas e saídas esperadas de recursos para a realização de determinado investimento. Todos os elementos, porém, são expectativas. O investimento ainda não existe. Assim, tem-se a análise sobre fluxos de caixa esperados ou fluxos de caixa projetados.

Brasil (2002) sugere que o fluxo de caixa deve ser estimado numa base incremental, não se devendo incorporar custos e receitas existentes, que não deverão ser geradas exclusivamente pelo projeto. Consideram-se apenas aqueles itens de receita e de custo realmente gerados pelo projeto. Gastos já ocorridos com consultorias e prospecções em momentos anteriores também não podem ser incluídos no fluxo de caixa do projeto.

Não devem ser esquecidos também os efeitos oriundos da realização do projeto em análise, pois é freqüente que um novo projeto reduza os custos fixos da empresa como um todo. Pode também ocorrer um aumento da venda de outros produtos da empresa em função do novo investimento.

2.3.2 Taxas de desconto apropriadas

Uma etapa importante na análise de investimentos é a determinação da taxa de desconto apropriada dos fluxos de caixa, ou seja, a atribuição de um nível de riscos ao projeto. Esta taxa recebe diferentes nomes: custo do projeto, custo de oportunidade do investimento, taxa mínima de atratividade (TMA) ou custo médio ponderado de capital (*Weighted Average Cost of Capital* – WACC). A determinação desta taxa depende de como os projetos são financiados.

Copeland e Antikarov (2001) definem o custo médio ponderado do capital (*Weight Average Capital Cost - WACC*) como a média ponderada dos custos marginais do capital após o desconto dos impostos que incidem sobre o mesmo. O WACC é adequado para o desconto do fluxo de caixa da empresa ou do projeto porque esses

fluxos de caixa estão disponíveis para fazer pagamentos a ambas as fontes de capital – próprio e de terceiros.

A taxa de desconto do projeto, i , sempre terá dois componentes que são o custo do capital do credor e o custo do capital do acionista, dada pela expressão (1):

$$i = k_d (1 - i_r) (D / (D + PL)) + k_e (PL / (D + PL)) \quad (1)$$

onde

i = taxa de desconto

k_d = custo do capital do credor

i_r = alíquota do imposto de renda

k_e = custo do capital do proprietário (acionista ou cotista)

D = valor de mercado da dívida

PL = valor de mercado do capital do proprietário

$D / (D + PL)$ = proporção do ativo financiado por dívida

$PL / (D + PL)$ = proporção do ativo financiado pelos proprietários

A taxa do custo do capital do credor (k_d) é formada pela taxa básica de juros da economia mais um diferencial determinado pelo credor, em função de um risco calculado com relação ao nível de inadimplência (também chamado *default risk*) do cliente. A taxa básica é chamada de “taxa livre de risco” (*risk free*). Seu valor equivale à taxa de retorno de um título de renda fixa emitido pelo governo. Considera-se esse título como sendo o de menor risco, dentre todos aqueles do mercado financeiro. Daí ser considerado “livre de risco”. A taxa livre de risco é a taxa de juros mais baixa existente na economia.

Usa-se normalmente a taxa SELIC proposta periodicamente pelo governo federal, descontada da inflação esperada, como valor representativo da taxa livre de risco (vide BANCO CENTRAL, 2006). Esta taxa é formada pela negociação, durante um dia útil, dos títulos públicos federais. A participação de cada título na formação dessa taxa depende do volume negociado no dia.

O custo do capital do acionista (K_e) é função da taxa livre de risco (r_f); há também um adicional a ser somado à taxa r_f determinado pelo risco do negócio; o

custo do acionista pode ser expresso pela equação (2), conforme definição de Brasil (2002):

$$K_e = r_f + \beta [r_m - r_f] \quad (2)$$

onde

K_e = custo do capital do proprietário

β = risco sistemático do negócio

r_m = retorno esperado de uma carteira diversificada

O coeficiente β (beta) representa uma medida de percepção de retorno do negócio de acordo com movimentações no mercado que afetam uma carteira diversificada de títulos. Quando não há risco, considera-se β igual a zero para aquele evento em estudo, e os fluxos de caixa são avaliados com uma taxa livre de riscos.

A taxa mínima de atratividade (TMA) de um projeto é uma ponderação entre os valores esperados de retorno do credor e dos proprietários.

2.3.3 Valor presente líquido (VPL)

O critério do valor presente líquido (VPL) é a ferramenta mais utilizada pelas grandes empresas na análise de investimentos, conforme mostram Schall; Sunden e Geijsbeek⁴ (1978 *apud* COPELAND; ANTIKAROV, 2001); este critério fornece indicação a respeito do potencial de criação de valor de um investimento.

O método do VPL será sempre o ponto de partida para a análise de opções reais nos projetos.

Se o VPL de um investimento analisado for maior do que zero, significa que o investimento deve fornecer um valor adicional ao investidor, após devolver o capital empregado e remunerar todos os agentes financiadores do investimento (o próprio investidor e os credores). VPL maior do que zero significa valor extra para o investidor. Neste sentido, o projeto deve ser aceito.

⁴ SCHALL, L., G. SUNDEN e W. GEIJSBEEK. Survey and Analysis of Capital Budgeting References. **Journal of Finance**, p. 281-197, 1978 *apud* COPELAND, T.; ANTIKAROV, V. **Opções reais: Um novo paradigma para reinventar a avaliação de investimentos**. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

Se o VPL for menor do que zero significa que o empreendedor perderá dinheiro com a realização daquela proposta de investimento. Uma empresa que implanta um projeto com VPL menor que zero está reduzindo seu valor de mercado na mesma proporção.

Resumindo as regras do VPL:

Se $VPL > 0$ → Recomenda-se aceitar o projeto

Se $VPL \leq 0$ → Recomenda-se rejeitar o projeto

O VPL é a soma dos fluxos de caixa, desde a data zero até a data final da série.

Os fluxos de caixa devem ser referenciados à data zero, já que não podem somar valores que serão ganhos em datas diferentes. Assim, o VPL obedece ao princípio da aditividade descrito na expressão (3) que significa a possibilidade de somar valores levados a uma mesma data:

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FCt}{(1+i)^t} \quad (3)$$

Sendo i é a taxa de desconto dos fluxos de caixa.

O VPL de um projeto é bastante sensível a variações na taxa de desconto. Quanto maior for esta taxa, menos valem os fluxos de caixa do projeto, e menor é o VPL resultante.

2.3.4 Taxa interna de retorno (TIR)

A taxa interna de retorno (TIR) faz com que o VPL de um projeto seja igual a zero. Equivale ao ponto de inflexão na decisão de investir numa determinada iniciativa. Um projeto com taxa de desconto (taxa mínima de atratividade) superior à TIR deve ser rejeitado. Projetos cujos valores de taxas de desconto são inferiores aos seus valores de TIR devem ser aceitos.

As regras de análise de um projeto pela técnica da TIR podem ser expressas em:

Se $TIR > i$ → Aceita-se o projeto em análise

Se $TIR \leq i$ → Rejeita-se o projeto em análise

sendo i = taxa de desconto dos fluxos de caixa.

A determinação da TIR é feita de maneira interativa ou por métodos de interpolação, conforme sugere Brasil (2002). As tentativas nas planilhas ou calculadoras programáveis são feitas no sentido de se encontrar a raiz da equação do VPL, ou seja, o ponto onde $VPL = 0$, assim, o cálculo da TIR é expresso através da equação (4):

$$0 = FC_0 + FC_1/(1+TIR) + FC_2/(1+TIR)^2 + FC_3 / (1+TIR)^3 + ...+ FC_n / (1+TIR)^n \quad (4)$$

Um projeto com TIR menor que a taxa mínima de atratividade, está associado com o surgimento de um VPL menor que zero, o que significa uma perda de investimento.

2.3.4.1 Taxa interna de retorno modificada (TIRM)

Observa-se que o método da TIR tem dois problemas principais. Existe o risco de serem apurados valores virtuais de taxas, uma vez que está implícito na equação da TIR que os fluxos de caixa deverão ser reinvestidos ao valor apurado de TIR. O outro problema surge quando em situações de fluxo não-convencional (desembolsos ocorrem não apenas no momento inicial do projeto), de onde podem surgir apurações ambíguas para a TIR, pois a equação terá tantas raízes quantas forem as trocas de sinais do fluxo de caixa do projeto em análise.

Sugere-se então, conforme Brasil (2002), a apuração da TIRM para o projeto, a taxa interna de retorno modificada. Basta trazer os fluxos de caixa de ingresso ao custo do capital. Os fluxos de desembolso devem, também, ser trazidos ao momento inicial pelo custo de capital. Basicamente, deve-se modificar o cronograma do projeto, levando-se à data final todos os fluxos de ingresso e trazendo à data inicial os fluxos de caixa de desembolso.

O valor de TIRM assim obtido não corre o risco de ser virtual, pois tem-se a certeza de que os fluxos de caixa foram reinvestidos ao custo de capital (taxa de desconto) e não à própria TIR. Além disso, só há uma troca de sinal no cronograma modificado. Haverá então, somente uma TIRM.

O critério de aprovação da TIRM é o mesmo da TIR, conforme descrito na seção 2.3.4.

2.3.5 Período de recuperação do capital (*Pay-back*)

O método do *pay-back* mede o tempo necessário para se ter de volta o capital investido em um projeto, considerando-se os fluxos de caixa do projeto em análise e a mudança do valor do dinheiro no tempo (chamado efeito do custo do capital). Esta é uma das técnicas mais empregadas para se ter um indicativo do risco do investimento. Quanto maior é o valor do *pay-back* de um investimento, maior será o tempo necessário para obter o capital investido de volta, e assim, maior o risco daquele projeto.

O critério de *pay-back* tem o ponto fraco de sua aplicação no fato de que são desprezados da análise os fluxos de caixa que ocorrem após o período de recuperação do capital investido. Deve-se tomar especial cuidado no uso desta técnica quando estivermos comparando projetos mutuamente excludentes. Dois projetos são mutuamente excludentes quando a decisão de implementar um deles implica a decisão de não aceitar o outro.

2.4 OPÇÕES FINANCEIRAS E OUTRAS DEFINIÇÕES

2.4.1 Mercado de opções financeiras

Embora o escopo do trabalho esteja direcionado às aplicações da teoria das opções reais, conforme sugere Brasil (2002), faz-se bastante útil entender brevemente as definições e mecanismos básicos do mercado de opções financeiras para que seja entendida a associação com as operações realizadas nas abordagens das opções reais, nas quais os ativos não são financeiros, mas sim, ativos tangíveis ou projetos. Definições complementares sobre o mercado de ações e opções financeiras, bem como seus riscos, podem ser referenciadas em Bovespa (2006).

2.4.1.1 Definições do mercado de opções financeiras

O mercado de opções é aquele onde são negociados direitos de compra ou venda de um lote de ações, com preços e prazos de exercício pré-estabelecidos.

Esse mercado foi criado com o objetivo básico de oferecer um mecanismo de proteção ao mercado de ações contra possíveis perdas. Uma vez que os preços e retornos dos instrumentos financeiros estão sujeitos a flutuações imprevisíveis, as opções podem ser usadas para adaptar o risco às expectativas e metas do investidor. Os participantes do mercado que usam opções para limitar os riscos de oscilação de preços (as denominadas operações de *hedge*) são conhecidos como "*hedgers*". As operações de *hedge* são atualmente um dos principais instrumentos para minimizar o risco cambial nas instituições financeiras e nas empresas.

Para entender a operação de *hedge*, é necessário definir o derivativo que gera a operação, assim, derivativo consiste em algum ativo cujo preço depende ou "deriva" do preço de outro ativo ou do valor de algum índice. Como exemplos clássicos de derivativos podem ser citados, as opções, os mercados futuros e as operações de *swap* (que são em resumo, operações de troca de moedas ou taxas). As operações no mercado de derivativos são classificadas de acordo com seu objetivo em operações de *hedge*, especulação ou arbitragem.

Um agente econômico que realiza uma operação de *hedge* em um mercado de derivativos está procurando se proteger contra uma possibilidade de perda, mesmo que para isso, tenha que sacrificar um eventual ganho. Usualmente a operação de *hedge* consiste em assumir no mercado de derivativos uma posição oposta àquela assumida no mercado à vista. Quem realiza uma operação de *hedge* não pode correr riscos, pois tem necessidade de fixar antecipadamente uma despesa ou receita futura.

Entretanto, o mercado também precisa de participantes que estejam dispostos a assumir o risco: estes são chamados "especuladores".

As opções permitem que o investidor "alavanque" sua posição, aumentando o retorno potencial sobre um investimento sem aumentar o montante do capital investido, pois o capital investido inicialmente para comprar uma opção é relativamente pequeno em comparação com o ganho.

Contudo, quando dois investidores se comprometem com uma operação a ser realizada no futuro os riscos são evidentes. Um dos investidores pode tentar cancelar a operação ou simplesmente pode não ser capaz de honrá-la financeiramente. Por esse motivo, todo capital aplicado em opções pode ser perdido, e o investidor (comprador) deve estar ciente desse risco. Por sua vez, o lançador (investidor que vende a opção e assume os compromissos a ela referentes) de uma opção deve ter capacidade financeira para cobrir eventuais prejuízos potencialmente vultosos, bem como dispor de garantias suficientes para atender às exigências de margem.

Uma opção é o direito de comprar ou vender um ativo específico, por um preço, adquirido mediante o pagamento de um valor (o prêmio), para ser exercido em uma data preestabelecida (data de vencimento).

Titular é o investidor que compra a opção e adquire os direitos (de comprar ou vender ações) a ela referentes.

Uma opção de compra confere a seu titular o direito de comprar ações-objeto ao preço de exercício, durante um determinado período ou em uma data predeterminada. Além disso, o titular pode, a qualquer tempo, negociar seu direito de compra em mercado, por meio de uma operação de natureza oposta.

O lançador de uma opção de compra é o investidor que vende a opção no mercado mediante o recebimento de um prêmio, assumindo assim a obrigação de vender as ações-objeto a que se refere à opção, após o recebimento de uma notificação de que sua posição foi exercida.

Uma opção de venda confere a seu titular o direito de vender ações-objeto ao preço de exercício, durante um determinado período ou em uma data predeterminada. Além disso, o titular pode, a qualquer tempo, negociar seu direito de venda em mercado, por meio de uma operação de natureza oposta. O lançador de uma opção de venda é o investidor que vende a opção no mercado mediante o recebimento de um prêmio, assumindo assim a obrigação de comprar as ações-objeto a que se refere a opção, após o recebimento de uma notificação de que sua posição foi exercida.

As opções têm validade até uma data predeterminada, e podem ser exercidas no período compreendido entre seu lançamento e seu vencimento, inclusive (opções de

estilo americano, quanto ao exercício), ou apenas na data de vencimento (opções de estilo europeu).

Se as condições de mercado não forem favoráveis à sua estratégia de investimento, o comprador (ou titular) de uma opção corre o risco de perder todo o seu investimento (o prêmio) em um período de tempo relativamente curto. Esse risco reflete a natureza de uma opção como ativo esgotável, que perde seu valor no vencimento da opção. Isto significa que o comprador de uma opção que não a venda no mercado secundário nem a exerça antes do vencimento perderá todo o seu investimento na opção.

O prêmio, ou preço da opção é negociado entre o comprador e o vendedor no momento da operação em mercado, e pago no momento da aquisição da opção. O preço reflete fatores como condições de oferta e demanda, prazo de vigência da opção, diferença entre o preço de exercício e o preço à vista da ação-objeto, volatilidade, dentre outros.

Ao contrário do titular de uma opção, cujo prejuízo máximo é limitado, o lançador de uma opção tem uma posição bem mais arriscada. O prejuízo potencial referente a uma posição vendida em opção de compra ou posição vendida em opção de venda é ilimitado quando o preço do ativo-objeto se movimenta em direção contrária às expectativas do lançador (ou seja, se aumenta para uma opção de compra ou diminui para uma opção de venda). Essa situação pode ser modificada quando a posição é combinada, ou seja, posição vendida em uma opção de compra com uma posição comprada no ativo-objeto, ou posição vendida em uma opção de venda com uma posição vendida no ativo-objeto; esse tipo de combinação é conhecido como lançamento de opção coberta.

O lançador de uma opção de compra descoberta, que vende opções sobre um ativo-objeto que não possui, encontra-se em posição extremamente arriscada. Ele pode sofrer grandes prejuízos se o valor do ativo-objeto superar o preço de exercício. O lançador de uma opção de venda, por sua vez, assume o risco de prejuízo se o preço do ativo-objeto cair abaixo do preço de exercício, pois, se designado para o exercício, deve comprar o ativo-objeto.

O objetivo do lançamento de uma opção descoberta é ganhar o prêmio sem precisar investir no ativo-objeto. Entretanto, o lançador de opções descobertas deve dispor de garantias suficientes para atender a um eventual exercício da opção (que podem aumentar substancialmente se o mercado se movimentar em direção contrária à da posição do lançador).

Uma vez que as opções de ações são instrumentos derivativos sobre ativos de renda variável, não têm garantia de retorno sobre o investimento nelas efetuado. Esse retorno vai depender basicamente do comportamento do preço da ação-objeto no mercado à vista, que por sua vez dependerá das condições da empresa, da conjuntura econômico-financeira do país, etc.

O lançador de uma opção de compra acredita que o preço das ações no mercado à vista irá cair a um nível abaixo do preço de exercício, pois assim o titular não irá exercer a opção e ele (lançador) ganhará o valor do prêmio. Se o preço do ativo-objeto subir, aumentam suas chances de ser exercido e, por conseqüência, seus riscos. Desta forma, ele deverá depositar mais garantias para assegurar o atendimento a um eventual exercício da opção.

O lançador de uma opção de venda acredita que o preço das ações no mercado à vista irá subir a um nível acima do preço de exercício, pois assim o titular não irá exercer a opção e ele (lançador) ganhará o valor do prêmio. Se o preço do ativo-objeto cair, aumentam suas chances de ser exercido e, por conseqüência, seus riscos. Desta forma, ele deverá depositar mais garantias para assegurar o atendimento a um eventual exercício da opção.

O titular, ao comprar uma opção, adquire o direito de comprar (opção de compra) ou vender (opção de venda) as ações-objeto ao preço de exercício. Ele poderá exercer esse direito ou não.

Exercer uma opção significa que o titular pode declarar que deseja exercer o direito de comprar (ou vender) conferido pela opção. Na prática, nem todas as opções são realmente exercidas, dependendo do ativo-objeto. Muitos investidores simplesmente fecham (liquidam) sua posição em opções antes da data de vencimento.

Fechar uma posição, no contexto das opções significa assumir uma posição oposta àquela detida no momento. Por exemplo, para fechar uma posição comprada

em uma opção de compra, o titular da opção de compra deve vender uma opção de compra da mesma série. Ele não pode fechar a opção de compra comprando uma opção de venda similar ou vendendo uma opção de compra de série diferente. De forma semelhante, uma posição comprada em opção de venda é fechada pela venda de uma opção de venda da mesma série.

O lançador de uma opção recebe um prêmio para assumir a obrigação de vender (opção de compra) ou comprar (opção de venda) se exercido pelo titular. Como qualquer compromisso financeiro, ele deve honrar essa obrigação se designado para tal.

As opções do tipo americano podem ser exercidas a partir do pregão subsequente à realização da compra até a sua data de vencimento, ou seja, a qualquer momento.

As opções do tipo europeu podem ser exercidas apenas na data de vencimento estipulada no contrato de opções.

2.4.1.2 Principais riscos do mercado de opções

O preço e o retorno de qualquer instrumento financeiro estão sujeitos a flutuações imprevisíveis. Nesse sentido, as opções são instrumentos de gerenciamento de risco (servem para adaptar o risco às expectativas e à capacidade financeira do investidor), e podem ser usadas para limitar o risco dos portfólios (carteiras) em caso de mudança inesperada no preço das ações. Além disso, o mercado de opções oferece outras vantagens, tais como a possibilidade de alavancagem dos investimentos (aumento do retorno potencial sobre um investimento sem aumentar o montante do capital investido), menores custos de transação (em comparação, por exemplo, com o investimento em ações), indicação da volatilidade do preço das ações e flexibilidade na montagem de estratégias de investimento.

Contudo, o mercado de opções apresenta alguns riscos dos quais os investidores devem estar conscientes (destacados abaixo). Por exemplo, a alavancagem significativa proporcionada pelas opções pode gerar ganhos substanciais sobre uma pequena quantia do capital investido, mas também grandes prejuízos. Além desses

riscos específicos, o investidor em opções está igualmente sujeito às forças mais gerais que regem a oferta e a demanda na economia, e aos riscos associados ao ativo-objeto.

2.4.1.3 Riscos específicos do mercado de opções

2.4.1.3.1 Validade

As opções têm validade, ou seja, são ativos extinguíveis. Assim sendo, as opções perdem, na data de vencimento, qualquer valor que possam ter, caso não sejam exercidas.

2.4.1.3.2 Opção de compra

- a) Riscos para o titular: pode perder a totalidade do capital investido em um período de tempo relativamente curto (prejuízo máximo: valor do prêmio).
- b) Riscos para o lançador, considerando-se duas situações:

Descoberto: uma vez que o lançador, nesse caso, se compromete a entregar títulos que não possui (se designado para tal), ele está em situação de grande risco, pois o mercado pode se movimentar em direção contrária a sua expectativa. No seu caso, esse seria o movimento de alta, quando o lançador teria que comprar as ações para atender ao exercício a um valor acima do preço de exercício. Assim, ele corre o risco de não só devolver o prêmio recebido, como também de ter um desembolso muito grande (potencial de prejuízo ilimitado).

Coberto: corre um risco um pouco menor do que o lançador descoberto, pois possui as ações que deverá entregar em caso de exercício (como "cobertura" à sua obrigação); não obstante, um lançamento de opção de compra coberta não constitui uma operação de renda fixa.

2.4.1.3.3 Opção de venda

- a) Riscos para o titular: pode perder a totalidade do capital investido em um período de tempo relativamente curto (prejuízo máximo: valor do prêmio).
- b) Riscos para o lançador: seu risco é quase equivalente ao risco do lançador descoberto de opção de compra; a diferença é que esse lançador compromete-se a comprar as ações do titular (ao preço de exercício), e seu maior prejuízo ocorre na hipótese do preço da ação-objeto ser zero no momento em que ele for designado para atender ao exercício (potencial de risco praticamente ilimitado).

2.4.2 Exemplos de operações com opções financeiras

Ilustram-se abaixo possíveis resultados de operações no mercado de opções financeiras, conjugando-se operações de compra ou venda de opções, em diferentes estratégias de investimento.

2.4.2.1 Compra de opções de compra - assumindo uma posição titular de opções de compra

Para a realização dessa estratégia, o investidor adquire opções de compra, pagando por elas uma quantia em dinheiro (o prêmio) na abertura da operação. Em decorrência disso, ele passa a ser titular das opções de compra, tendo, portanto, o direito de adquirir as ações pelo preço de exercício, se isso for interessante para ele. Supondo que o investidor permaneça no mercado até o vencimento das opções, descreve-se na Figura 3 a abertura da operação e na seqüência, dois possíveis resultados (hipóteses) quando do encerramento desta operação.

- a) Momento 1 - a abertura da operação, em 21/10/xxxx

Dados relevantes	
Ação objeto: Y;	Quantidade de ações por opção: 1.000

Preço à Vista: \$52,00;	Preço de Exercício da Opção de Compra: \$50,00
Prêmio da Opção de Compra: \$ 3,00;	Vencimento da Opção: 18/12/xxxx
Dispêndio na abertura da operação: \$ 3.000,00 (1.000 * \$3,00)	

FIGURA 3 - Operação de compra de opções de compra

b) Momento 2 - o encerramento da operação em 18/12/xxxx

Para a análise do encerramento da operação de compra, supõem-se duas situações: uma hipótese A, na qual o preço à vista seja superior ao preço de exercício negociado, e uma hipótese B, na qual o preço à vista é suposto inferior ao preço de exercício.

Hipótese A - supondo que o preço à vista seja superior ao preço de exercício, por exemplo, \$60,00.

Dada essa condição do preço à vista, será interessante para o investidor exercer seu direito de comprar as ações por \$50,00, podendo vendê-las à vista no mesmo pregão por \$60,00. Além disso, o investidor poderia alternativamente vender a opção em mercado, por um prêmio provavelmente igual a \$10,00 (vide Figura 4). Desconsiderando-se os custos envolvidos nas transações, o resultado do encerramento em ambas as situações seria de \$10.000,00.

Exercício + Venda à Vista:	$(-50,00 * 1.000) + (60,00 * 1.000)$
Venda das Opções de Compra:	$10,00 * 1.000$
Resultado Final da Operação (A): o investidor apurou um ganho de \$7.000,00 (10.000,00 - 3.000,00)	

FIGURA 4 - Encerramento de operações com preço à vista maior que preço de exercício

É interessante ressaltar que o exercício da opção não é automático. Caso o investidor não o solicite ele não será feito, o que significará que o investidor deixará de obter o ganho de \$10.000,00. Como após o vencimento as opções expiram (perdem

sua validade), o resultado para o investidor, nesse caso, será a perda total do valor pago quando da aquisição das opções (\$3.000,00).

Hipótese B - supondo que o preço a vista seja inferior ao preço de exercício, por exemplo, \$45,00. Nessa situação não será interessante exercer a opção (comprar as ações por \$50,00) e o investidor deixará que ela expire.

Resultado Final da Operação (B): o investidor perdeu a totalidade do capital investido (\$3.000,00).

Na Figura 5 observa-se o perfil de lucro/prejuízo no vencimento da opção e podem ser visualizados os potenciais retornos/riscos propiciados por esta estratégia.

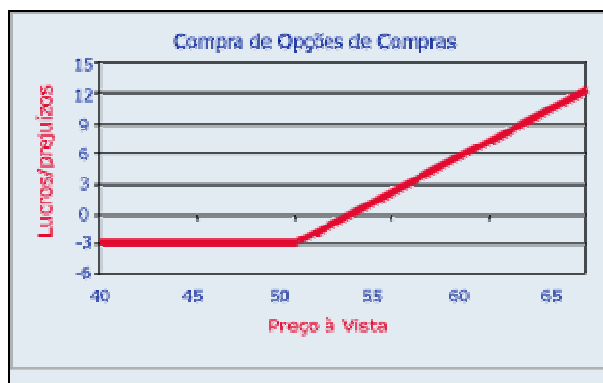


FIGURA 5 – Perfil de risco da operação de compra de opções de compra

2.4.2.2 Venda de opções de compra descobertas - assumindo uma posição lançadora de opções de compra descobertas

Na realização dessa estratégia, o investidor vende opções de compra sobre ações que não possui, recebendo por elas uma quantia em dinheiro (o prêmio) na abertura da operação. Em decorrência disso, ele assume a obrigação, se solicitado, de atender o exercício do titular. Ou seja, se o titular quiser comprar as ações pelo preço de exercício, ele se compromete a vendê-las. Supondo que o investidor permaneça no mercado até o vencimento das opções, descreve-se na Figura 6, a abertura da operação e, na seqüência, avaliam-se dois possíveis resultados, quando do momento de encerramento da operação de venda.

Momento 1 - a abertura da operação, em 21/10/xxxx

Dados relevantes	
Ação objeto: Y ;	Quantidade de ações por opção: 1.000
Preço à Vista : \$52,00;	Preço de Exercício da Opção de Compra: \$50,00
Prêmio da Opção de Compra: \$ 3,00;	Vencimento da Opção: 18/12/xxxx
Recebimento na abertura da operação: \$ 3.000,00 (1.000 * \$3,00)	

FIGURA 6 – Operações de venda de opções de compra a descoberto

Momento 2 - o encerramento da operação em 18/12/xxxx

Para a análise do encerramento da operação de venda de opções de compra a descoberto, supõem-se duas situações: uma hipótese A, na qual o preço à vista seja superior ao preço de exercício negociado, e uma hipótese B, na qual o preço à vista é suposto inferior ao preço de exercício.

Hipótese A - supondo que o preço à vista seja superior ao preço de exercício, por exemplo, \$60,00. Dada essa condição do preço à vista, o investidor será exercido, ou seja, terá que vender as ações por \$ 50,00 (o preço de exercício). Como ele não possui as ações, irá adquiri-las no mercado à vista por \$ 60,00. Desconsiderando-se os custos envolvidos nas transações, o investidor tem um desembolso de \$10.000,00, conforme descrito na Figura 7:

Exercício + Compra à Vista:	$(50,00 * 1.000) + (- 60,00 * 1.000)$
Resultado Final da Operação (A): como o investidor teve que comprar as ações no mercado à vista por um preço superior ao do preço de exercício, na operação	

como um todo ele teve uma perda de \$7.000,00 (10.000,00 - 3.000,00)

FIGURA 7 – Resultado da operação de venda com preço à vista maior que o preço de exercício

Hipótese B - supondo que o preço à vista seja inferior ao preço de exercício, por exemplo, \$45,00. Nessa situação o lançador não será exercido e, portanto, não precisará vender as ações pelo preço de exercício e reterá a totalidade do prêmio recebido no início da operação.

Resultado Final da Operação (B): o investidor tem um lucro de \$3.000,00

A Figura 8 mostra o perfil de lucro/prejuízo no vencimento da opção e assim podem ser visualizados os potenciais retornos/riscos propiciados por esta estratégia de venda de opções de compra.

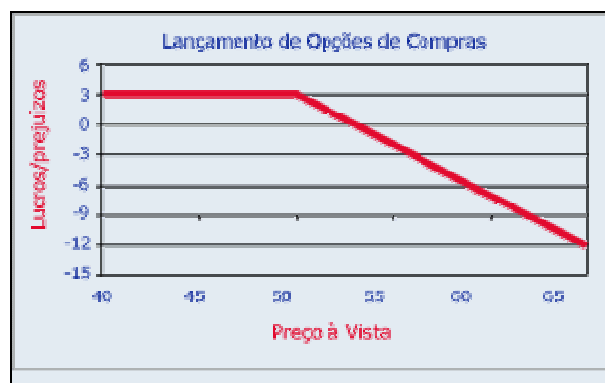


FIGURA 8 – Perfil de risco do lançamento de opções de compra

2.4.2.3 Compra de opções de venda - assumindo uma posição titular de opções de venda.

Para a realização dessa estratégia, o investidor adquire opções de venda, pagando por elas uma quantia em dinheiro (o prêmio) na abertura da operação. Em decorrência disso, ele passa a ser titular das opções de venda, tendo, portanto, o direito de vender as ações pelo preço de exercício, se isso for interessante para ele.

Supondo que o investidor permaneça no mercado até o vencimento das opções, descreve-se na Figura 9 os eventos do momento da abertura da operação de compra de opções de venda; na seqüência, avaliam-se dois possíveis resultados (hipóteses) quando do encerramento desta operação.

Momento 1 - a abertura da operação, em 21/10/xxxx

Dados relevantes	
Ação objeto: W;	Quantidade de ações por opção: 1.000
Preço a Vista: \$72,00;	Preço de Exercício da Opção de Venda: \$70,00
Prêmio da Opção de Venda: \$ 2,50;	Vencimento da Opção: 18/12/xxxx
Despesa na abertura da operação: \$ 2.500,00 (1.000 * \$2,50)	

FIGURA 9 – Início da operação de compra de opções de venda

Momento 2 - o encerramento da operação em 18/12/xxxx

Para a análise do encerramento da operação de compra de opções de venda, supõem-se duas situações: uma hipótese A, na qual o preço à vista seja superior ao preço de exercício negociado, e uma hipótese B, na qual o preço à vista é suposto inferior ao preço de exercício.

Hipótese A - supondo que o preço à vista seja superior ao preço de exercício, por exemplo, \$80,00. Nessa situação, não será interessante exercer a opção (vender as ações por \$70,00), e o investidor deixará que ela expire.

Resultado Final da Operação (A): o investidor perdeu a totalidade do capital investido (\$2.500,00)

Hipótese B - supondo que o preço à vista seja inferior ao preço de exercício, por exemplo, \$62,00. Dada essa condição do preço à vista, será interessante para o

investidor adquirir as ações no mercado à vista por \$62,00 e exercer seu direito de vendê-las por \$70,00. Além disso, o investidor poderia alternativamente vender a opção em mercado, por um prêmio provavelmente igual a \$ 8,00. Desconsiderando-se os custos envolvidos nas transações, o resultado do encerramento em ambas as situações seria de \$ 8.000,00, conforme descrito na Figura 10:

Compra a Vista + Exercício da Opção de Venda:	$(-62,00 * 1.000) + (70,00 * 1.000)$
Venda das Opções de Compra:	$8,00 * 1.000$
Resultado Final da Operação (B): o investidor apurou um ganho de \$5.500,00 (8.000,00 - 2.500,00)	

FIGURA 10 – Encerramento da operação de compra da opção de venda

Destaque-se também nesse caso que o exercício da opção não é automático. Caso o investidor não o solicite, o exercício da opção não será feito o que significará que o investidor deixará de obter o ganho de \$8.000,00. Como após o vencimento as opções expiram (perdem sua validade), o resultado do investidor, nesse caso, será a perda total do valor pago quando da aquisição das opções (\$2.500,00).

A Figura 11 mostra o perfil de lucro/prejuízo no vencimento da opção de venda e nela podem ser visualizados os potenciais retornos/riscos propiciados para a estratégia desse exemplo.

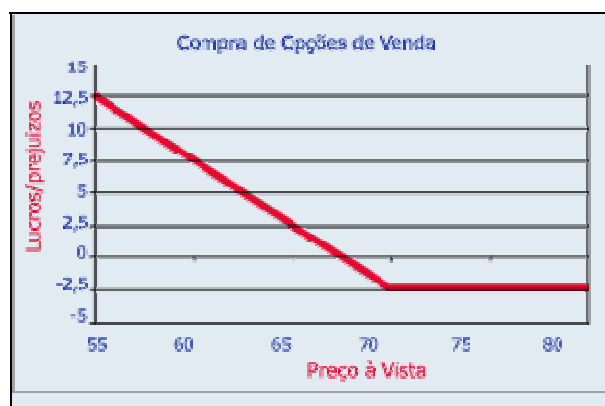


FIGURA 11 – Perfil de risco da operação de compra de opções de venda

2.4.2.4 Venda de opções de venda - assumindo uma posição lançadora de opções de venda

Na realização dessa estratégia, o investidor vende opções de venda, recebendo por elas uma quantia em dinheiro (o prêmio) na abertura da operação. Em decorrência disso, ele assume a obrigação de caso solicitado, atender ao exercício do titular, ou seja, se o titular quiser vender as ações pelo preço de exercício, ele se compromete a comprá-las.

Supondo que o investidor permaneça no mercado até o vencimento das opções, descreve-se, na Figura 12 a abertura da operação e, na seqüência, dois possíveis resultados (hipóteses) para o encerramento da operação.

Momento 1 - a abertura da operação, em 21/10/xxxx

Dados relevantes	
Ação objeto: W;	Quantidade de ações por opção: 1.000
Preço a Vista: \$72,00;	Preço de Exercício da Opção de Venda: \$70,00
Prêmio da Opção de Venda: \$ 2,50;	Vencimento da Opção: 18/12/xxxx
Recebimento na abertura da operação: \$ 2.500,00 (1.000 * \$2,50)	

FIGURA 12 – Início da operação de venda de opções de venda

Momento 2 - o encerramento da operação em 18/12/xxxx

Para a análise do encerramento da operação de venda de opções de venda, supõem-se duas situações: uma hipótese A, na qual o preço à vista seja superior ao preço de exercício negociado, e uma hipótese B, na qual o preço à vista é suposto inferior ao preço de exercício.

Hipótese A - supondo que o preço à vista seja superior ao preço de exercício, por exemplo, \$80,00. Nessa situação o lançador não será exercido e, portanto, não precisará comprar as ações pelo preço de exercício e reterá a totalidade do prêmio recebido no início da operação.

Resultado Final da Operação (A): o investidor tem um lucro de \$ 2.500,00

Hipótese B - supondo que o preço à vista seja inferior ao preço de exercício, por exemplo, \$62,00. Dada essa condição do preço à vista, o investidor será exercido, ou seja, terá que comprar as ações por \$70,00 (o preço de exercício), e as venderá no mercado à vista por \$ 62,00. Desconsiderando-se os custos envolvidos nas transações, o resultado seria um prejuízo de \$5.500,00, conforme descrito na Figura 13:

Exercício + Venda a Vista:	$(- 70,00 * 1.000) + (62,00 * 1.000)$
Resultado Final da Operação (B): o investidor teve uma perda de \$5.500,00 (- 8.000,00 + 2.500,00)	

FIGURA 13 – Resultado da operação de venda de opções de venda com preço à vista menor do que o preço de exercício

Na Figura 14 que mostra o perfil de lucro/prejuízo no vencimento da opção, podem ser visualizados os potenciais retornos/riscos propiciados pela estratégia de venda de opções de venda.

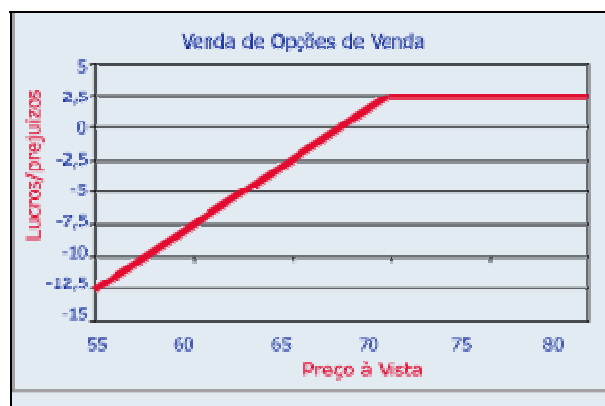


FIGURA 14 – Perfil de risco de uma operação de venda de opções de venda

2.4.3 Opções exóticas

As opções exóticas, conforme define Mun (2002), são opções que distribuem pagamentos diferentes das opções tradicionais. Sejam alguns exemplos de opções exóticas:

Opções de barreira - estas opções são similares às opções tradicionais. Elas diferem destas no momento em que se iniciam sem valor, e se tornam ativas quando o ativo-objeto atinge um determinado limite (barreira); ou se iniciam ativas, e terminam sem valor se a barreira for alcançada pelo ativo-objeto.

Opções *lookback* - o valor destas opções é baseado no caminho percorrido pelo valor do ativo-objeto, sendo o pagamento da opção de compra ou venda, um resultado do valor máximo ou mínimo assumido pelo ativo-objeto, durante a vida da opção;

Opções asiáticas - como as opções *lookback*, as asiáticas têm seu valor definido pelo caminho percorrido pelo ativo-objeto, porém é utilizada a média aritmética ou geométrica dos preços do ativo-objeto durante a vida da opção para determinar o valor da mesma.

2.4.4 Modelo Black-Scholes

O modelo Black-Scholes descrito por Black e Scholes (1973) foi o primeiro de uma série de artigos que trataram do apreçamento de vários tipos de opções e testaram empiricamente suas previsões. O modelo está baseado em sete hipóteses e conhecendo-as pode-se entender as limitações da aplicação do método para a análise dos eventos estudados pelas opções reais. O modelo Black-Scholes considera que:

1. A opção só pode ser exercida no vencimento (portanto, versa sobre opções do tipo européias).

2. Só há uma fonte de incerteza (o que exclui o uso para avaliação das opções do tipo arco-íris, com múltiplas fontes de incerteza); isso também significa que o modelo considera as taxas de juros constantes.
3. A opção está embasada em um único ativo subjacente sujeito ao risco; portanto as opções compostas estão excluídas!
4. O ativo subjacente não paga dividendos.
5. o preço do mercado corrente e o preço estocástico seguido pelo ativo subjacente são conhecidos (observáveis).
6. A variância do retorno sobre o ativo subjacente é constante ao longo do tempo.
7. O preço de exercício é conhecido e constante (o que seria inviável em projetos de longo prazo).

Para usar o modelo Black-Scholes a maioria dos problemas de ativos reais exige que sejam relaxadas uma ou mais hipóteses citadas.

A necessidade de manter-se realista a modelagem do problema faz com que se afaste bastante da composição original do modelo Black-Scholes que é expresso pela equação (5):

$$C_0 = S_0 N(d_1) - X \cdot e^{-r_f \cdot T} \cdot N(d_2) \quad (5)$$

onde

$C_0 =$ preço da opção avaliada

$S_0 =$ preço do ativo subjacente (uma ação comum)

$d_1 =$ $[\ln(S/X) + r_f T] / \sigma \sqrt{T} + 1/2 \sigma \sqrt{T}$ (variável que permite o cálculo do número de unidades do ativo subjacente)

$d_2 =$ $d_1 - \sigma \sqrt{T}$ (variável que permite o cálculo da quantidade de títulos livre de riscos)

$\sigma =$ desvio-padrão da taxa de retorno do ativo subjacente

$N(d_1) =$ probabilidade normal acumulada de que a opção seja exercida (numa situação livre de risco)

$N(d_2) =$ probabilidade normal acumulada de que o preço de venda seja pago

$X =$ preço de exercício da opção

T = prazo de vencimento
 r_f = taxa livre de risco
e = base dos logaritmos naturais

Copeland e Antikarov (2001) demonstraram que um modelo com solução por grade binomial baseado em matemática discreta e operações algébricas pode aproximar o resultado obtido com o modelo Black-Scholes como limite.

Para detalhes sobre a solução da equação de Black-Scholes indica-se a consulta ao trabalho de Srikant (1998), porém uma análise central da solução pode ser referenciada no anexo deste trabalho.

2.5 TEORIA DAS OPÇÕES REAIS

2.5.1 Definindo opções reais

Para Dixit e Pindyck⁵ (1995 *apud* SANTOS, 2001) uma opção real é a flexibilidade que o gestor tem de tomar suas decisões sobre ativos reais, de forma que influenciem positivamente o valor final de um projeto.

Uma opção é um contrato que garante ao seu possuidor o direito, porém não a obrigação legal de realizar uma transação envolvendo um ativo subjacente – por exemplo, a compra ou venda de um ativo – em uma data futura pré-determinada ou dentro de um período especificado de tempo e a um preço pré-determinado (preço de exercício); mas a opção somente provê ao vendedor a alternativa de decidir se irá ou não comercializar e ao comprador a obrigação de realizar esta resolução do vendedor.

Definindo genericamente, a análise de projetos por opções reais é uma abordagem sistemática e uma solução integrada que usa teorias financeiras, análise

⁵ DIXIT, A.K.; PINDYCK, R.S. The options approach to capital investments. Harvard Business Review. V.73. n. 1. May / June. P. 105-15. 1995 *apud* SANTOS, E. M. **Qual o valor de um projeto de pesquisa?** Uma comparação entre os métodos de opções reais, árvore de decisão e VPL tradicional na determinação do valor de um projeto real de pesquisa e desenvolvimento (P&D). 2001. Dissertação (Mestrado em engenharia de produção). UNIFEI - MG. 2001.

econômica, ciência de gestão, ciências decisórias, estatísticas e modelamento econométrico ao aplicar a teoria das opções financeiras para a avaliação de ativos físicos reais num ambiente empresarial dinâmico e incerto. Nesse ambiente competitivo, as decisões de negócio são flexíveis no contexto da tomada de decisão do investimento de capital estratégico, avaliando oportunidades de investimento e despesas de projeto.

Mun (2002) afirma que as opções reais são cruciais para:

- a) Identificar diferentes alternativas de decisão de investimento corporativo ou projetos sobre os quais a gestão possa navegar ainda que consideradas as mais incertas condições para negócio;
- b) Avaliar cada alternativa estratégica e o que ela representa em termos de visibilidade e exequibilidade financeira;
- c) Priorizar as alternativas e projetos baseando-se em critérios qualitativos e quantitativos;
- d) Otimizar a decisão de investimentos estratégicos ao avaliar diferentes alternativas de decisão sob certas condições ou usar uma diferente seqüência de alternativas para conduzir à estratégia ótima;
- e) Alocar no tempo a execução dos investimentos e encontrar o valor ótimo de gatilho de acionamento e os direcionadores de custo ou ganhos, e;
- f) Gerir as alternativas de decisões estratégicas existentes ou desenvolver novas aplicações para futuras oportunidades.

Trigeorgis⁶ (1993 *apud* SILVA et al., 2004) afirma que a analogia entre opções reais e financeiras não é perfeita. Enquanto as opções de compra são um direito exclusivo de seu possuidor, as opções de investimento são partilhadas com os

⁶ TRIGEORGIS, L. A. The nature of options interaction and the valuation of investment with multiple real options. **Journal of Financial and Quantitative Analysis**, v. 28, n. 1, p. 1-20, mar. 1993 *apud* SILVA et al. Uma aplicação da teoria das opções reais à análise de investimentos para a Internet em tecnologia ASP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 36., São João del Rei. **Anais...** São João del Rei: UFSJ. 2004. 1 CD-ROM.

concorrentes, e esta diferença é o que mais influencia a decisão e o momento ideal de realização do investimento, o que pode levar a realização antecipada do mesmo.

A abordagem pelas opções reais incorpora um modelo de aprendizado tal que os gestores podem chegar a tomadas de decisões melhores e mais informadas quando alguns níveis de incerteza são resolvidos ao longo do tempo.

A análise do fluxo de caixa descontado assume decisões de investimento estáticas, e assume que decisões estratégicas são feitas inicialmente sem recursos para escolher alternativas ou opções no futuro.

Para criar uma boa analogia sobre opções reais, elas devem ser visualizadas como um mapa estratégico de uma longa e sinuosa estrada com múltiplas curvas acentuadas e bifurcações ao longo do caminho.

Imagine-se o valor de se ter o mapa de tal estrada quando navegando através deste território inóspito, bem como o fato de estarem disponíveis placas indicativas marcando cada curva acentuada para servir como guia permitindo que sejam tomadas as melhores e mais informadas decisões de direção. Isso pode resumir a essência das opções reais.

Segundo Copeland e Antikarov (2001), o uso das opções reais torna-se mais interessante dentro de um projeto quando:

- O investimento em análise admite revisões durante sua vida útil;
- As oportunidades estratégicas são mais importantes do que o fluxo de caixa em si;
- Existem decisões contingenciais;
- For interessante esperar por mais informações;
- A flexibilidade gerencial é evidente, numa condição altamente incerta.

O valor das opções reais, de acordo com Copeland e Antikarov (2001), depende de cinco variáveis básicas e uma sexta variável, também importante, que são:

- Valor do ativo subjacente sujeito a risco. No caso de opções reais, trata-se de um projeto, um investimento ou uma aquisição;

- O preço de exercício. É o montante monetário investido para exercer a opção, se for uma opção de “compra”, ou o montante recebido, se for uma opção de “venda”;
- Prazo de vencimento da opção. Com o aumento do prazo de expiração, o valor da opção aumenta;
- Desvio-padrão do valor do ativo subjacente sujeito ao risco;
- Taxa de juros livre de risco ao longo da vida da opção.

A sexta variável refere-se aos dividendos que podem ser pagos pelo ativo subjacente: as saídas ou entradas de caixa ao longo de sua vida.

As opções reais classificam-se pelo tipo de flexibilidade que oferecem, como se segue:

- A opção de deferimento que é uma opção de compra americana encontrada na maioria dos projetos em que existe a possibilidade de adiar o início de um projeto;
- A opção de abandono de um projeto por um preço fixo (mesmo que esse preço decline com o tempo) é formalmente uma opção de venda americana;
- A opção de contração (reduzir a dimensão) de um projeto, que também é uma opção americana, mediante a venda de uma fração do mesmo a um preço fixo;
- A opção de expansão de um projeto, pagando-se mais para aumentá-lo é uma opção de compra americana;
- As opções de conversão que são carteiras de opções de compra e venda americanas que permitem seu detentor trocar a um custo fixo entre dois modos de operação;
- As opções de sair e voltar a entrar em um ramo de atividade, ou de fechar e reabrir uma fábrica, são outros exemplos.

Há também opções sobre opções, chamadas opções compostas, como por exemplo, os investimentos planejados em fases, como a construção de uma fábrica.

Opções que são movidas por múltiplas fontes de incerteza são chamadas opções arco-íris.

A maioria das opções reais é afetada pela incerteza relativa ao preço de uma unidade de produto, da quantidade que pode ser vendida e das taxas de juros incertas que afetam o valor presente do projeto.

De acordo com Copeland e Antikarov (2001), há várias metodologias e técnicas usadas para calcular o valor de uma opção. Variam de equações em forma fechada como o modelo Black-Scholes e suas modificações, métodos de simulação de caminho dependente, grades (como as árvores binomiais, trinomiais, quadrimiais e multinomiais), redução da variância e outras técnicas numéricas, e o uso de equações diferenciais parciais, entre outras. Contudo, os métodos mais usados ainda hoje na análise de opções reais são as soluções de forma fechada, equações diferenciais parciais e grade binomial.

O grande avanço na avaliação de opções foi direcionado pelos trabalhos de Merton (1973) e Black e Scholes (1973), quando foram resolvidos problemas surgidos no início do século XX. As aplicações voltavam-se para determinação de preço de títulos nos quais os dados eram suficientes e nos quais o preço do ativo subjacente sujeito ao risco era diretamente observável. Empregavam-se equações diferenciais estocásticas como ferramenta para divulgar seus avanços, o que faz pensar que não era um ambiente muito amistoso para aplicações gerenciais de opções reais.

Apenas após quase trinta anos do trabalho seminal de Black e Scholes (1973), as aplicações da TOR ganharam a atenção do mundo corporativo, inicialmente nos Estados Unidos e Europa. Citam-se algumas razões básicas para o aumento de interesse nessas aplicações como a difusão dos computadores pessoais com grande capacidade de processamento de cálculos, rápidos e baratos, fornecendo realismo e transparência aos quadros simulados.

O cálculo de Itô, conforme Copeland e Antikarov (2001), não é mais uma ferramenta necessária. Agora é possível utilizar grades e soluções algébricas que são fáceis tanto de implementar (com apoio dos computadores) como de entender. Vide a seção 2.5.5 e o anexo desta dissertação para uma melhor abordagem sobre este processo estocástico.

Supunha-se anteriormente que a TOR exigia que o usuário identificasse um ativo subjacente negociado nos mercados mundiais para proceder a comparação da evolução

dos preços; percebe-se hoje que a TOR pode ser aplicada a qualquer situação em que seja possível estimar o VPL sem flexibilidade do projeto em análise. As fontes de incerteza não necessariamente têm preços de mercado.

Observe-se que o VPL é ainda a ferramenta mais usada pelas grandes empresas na análise de investimentos e é o fundamento da análise de opções reais (ROA).

A conciliação entre o modelo do fluxo de caixa (ou VPL tradicional = VPL_t) e a abordagem da ROA (= VOR) pode ser sintetizada pela equação (6) que descreve o Valor Presente líquido Expandido (VPLE), conforme Brasil (2002):

$$VPLE = VPL_t + VOR \quad (6)$$

2.5.2 Diferenças entre as opções financeiras e opções reais

A teoria das opções reais aplica a teoria das opções financeiras para analisar os ativos reais ou físicos.

Embora existam pontos em comum entre ambas as abordagens, pode-se verificar na Figura 15, adaptada de Mun (2002), os principais pontos onde elas são divergentes. Em vários casos com aplicações básicas, observa-se que a abordagem das opções reais é igual à abordagem das opções financeiras.

2.5.3 Diferenças entre as abordagens do VPL e das opções reais

Ambas as abordagens de avaliação de investimentos consideram todos os fluxos de caixa ao longo da vida do projeto, descontam o fluxo para o presente e usam o custo de oportunidade de mercado para o capital.

Assim, essas abordagens são abordagens de fluxos de caixa descontados. Contudo, Copeland e Antikarov (2001) afirmam que o VPL representa um caso especial da abordagem com as opções reais, para a qual não seria considerada a flexibilidade na tomada de decisão.

Opções Financeiras	Opções Reais
Tempo de maturidade curto geralmente contado em meses.	Têm maturidade mais longa, expressa em anos.
A variável que direciona o valor da opção é a paridade de preços ou o preço de um dado ativo.	A variável que atua sobre o valor das OR são os fluxos de caixa livre, que é direcionado pela demanda, competição e gestão.
Não se pode controlar o preço de uma opção financeira manipulando-se os preços das ações.	Pode-se aumentar o valor estratégico de uma opção real através de flexibilidade e decisões da gestão.
Os valores analisados são usualmente pequenos.	Na maioria das vezes trata-se de decisões envolvendo milhões e bilhões de unidades monetárias.
Efeitos de mercado ou de competição são irrelevantes para seu valor e preço.	Direcionadores de mercado e competição regem valores das opções estratégicas.
Têm sido manipuladas e comercializadas por mais de três décadas.	Trata-se de um desenvolvimento recente nas finanças corporativas ocorrido na última década.
São usualmente resolvidas usando-se equações diferenciais parciais de forma fechada e técnicas de simulação / reduções de variância para opções exóticas.	Os problemas de opções reais são resolvidos usando-se equações de forma fechada e grade binomial com simulação das variáveis.
As considerações e ações da gestão não têm influência direta na avaliação das opções financeiras.	As considerações e ações da gestão direcionam o valor das opções reais.

FIGURA 15 - Comparação entre as características das opções financeiras e reais

Copeland e Antikarov (2001) descrevem o valor presente líquido de um projeto como na equação (7):

$$VPL = -I + \sum_{t=0}^n \frac{E(FCF_t)}{(1+WACC)^t} \quad (7)$$

onde

I = despesa com investimentos

E(FCF_t)= fluxos de caixas futuros esperados

t = período ao qual se refere dado fluxo de caixa

Pode-se observar que a incerteza dos fluxos de caixa não é descrita na abordagem do VPL. Apenas descontam-se os fluxos de caixa esperados. Na verdade, há muitos caminhos que podem ser seguidos pela realização e variação dos fluxos de caixa, do começo ao fim do projeto em análise. Ao ser usada a abordagem do VPL, porém, nenhum destes caminhos pode ser observado porque aquela abordagem supõe um compromisso antecipado, aceito agora, de ir em frente com o investimento ou não realizá-lo.

Utilizam-se, porém, apenas as informações disponíveis agora o que é equivalente à obtenção do máximo de um conjunto de alternativas que se excluem mutuamente:

$$\text{Regra do VPL: } \quad \text{Max}_{(em t=0)} [0, E_0 V_T - X]$$

Entenda-se que $E_0 V_T$ é a expectativa no período zero para o valor futuro efetivo, V_T ; X é o valor a ser investido no empreendimento em análise.

As opções reais partem de uma abordagem diferente, pois matematicamente, uma opção real de venda é uma expectativa de máximos (não um máximo de expectativas), avaliada em um futuro contingente:

$$\text{Regra TOR: } \quad E_0 \text{ MAX}_{(em t=T)} [0, V_T - X]$$

Através da análise da TOR, um projeto é aprovado em $t = 0$ se, e somente se, a expectativa no período zero for $E_0V_T > X$.

As duas abordagens são semelhantes, se não houver incerteza, porque, nessa condição, o valor futuro efetivo, V_T , será igual à expectativa corrente do valor futuro E_0V_T .

2.5.4 Processos estocásticos

Um processo estocástico é uma variável que evolui no decorrer do tempo de forma incerta ou parcialmente aleatoriamente. O preço de uma ação da Telebrás é um exemplo de processo estocástico que flutua aleatoriamente, mas que, ao longo do tempo, apresenta uma taxa de retorno esperada positiva, que visa compensar os acionistas que investem nessa ação. Os processos estocásticos podem ser contínuos ou discretos, dependendo da variável tempo ser contínua ou discreta, respectivamente.

Um movimento browniano, ou processo de Wiener, conforme descrito por Ross (1982), é um processo aleatório contínuo que apresenta três importantes propriedades:

1. É um processo de Markov, ou seja, a distribuição de probabilidades dos valores futuros do processo depende somente do seu valor atual, não sendo afetado pelos valores passados do processo, ou por qualquer outra informação;
2. Possui incrementos independentes, ou seja, a distribuição de probabilidades da variação do processo em um intervalo de tempo é independente de qualquer outro intervalo de tempo (que não sobreponha o primeiro);
3. As variações de um processo, em um intervalo de tempo finito, seguem uma distribuição normal, com variância que cresce linearmente com o intervalo de tempo.

Dado $z(t)$, um processo de *Wiener*, Δz uma variação de $z(t)$, e Δt um intervalo de tempo qualquer, tem-se:

1. $\Delta z = \varepsilon_t \cdot \sqrt{\Delta t}$, onde ε_t é uma variável aleatória que segue uma distribuição normal padrão, com média 0 (zero) e desvio padrão 1 (um);

2. A variável aleatória ε_t não é correlacionada serialmente, ou seja, a esperança do produto das variáveis, $E(\varepsilon_t \cdot \varepsilon_s) = 0$, para $t \neq s$.

Quando o intervalo de tempo Δt torna-se infinitesimalmente pequeno, pode-se representar a variação de um processo de *Wiener*, dz , em tempo contínuo como na equação (8):

$$dz = \varepsilon_t \cdot \sqrt{\delta t} \quad (8)$$

Um movimento browniano com tendência é uma extensão do processo acima, sendo representado pela equação (9):

$$dx = \alpha \cdot dt + \sigma dz \quad (9)$$

onde α é um parâmetro de tendência (ou crescimento), σ é o parâmetro de variância, x é um processo estocástico, como por exemplo, o preço de uma ação.

Para qualquer intervalo de tempo Δt , a variação em x , possui distribuição normal, com esperança $E(\Delta x) = \alpha \Delta t$, e variância $\text{Var}(\Delta x) = \sigma^2 \cdot \Delta t$.

Um movimento geométrico browniano (MGB) com tendência é definido pela equação (10):

$$dx = \alpha x dt + \sigma x dz \quad \text{ou} \quad dx / x = \alpha dt + \sigma dz \quad (10)$$

2.5.5 Lema de Itô

Um processo estocástico contínuo $x(t)$ é chamado processo de Itô quando pode ser representado pela equação (11):

$$dx = \alpha(x, t) \cdot dt + b(x,t) \cdot dz \quad (11)$$

onde $\alpha(x, t)$ é uma função não-aleatória de tendência, $b(x, t)$ é a função não-aleatória da variância, $z(t)$ é um processo de Wiener e t é o tempo, conforme descrito por Dixit e Pindyck (1993). Pode-se observar que o MGB é um caso especial do processo de Itô, onde $a(x, t) = \alpha x$ e $b(x, t) = \sigma x$.

O processo de Itô (equação 11) é contínuo no tempo, porém não é diferenciável. Frequentemente, precisa-se trabalhar com funções e derivadas das funções do processo de Itô, como no caso de valorar uma opção de investir em uma mina de cobre que é função do preço do cobre no mercado e pode ser representado por um MGB. Neste caso, seria necessário determinar o processo estocástico que o valor da opção segue e para fazer isso, e em geral para derivar ou integrar funções do processo Itô, precisa-se usar o Lema de Itô.

Dada uma função $F(x, t)$, diferenciável no mínimo duas vezes em x , e uma vez em t , o Lema de Itô mostra que a mesma segue o seguinte processo:

$$dF = \left[\frac{\partial F}{\partial t} + a(x, t) \cdot \frac{\partial F}{\partial x} + \frac{1}{2} b^2(x, t) \cdot \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} \right] dt + b(x, t) \cdot \frac{\partial F}{\partial x} \cdot dz \quad (12)$$

Este lema é a base para solução das fórmulas e métodos de precificação de derivativos, pois $F(x, t)$ pode ser o preço de um contrato futuro de índice da bolsa de valores ou o preço de uma opção de compra de ação.

O anexo deste trabalho apresenta mais detalhes sobre o Lema de Itô e sobre a solução da equação de Black-Scholes, bem como referências consagradas sobre os processos estocásticos.

2.5.6 Decidindo com a análise por opções reais

Cox, Ross e Rubinstein⁷ (1979 *apud* COPELAND; ANTIKAROV, 2001) desenvolveram aplicações mais versáteis do que o cálculo estocástico nos problemas de apreçamento. Recorreram à teoria da probabilidade para desenvolver uma

⁷ COX, J.; ROSS, S.; RUBINSTEIN, M. Option pricing: A simplified approach. *Journal of Financial Economics*. V.7, n. 3, p 229-264. 1979 *apud* COPELAND, T.; ANTIKAROV, V. **Opções reais: Um novo paradigma para reinventar a avaliação de investimentos**. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

abordagem de grade binomial para o apreçamento de opções que emprega matemática simples (algébrica) para alcançar resultados similares aos do cálculo Itô, utilizado por Black e Scholes (1973). Dado que os movimentos ascendentes e descendentes do valor em uma árvore binomial (vide aplicação no estudo de campo da seção 3.1) são multiplicativos (portanto, geométricos) e que o valor inicial é positivo, os retornos discretos das ramificações da árvore variam entre zero, no limite inferior, e se aproximam de infinito, à medida que o número de ramificações se torna muito grande. Ainda, se os movimentos ascendentes e descendentes de uma árvore binomial forem aditivos, os retornos nos extremos das ramificações da árvore não teriam limite e se aproximariam de mais ou menos infinito, à medida que o número de períodos aumentasse.

Observe-se que, é muito difícil, talvez até impraticável, analisar uma grade que seja influenciada por mais de duas fontes de incerteza. Para evitar esse nível de complexidade, Copeland e Antikarov (2001) recomendam envolver os eventos de análise das opções reais em duas hipóteses. Uma das hipóteses é empregar o valor presente do ativo subjacente sujeito ao risco sem flexibilidade, como se fosse um título negociado no mercado. A outra hipótese a ser obedecida é considerar que os preços (ou fluxos de caixa) antecipados de maneira adequada flutuam de forma aleatória.

Destas condições, resulta que qualquer que seja o padrão de fluxos de caixa que se espera que o projeto venha a ter as variações de seu valor presente seguirão um caminho aleatório. Esta situação permite que sejam combinados quaisquer números de incertezas numa planilha como a do *software* Excel®, recorrendo a técnicas de simulação Monte Carlo, para que se obtenham estimativas do valor presente de um projeto, condicionadas a um conjunto de variáveis aleatórias, a partir de suas distribuições subjacentes.

Adotadas as condições descritas acima, Copeland e Antikarov (2001) sugerem um processo de avaliação das opções reais em quatro passos que eles utilizaram em praticamente todos os casos de seus quase 200 clientes corporativos em 34 países.

O primeiro passo é a análise padrão do valor presente do projeto com uso das técnicas tradicionais. Projeta-se o fluxo de caixa livre ao longo da vida do projeto em

avaliação. Se o investimento for uma aquisição, avalia-se a empresa alvo cujos fluxos de caixa possam ter duração indefinida.

O segundo passo é a construção da árvore de eventos, alicerçada em um conjunto de incertezas combinadas que influenciam a volatilidade do projeto. Uma árvore de eventos não incorpora decisões. Ela tem o objetivo de modelar a incerteza que influencia o valor do ativo subjacente sujeito ao risco ao longo do tempo. Na maior parte dos casos, supõe-se que as múltiplas incertezas que atuam sobre o valor de um projeto podem ser combinadas, por meio de uma análise Monte Carlo, em uma única incerteza: a distribuição de retornos do projeto. Assim, esta simples estimativa da volatilidade é tudo que se necessita para que possa ser criada a árvore binomial de eventos. Esta é a chamada abordagem consolidada da incerteza.

Em alguns casos, as decisões devem ser amarradas a um tipo específico de incerteza, então não haverá vantagem em combiná-la com outras incertezas do projeto, sob pena de mascarar seus efeitos. Nesse caso, deve-se usar a abordagem separada em que duas ou mais fontes de incerteza têm de ser estimadas separadamente. Opções com múltiplas fontes de incerteza são chamadas de opções arco-íris. Um exemplo interessante deste tipo de opção são as opções de aprendizado, onde se calcula o valor da opção de aguardar para obter mais informação acerca de um evento que auxiliará na tomada de decisão. Decisões de investimentos planejadas em fases freqüentemente apresentam incertezas tanto tecnológicas (no início do projeto) quanto econômicas (no momento da implantação da tecnologia desenvolvida). Nesse tipo de aplicação, as incertezas são independentes, pois uma aumenta com o passar do tempo de desenvolvimento do projeto, e a outra incerteza, diminui. Vide um exemplo de aplicação dessa abordagem no estudo de campo da seção 3.2.

O terceiro passo no processo de estimativa do valor do projeto, em termos de opções é a determinação das decisões gerenciais a serem tomadas nos nós das árvores de eventos, para transformá-las numa árvore de decisões. As árvores de eventos modelam conjuntos de valores que o ativo subjacente sujeito ao risco pode assumir ao longo do tempo. A árvore de decisão mostra os retornos das decisões ótimas, condicionadas às situações que se apresentam; assim, seus retornos são os que resultariam da opção, ou opções, que se tenta valorar.

O quarto e último passo é a avaliação dos retornos da árvore de decisão obtidos, aplicando-se os portfólios replicados ou as probabilidades neutras em relação ao risco. Para a descrição e aplicação da abordagem com os portfólios replicados, consulte-se o estudo de campo da seção 3.2 deste trabalho.

2.5.7 Usando simulação Monte Carlo para calcular valores de opções reais

Simulações Monte Carlo podem ser adaptadas para o uso com avaliações de opções reais. Há múltiplos usos, inclusive para obtenção da volatilidade estimada para inclusão nos modelos de opções reais obtendo uma gama nas possíveis saídas na análise do fluxo de caixa descontado e na simulação de parâmetros de entrada que são incertos. Para descrições gerais da técnica de simulação Monte Carlo, sugere-se a consulta a Chwif e Medina (2006).

Para se construir uma árvore de eventos com base no valor presente do projeto, primeiramente utiliza-se o fluxo de caixa livre esperado para estimar o valor presente do projeto. Na seqüência modelam-se as variáveis de incerteza que atuam sobre o evento analisado. Simulações Monte Carlo são usadas para gerar distribuições dos valores presentes e a volatilidade a ser usada na grade. Com essas informações obtidas, da influência das incertezas causais sobre o valor do projeto e da estimativa da volatilidade das variações percentuais do valor, constrói-se a árvore de eventos, a partir da qual se tem a referência para o ativo subjacente ao risco, do qual dependem as opções reais. Esse procedimento funciona tanto se as incertezas (como preço e quantidade a ser vendida) apresentam comportamento auto-regressivo quanto se registram correlações cruzadas entre si. Os modernos programas para simulação Monte Carlo como o Crystal Ball® (2006) e o AtRisk® (2006) são capazes de modelar estas importantes características.

2.5.8 Equívocos comuns ao realizar análise por opções reais

Ao tratar-se da implementação das opções reais, deve-se evitar uma seqüência de ações que são freqüentemente feitas de forma errada.

Copeland e Antikarov (2001) descrevem várias ações que são realizadas erroneamente durante a implantação da análise de investimentos por opções reais; a primeira ação equivocada é presumir incorretamente que a volatilidade do ativo subjacente sujeito ao risco é igual à de algum de seus componentes. Seja o caso de estimar a volatilidade de operacionalizar uma mina de ouro; o ativo subjacente sujeito ao risco nesta análise é o valor da mina sem flexibilidade. O primeiro engano seria usar a volatilidade do preço do ouro como uma aproximação da volatilidade do valor da mina de ouro. Há vários outros fatores que afetam sua volatilidade (como a incerteza sobre a quantidade de ouro da jazida, custos de extração e taxas de juros) e também há custos fixos que afetam a volatilidade do valor da mina. Também estaria errado considerar a volatilidade do patrimônio da empresa extratora como uma aproximação da volatilidade da mina.

Outro problema freqüente é a tentação de complicar excessivamente a análise do investimento com demasiadas incertezas ou com uma infinidade de opções, pois a maior parte da volatilidade pode ser atribuída a duas ou três fontes de incerteza e, além disso, o conjunto de opções reais pode ser reduzido, dentro de uma análise de curto prazo, a algumas poucas.

Um equívoco comum na implantação do processo de análise de investimentos usando a TOR nas empresas é deixar de reconhecer e planejar aspectos que auxiliam a aceitação de novas idéias importantes dentro do ambiente corporativo, como o fato de que a nova idéia em implantação deva ser compatível, ter pouca complexidade, ter possibilidade de ser testada e observada. A complexidade da aplicação destaca-se como a maior dificuldade no processo de amadurecimento da implantação da idéia. Os que aplicam a TOR devem tornar-se práticos na criação de árvores de decisão e na estimativa de volatilidade.

Muitos dos que aplicam as opções reais em casos práticos nas empresas cometem o erro de tentar usar a fórmula Black-Scholes (usada na análise de opções financeiras com bastante acuracidade) como uma aproximação de modelos mais gerais. O fato é que essa fórmula tem por trás de sua estrutura um modelo muito simplificado e alicerçado em hipóteses muito restritivas. Na realidade aplica-se a fórmula a opções do tipo européias (só exercidas no vencimento). O modelo pressupõe ainda a existência

de uma única fonte de incerteza que se mantém estacionária no correr do tempo, ou seja, uma variância constante. Além disso, a fórmula Black-Scholes não pode tratar de situações envolvendo opções compostas ou ativos subjacentes que pagam dividendos (como um projeto que lança fluxos de caixa durante sua vida finita). A fórmula considera ainda um preço de exercício constante para a opção. A maior parte das aplicações do mundo real rompe uma ou mais dessas hipóteses restritivas.

Outro erro comum na aplicação da TOR consiste em utilizar a abordagem da árvore de decisões sem dar o necessário passo final da resolução, através do uso da abordagem do portfólio replicado para assegurar-se de que não há oportunidades de arbitragem. A abordagem incorreta mais comum utiliza uma taxa de mercado ajustada ao risco para riscos relacionados ao mercado e uma taxa livre de riscos para os riscos que não dependem do mercado. Vale destacar que os riscos relacionados ao mercado não são constantes em toda a extensão do projeto.

Muitas vezes surgem dúvidas quanto à extensão temporal da grade aplicada à opção real. A resposta de Copeland e Antikarov (2001) a essa dúvida apóia-se no fato de que as opções têm um risco mais elevado do que o ativo subjacente sujeito ao risco do qual depende. Assim, os valores dos fluxos de caixa esperados do projeto, que estão longe no tempo são descontados por um fator de valor presente que rapidamente se aproxima de zero. Uma regra prática que pode ser adotada é a de ignorar opções que se estendam por mais de 15 anos (a menos que os fluxos de caixa futuros dos anos mais afastados tenham um peso muito grande, ou seja, sejam investimentos ou recuperações de elevado valor).

3 ESTUDOS DE CAMPO

Com o objetivo de avaliar aplicações práticas da TOR em projetos de pesquisa e desenvolvimento na indústria aeronáutica brasileira, foram elaborados três estudos de campo, com aplicações de finalidade distintas, porém em situações de ocorrência bastante comum em empresas de alta tecnologia.

O primeiro estudo versa sobre avaliação de opções de aprendizado com um só tipo de incerteza. O segundo estudo aborda a avaliação de opções arco-íris (com dois tipos de incerteza, porém não-relacionadas). O terceiro estudo de campo demonstra uma aplicação de opções de avaliação estocástica na decisão temporal de carteiras de projetos de investimentos; neste caso adotou-se uma solução com equação de forma fechada (e não por grade binomial), realizada com o *software* específico para análise de opções reais ROAT® (2006).

3.1 PROJETOS DE P&D COM OPÇÕES DE APRENDIZADO E INCERTEZAS NÃO-CORRELACIONADAS

Para exemplificar o cálculo de opções de aprendizado e incertezas não-correlacionadas foi realizado o estudo de campo sobre um projeto de pesquisa e desenvolvimento de tecnologia na indústria aeronáutica. O conteúdo aqui apresentado compôs o trabalho de Amaro Sobrinho, Marins e Batista Júnior (2005b).

Trata-se da verificação da viabilidade de implantação do processo de fabricação de peças através da tecnologia de compósitos termoplásticos. O projeto caracteriza o tipo de tomada de decisão de investimento no qual estão presentes fontes de incerteza tecnológica.

Os valores monetários e períodos de tempo citados no trabalho foram corrigidos por constantes para preservar informações restritas do processo da empresa, porém possibilitando o cálculo das grandezas envolvidas na TOR.

O processo de P&D em estudo compõe-se de uma primeira fase de pesquisa de materiais a serem aplicados na tecnologia, com duração prevista para 1 período de

tempo (Pt); em uma segunda fase são desenvolvidas as atividades de engenharia de produção (desenvolvimento do processo de fabricação), com duração de 1 Pt; finda a segunda fase e obtido sucesso nos testes de desempenho do novo processo, inicia-se a terceira fase, referente ao desenvolvimento, aquisição e instalação de equipamentos. Esta fase também pode se mostrar viável ou não e tem o tempo médio de duração de 3 Pt.

Os investimentos necessários em cada fase são de 420 unidades monetárias (UM\$) na 1ª fase, 720 UM\$ na 2ª fase e 1.500 UM\$, se for iniciada a 3ª fase do projeto.

A taxa mínima de atratividade, equivalente ao custo médio ponderado de capital (WACC) adotada pela empresa é de 18,5%.

Terminado o projeto de P&D, especialistas nesses processos estimam que a empresa possa ter um ganho periódico de 719 UM\$ com uma probabilidade de 85% ou que consiga um ganho periódico de 419 UM\$, com uma probabilidade de 10%, referentes à redução de peso em cada avião multiplicada pela cadência produtiva estimada para os próximos 5 períodos de tempo. A redução de peso no avião implica menor consumo de combustível, redução de taxas aeroportuárias e possibilidade de redução de custo de aquisição de motores.

Há ainda, segundo análise de especialistas, 5% de probabilidade de que o desenvolvimento da nova tecnologia não seja viável. A taxa livre de risco para o projeto, conforme orientação do departamento de controladoria, é de 6% a.a.

Este estudo foi modelado aplicando-se análises sobre opções reais compostas seqüenciais, também chamadas opções de aprendizagem, nas quais está presente uma só fonte independente (não-correlacionada) de incerteza, a incerteza tecnológica.

A primeira solução proposta para opções compostas pode ser encontrada em Geske⁸ (1979 *apud* COPELAND; ANTIKAROV, 2001); estes últimos propuseram uma solução por grade para este mesmo tipo de problema e é esta abordagem de solução por grade que foi adotada aqui.

⁸ GESKE, R. The valuation of compound options. *Journal of Financial Economics*, p. 63-68. 1979 *apud* COPELAND, T.; ANTIKAROV, V. **Opções reais: Um novo paradigma para reinventar a avaliação de investimentos.** Rio de Janeiro: Campus, 2001.

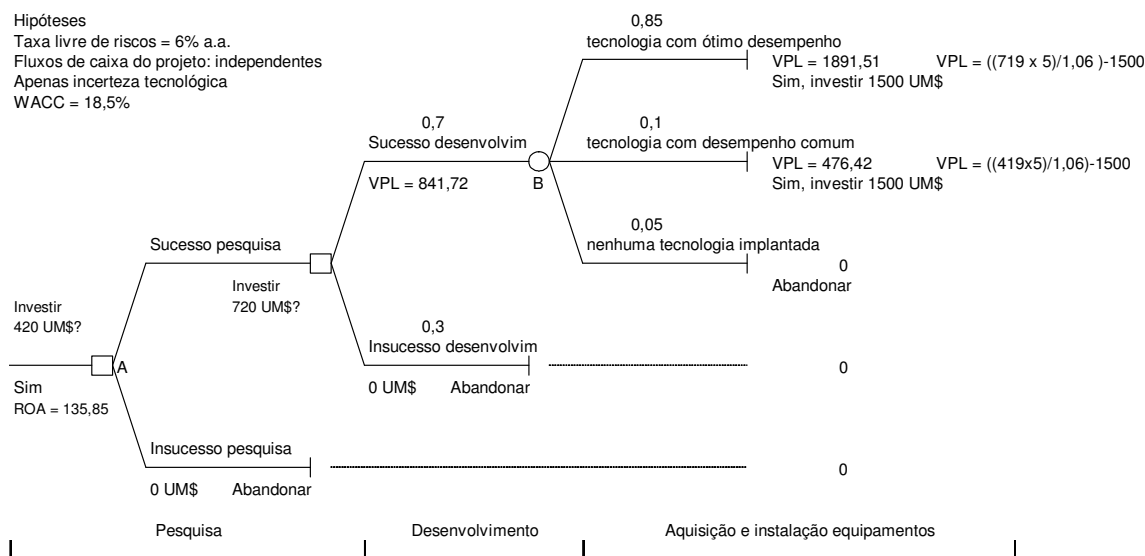


FIGURA 16 – Árvore de eventos para projetos de P&D com opções de aprendizado e incerteza não-correlacionada

A taxa usada para o cálculo dos fluxos de caixa foi a taxa livre de riscos, devido à independência da incerteza dos resultados tecnológicos em relação ao mercado.

Considere-se, inicialmente, o cálculo do valor presente do projeto sem flexibilidade (VPLt):

$$\text{VPLt} = \{-420 + (0,7/1,06) \{[(0,85(1891,51) + 0,1(476,42) + 0)/1,06] - 720\} + (0,3/1,06) \cdot [0/1,06 - 720]\}$$

$$\text{VPLt} = -67,92 \text{ UM\$}$$

O valor presente sem flexibilidade do projeto mostra-se negativo, assim, a regra de decisão do VPL recomenda que se rejeite este projeto.

Analisando a árvore de eventos da Figura 16 observa-se que podem ser evitados os investimentos ao final das fases, caso os resultados da pesquisa básica ou do desenvolvimento da tecnologia sejam desfavoráveis. Estas alternativas representam efetivamente, a flexibilidade existente no projeto.

Ao completar-se com sucesso a fase de desenvolvimento, deve-se decidir ainda se serão investidos 1.500 UM\$ na aquisição e implantação de equipamentos para

produção de peças a partir da nova tecnologia. Ao chegar-se na avaliação do nó B mostrado na Figura 16 com resultados favoráveis na fase de pesquisa básica, o VPL da decisão de prosseguir com o investimento será:

$$VPLB = \{-720 + [0,85 \cdot (1891,51) + 0,10(476,42) + 0,05(0)] / 1,06\} + 0,3 \cdot (0)$$

$$VPLB = 841,72 \text{ UM\$}$$

Analisando o nó A da Figura 16, verifica-se que o valor presente do projeto, embasado nas decisões ótimas no nó B, é:

$$VPLA = -420 + [0,7(841,72/1,06) + 0,3(0)]$$

$$VPLA = 135,85 \text{ UM\$}$$

Este é o valor do projeto quando se considera a flexibilidade gerencial relativa ao projeto, ou seja, o valor da TOR para este projeto é de 135,85 UM\$. O valor da flexibilidade (opções reais = VOR) neste caso é expresso por: VPL (com flexibilidade) - VPL_t , ou seja,

$$VOR = 135,85 - (-67,92) = 203,77 \text{ UM\$}$$

Segundo Kassai *et al.* (2000) a taxa interna de retorno (TIR) é a taxa de desconto dos fluxos de caixa que produz um VPL igual à zero. É considerado atraente todo investimento que apresente TIR maior ou igual à taxa mínima de atratividade definida para o negócio da empresa.

Item	Fluxo de caixa UM\$
Período 0	-420
Período 1	-720
Período 2	-1500
Período 3	719
Período 4	834
Período 5	967
Período 6	1122
Período 7	1302

FIGURA 17 – Fluxo de caixa do projeto para cálculo da TIR

Considerando os fluxos de caixa do projeto descritos na Figura 17 com uma taxa de crescimento de 16% a.a. para os retornos do projeto ao longo dos 5 períodos posteriores à implantação da tecnologia, obtém-se, conforme a Figura 18, uma taxa interna de retorno (TIR) de 18,1%.

Como $TIR < WACC$, haveria a recomendação para que o projeto fosse rejeitado também por este método de avaliação de investimentos.

É possível resumir os resultados obtidos neste estudo de campo conforme exposto na Figura 18.

Método avaliação	Resultado obtido
VPL (sem flexibilidade)	- 67,92 UM\$
VPL (expandido)= TOR	135,85 UM\$
Valor da flexibilidade	203,77 UM\$
TIR	18,10%

FIGURA 18 – Resultados de avaliação de projeto para diferentes métodos

3.1.1 Projetos de P&D com opções de aprendizado e incertezas não-correlacionadas – Solução usando o *software Real Options Analysis Toolkit (ROAT)*®.

Demonstra-se neste tópico a análise do projeto de P&D resolvido conforme citado no item 3.1, porém agora, utilizando-se o programa ROAT®, versão 2.1, que a partir deste ponto será referenciado apenas como ROAT®. Para maiores detalhes sobre o uso do ROAT®, vide o Apêndice A.

Esses tipos de opções reais são aplicáveis para investimentos em P&D que têm múltiplos estágios de investimentos, ou seja, o gestor tem a capacidade de escolher se a fase II deva ser realizada após conhecer o resultado da fase I do investimento (como por exemplo, se uma pesquisa de mercado realizada na fase I indicar que o mercado ainda não está pronto para o produto, então a fase II do investimento não é implementada. Assim, o risco repousa sobre o que foi investido na primeira fase do projeto (*sunk costs*) e não sobre o investimento que tivesse sido realizado nas duas fases previstas para o projeto.

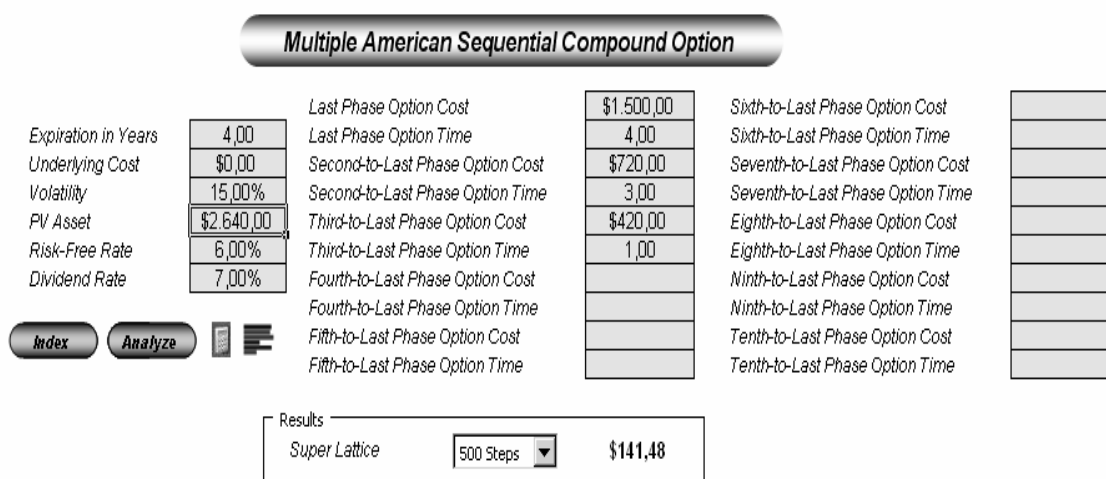


FIGURA 19 - Representação da tela de saída do ROAT® para opções de aprendizado e incertezas não-correlacionadas

O estudo com apoio do ROAT® foi modelado aplicando-se a função pré-definida para opções reais compostas multi-seqüenciais americanas que são resolvidas usando-se árvores binomiais a partir dos parâmetros: tempo até a maturidade da opção, custos subjacentes, volatilidade (indicada pelo setor de controladoria), valor presente do ativo analisado, taxa livre de riscos e taxa de extração de dividendos, conforme Figura 19. As árvores binomiais são usadas como simulações discretas das incertezas de um projeto, conforme descrito por Mun (2002).

Baseado nos parâmetros fornecidos para execução da função, o valor estratégico calculado para o projeto foi de UM\$ 141,48.

Sendo o valor residual do projeto positivo, recomenda-se a realização do projeto também através do uso do *software* ROAT®.

A função pré-definida no programa reconhece os parâmetros para até dez fases seqüenciais e interpreta em cada uma dessas fases as componentes de custo e tempo.

Estudos de Mun (2002) demonstram que para quaisquer valores acima de dez fases são obtidas variações não significativas nos resultados e todos os resultados de outras fases de análise podem ser agregados na décima fase.

3.1.2 Conclusões

O caso analisado foi o de uma opção composta com duas fases de pesquisa, seguidos da possibilidade de implantação de uma nova atividade industrial ou desistência do projeto – uma complicação que o VPL tradicional considera como a de alternativas mutuamente exclusivas. A TOR não somente capta o valor da flexibilidade, mas também elimina a ficção das alternativas mutuamente excludentes.

A Figura 19 resume as informações que mostram que se fossem usados os valores das metodologias tradicionais para a tomada de decisão sobre o projeto, o investimento poderia não ser aceito pelo gestor, quer baseando-se nas técnicas de VPL ou da TIR.

As flexibilidades gerenciais que se apresentaram durante a avaliação do projeto agregaram intenso valor aos processos da empresa analisada.

O problema foi modelado com uma única fonte de incerteza (tecnológica) não relacionada ao mercado, o que conduziu a uma solução mais simples, pois se pôde descontar o valor dos fluxos de caixa do projeto à taxa livre de risco praticada pela empresa.

Os resultados de projetos de pesquisa e desenvolvimento surgem periodicamente em intervalos inconstantes. A estrutura de grade permite uma solução fácil para este problema pela simples divisão da vida do projeto em mais intervalos do que pontos de decisão e pela modelagem de decisões somente quando forem fisicamente possíveis.

Se ficasse caracterizado que, além da incerteza tecnológica, houvesse mais um tipo de incerteza atuante, como a de produto/mercado, poder-se-ia modelar o problema como opções reais do tipo arco-íris, e a solução deveria modelar as incertezas alternando-se nos cálculos os dois tipos de incertezas presentes.

3.2 PROJETO DE P&D COM OPÇÕES COMPOSTAS DO TIPO ARCO-ÍRIS SUPONDO DUAS FONTES DE INCERTEZAS NÃO-CORRELACIONADAS.

Este segundo estudo de campo exemplifica o cálculo de opções reais do tipo arco-íris, sobre um projeto de pesquisa e desenvolvimento de nova tecnologia aplicada à indústria aeronáutica. Estas informações compuseram o trabalho de Amaro Sobrinho, Marins e Batista Júnior (2005a).

Trata-se da verificação da viabilidade de implantação de processo de fabricação de peças através de nova tecnologia. O projeto caracteriza o tipo de tomada de decisão de investimento no qual estão presentes fontes de incerteza, tanto de origem tecnológica como de produto/mercado. Trata-se então de opções de aprendizagem, que são opções compostas do tipo arco-íris com duas incertezas não-correlacionadas.

Conforme Copeland e Antikarov (2001), as incertezas de produto/mercado estão relacionadas com o mercado, e assim, não podem ser descontadas à taxa livre de risco.

A incerteza técnica é independente do mercado e podemos então descontar os valores esperados à taxa livre de risco. As fontes de incerteza são mantidas separadas para que variações no valor, referentes à incerteza tecnológica, possam ser relacionadas diretamente ao resultado de um experimento ou de um teste de mercado, assim, objetiva-se manter afastadas as incertezas para tornar direto o processo de tomada de decisão.

Este estudo foi modelado aplicando-se análises sobre opções reais compostas seqüenciais, também chamadas opções de aprendizagem. A primeira solução proposta para opções compostas pode ser encontrada em Geske⁹ (1979 *apud* COPELAND; ANTIKAROV, 2001); estes últimos propuseram uma solução por grade para este mesmo tipo de problema e é esta abordagem de solução por grade e portfólio replicado que foi adotada neste trabalho.

Mun (2002) e Copeland e Antikarov (2001) mostram como solucionar problemas de opções reais usando-se grades binomiais e portfólios replicados.

O portfólio replicado desconta fluxos de caixa esperados a uma taxa ajustada ao risco presente no projeto; a técnica consiste em criar um portfólio com “m” unidades

⁹ GESKE, R. The valuation of compound options. *Journal of Financial Economics*, p. 63-68. 1979 *apud* COPELAND, T.; ANTIKAROV, V. **Opções reais: Um novo paradigma para reinventar a avaliação de investimentos.** Rio de Janeiro: Campus, 2001.

do ativo gêmeo (títulos encontrados no mercado cujos preços têm alta correlação com o projeto em análise) e “B” unidades do título da dívida sem risco para reproduzir os retornos do projeto em análise.

Conforme descrito por Copeland e Antikarov (2001), considere-se representar por R_u o retorno da opção na situação de preços ascendentes, por R_d seu retorno na situação de preços descendentes e r_f a taxa livre de riscos para o projeto. Representa-se por V_u o valor do ativo subjacente na situação de preços ascendentes e V_d seu valor na situação de preços descendentes. Descrevem-se então os valores dos retornos, nas situações de preços ascendentes e descendentes através das equações (13 e 14):

$$mV_u + B(1 + r_f) = R_u \quad (13)$$

$$e$$

$$mV_d + B(1 + r_f) = R_d \quad (14)$$

Solucionando o sistema para m , obtém-se $m = (R_u - R_d) / (V_u - V_d)$ que pode ser descrito como o coeficiente entre o retorno incremental da opção e a variação do seu ativo gêmeo, ou seja, um coeficiente de *hedge*. Multiplicando-se o valor do coeficiente de *hedge* pelo valor do ativo gêmeo sujeito ao risco V_0 , menos o valor da opção de compra, C_0 , obtém-se o retorno livre de risco, B_0 .

Ao se trabalhar com essa abordagem, a taxa de desconto ajustada ao risco não é computada, e nada é afirmado com relação à tolerância ao risco da empresa. Toda a informação requerida está implicitamente inclusa nos preços relativos do ativo livre de risco.

Considera-se também nessa abordagem que o portfólio não está sujeito à arbitragem, assim, para impedir lucros de arbitragem, dois ativos suficientemente correlacionados, ou seja, que têm exatamente o mesmo retorno em qualquer situação, são substitutos recíprocos perfeitos e devem ter exatamente o mesmo preço ou valor. Contudo, ao tratar-se do valor de opções reais para projetos de pesquisa e desenvolvimento, surge a dificuldade de encontrar um ativo correlacionado com o projeto. Copeland e Antikarov (2001) sugerem que a melhor estimativa não-tendenciosa do valor de mercado do projeto é o valor presente dos fluxos de caixa do próprio projeto sem flexibilidade (VPL tradicional).

Os valores monetários e períodos de tempo citados no trabalho foram corrigidos por constantes para preservar informações restritas do processo da empresa, porém possibilitando o cálculo das grandezas envolvidas na TOR.

O projeto de P&D em estudo compõe-se de uma primeira fase, sujeita a incerteza tecnológica com relação ao sucesso ou fracasso da pesquisa de materiais a serem aplicados na tecnologia; esta fase tem a duração prevista de 1 período de tempo (Pt) e tem chance de 20% de ter sucesso no desenvolvimento.

Em uma segunda fase são desenvolvidas as atividades de engenharia de produção (desenvolvimento do processo de fabricação), com duração de 1 Pt; finda a segunda fase, a probabilidade de obtenção de um novo processo com ótimo desempenho é de 15%, o que gerará benefícios para a empresa no valor de 600 UM\$; ainda na segunda fase do projeto, o processo gerado pode ter, com 25% de chance, um desempenho apenas mediano, o que gerará benefícios para a empresa no valor de 20 UM\$; pode ainda ocorrer, com 60% de probabilidade, que não seja gerado nenhum processo produtivo viável a partir dessa pesquisa inicial, e então, nenhum valor adicional será agregado aos processos da empresa.

Se as duas fases anteriores forem concluídas positivamente, ou seja, algum processo produtivo resultar viável a partir da pesquisa, poderá ser iniciada a terceira fase, referente às atividades de busca de fornecedores, aquisição e instalação de equipamentos. Esta fase tem o tempo médio de duração de 1 Pt. Os investimentos necessários em cada fase são de 3 unidades monetárias (UM\$) na 1ª fase, 60 UM\$ na 2ª fase e 40 UM\$, se for iniciada a 3ª fase do projeto.

Os fluxos de caixa perpétuos começam no final da terceira fase (terceiro período de tempo) e serão descontados ao custo médio ponderado de capital (WACC), valor adotado pela empresa como 10% ao período. Se o processo produtivo resultante da pesquisa for ótimo, os fluxos de caixa perpétuos serão de 60 UM\$ ao período e se for um processo mediano, os fluxos de caixa perpétuos serão de 4 UM\$ por período.

As estimativas feitas hoje podem flutuar 20% para cima ou para baixo, em cada período referenciado.

A taxa livre de risco é de 5% ao período. A Figura 20 mostra a árvore de eventos para incertezas tecnológicas presentes no projeto.

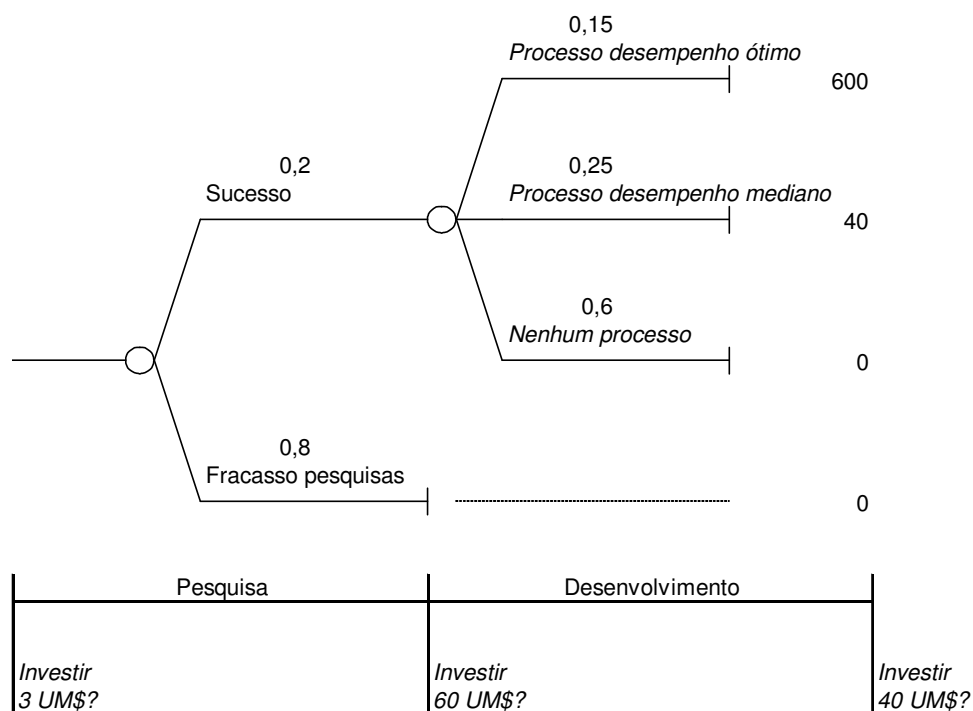


FIGURA 20 - Árvore de eventos para incertezas tecnológicas

Estima-se que a fase de pesquisa de tecnologia tenha sucesso em 20% do tempo, com fracasso nas soluções tecnológicas em 80%. Dado o sucesso na fase de pesquisa, os analistas da empresa estimam probabilidades variadas para a ocorrência dos tipos de processos de fabricação resultantes. Ainda dentro da fase de pesquisas, estão presentes incertezas de produto/mercado, que são mostradas na Figura 21.

Observe-se que os desfechos estão condicionados ao fato de o processo resultante da pesquisa ter um desempenho ótimo ou mediano. Se o produto da pesquisa tiver um ótimo desempenho e as variações no valor do produto tiverem sido positivas por dois períodos seguidos, então o processo terá agregado 864 UM\$ à empresa (vide Figura 3.6). Se o processo resultante for de resultado mediano, mantidas as outras condições, o resultado será de 57,6 UM\$.

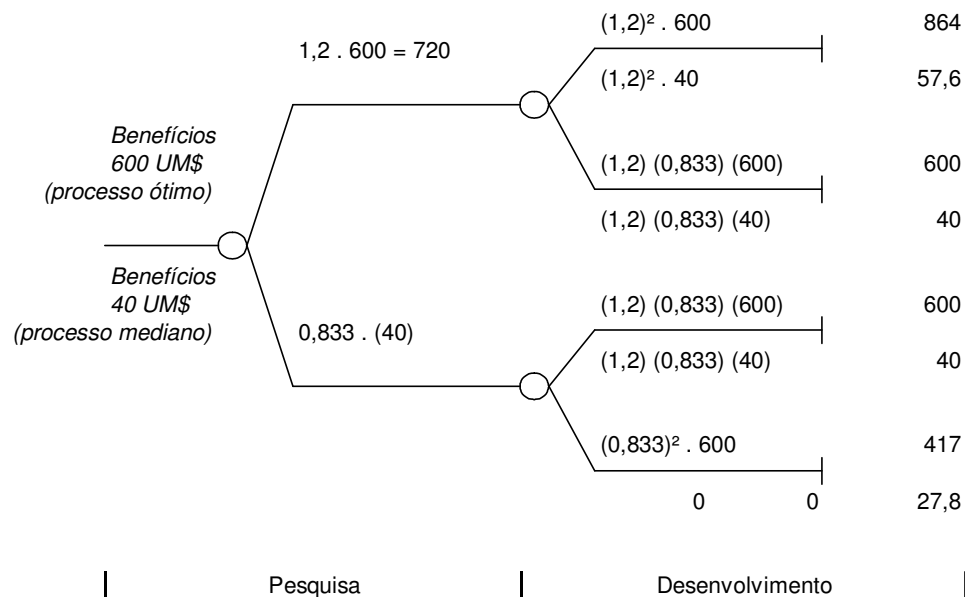


FIGURA 21 - Incertezas de produto/mercado nas fases de pesquisa e desenvolvimento

Com pouca perda de precisão, conforme descrito por Copeland e Antikarov (2001), modela-se a incerteza, alternando a incerteza tecnológica com a de produto/mercado. A incerteza tecnológica é resolvida nos nós A, B, C e D ao final do segundo período. Concluída a análise deste tipo de incerteza, o gestor do projeto deverá decidir se investe outras 40 UM\$ para passar à fase de produção ou se cancela o projeto. O valor presente líquido do projeto em cada um dos nós é obtido considerando-se que a incerteza tecnológica independe do mercado, então, o valor presente líquido é o valor esperado, descontado à metade da taxa livre de risco anual, subtraindo-se o custo do investimento inerente àquela fase analisada (este é o preço da opção real).

A Figura 22 mostra a avaliação do projeto já com a flexibilidade.

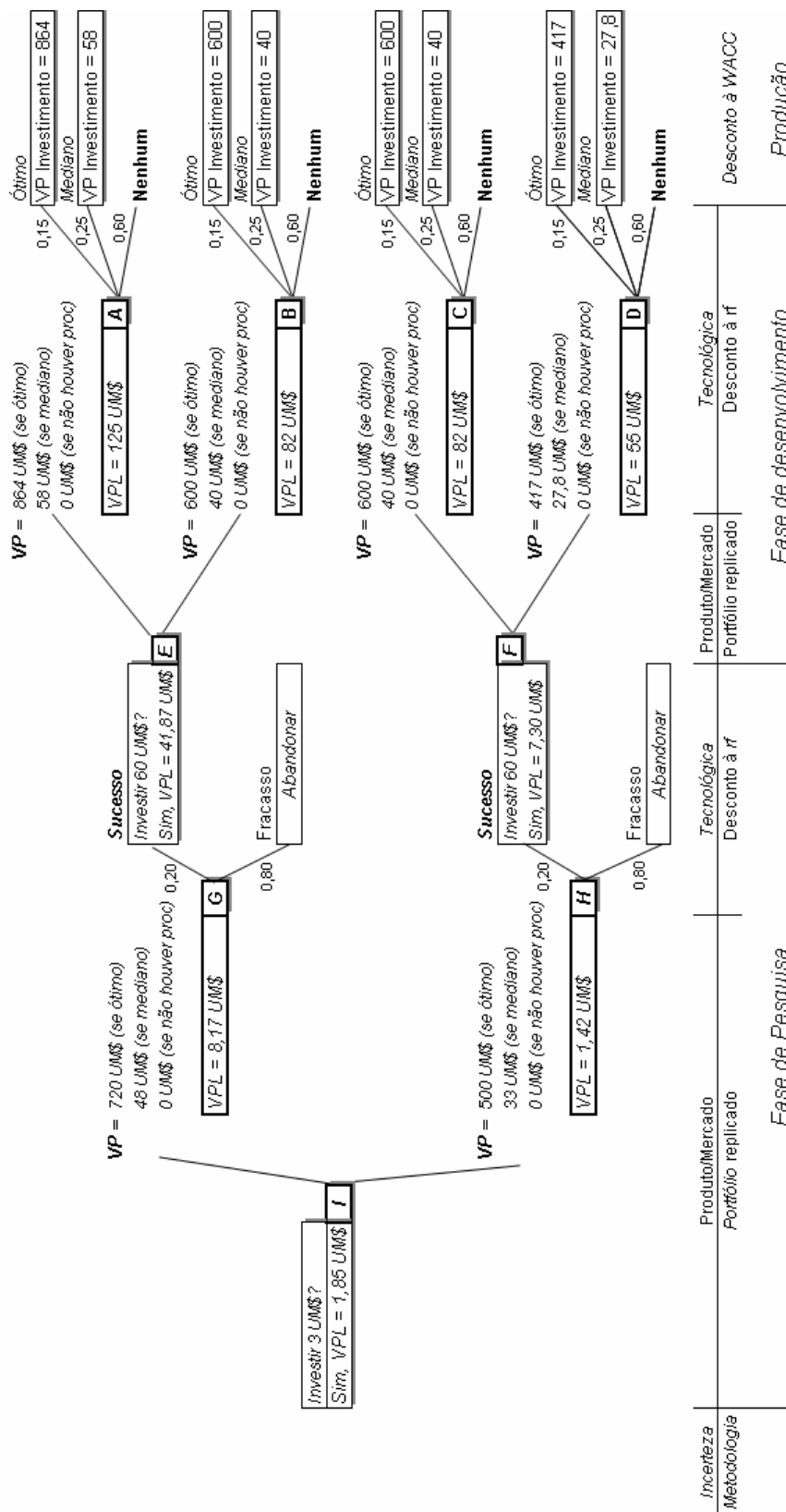


FIGURA 22 - Projeto de P&D com opção composta e incertezas não-correlacionadas

Para exemplificar a seqüência de análise, o cálculo do VPL no nó D baseia-se na resolução da incerteza de produto/mercado. No nó D, más notícias com relação ao produto/mercado para aquele tipo de processo em desenvolvimento provocaram duas quedas no preço consecutivas, de modo que se a fase de desenvolvimento revelar que o processo foi bem sucedido (ótimo desempenho), seu valor será de 417 UM\$ e, sendo um resultado mediano, o valor será de 27,7 UM\$. O conhecimento deste valor afeta a decisão de investimento, pois somente será viável investir 40 UM\$ se tecnologicamente, o processo resultante da pesquisa apresentar um ótimo resultado.

O VPL no nó D é calculado descontando-se os fluxos de caixa esperados, dada a opção de investimento ótima, à taxa livre de risco (para meio período), ou seja:

$$\text{VPL (no nó D)} = [0,15 (417 - 40) + 0,25 (40 - 40) + 0,60 (0)] / 1,025 = 55,1 \text{ UM\$}$$

A mesma lógica conduz ao cálculo dos VPL nos nós A, B e C, cujos resultados são respectivamente $\text{VPLA} = 125 \text{ UM\$}$, $\text{VPLB} = 82 \text{ UM\$}$, $\text{VPLC} = 82 \text{ UM\$}$.

Voltando na árvore de eventos, deve-se analisar o VPL nos nós E e F. Como a incerteza de produto/mercado está correlacionada ao mercado, não podemos simplesmente descontar os fluxos de caixa esperados à taxa de risco. Deve-se usar a abordagem dos portfólios replicados. Analisando como exemplo de cálculo, o nó F, observa-se que os retornos a partir da decisão naquele ponto são de 82 UM\$, na situação ascendente (valor após sucesso na pesquisa, com 20 % de probabilidade de ocorrência) e de 55 UM\$, na situação descendente (valor após pesquisa não bem-sucedida).

O valor do ativo subjacente no início do período é simplesmente o resultado tecnológico esperado da fase de pesquisa, isto é, $0,15(500 \text{ UM\$}) + 0,25(33 \text{ UM\$}) = 83,25 \text{ UM\$}$. O valor do ativo subjacente no final do período, na situação ascendente, uV , é o resultado esperado, dado um movimento de alta em produto / mercados:

$$uV = 0,15(600) + 0,25(40) + 0,60(0) = 100 \text{ UM\$}$$

e, na situação descendente, o valor do ativo no final do período, dV , será:

$$dV = 0,15(417) + 0,25(28) + 0,60(0) = 69,55 \text{ UM\$}$$

Com essas referências, formam-se os portfólios replicados para as situações ascendente e descendente, como a seguir (lembrando que a taxa livre de risco de meio período de tempo é igual a 2,5%):

$$\mu V + (1 + rf)B = 82$$

$$m dV + (1 + rf)B = 55$$

$$\text{de onde obtém-se } m = 0,887 \text{ e } B = -6,54$$

$$\text{Valor} = mV - B = 0,887 (83,25 \text{ UM\$}) - 6,54 \text{ UM\$} = 67,3 \text{ UM\$}$$

Observando-se que o valor do projeto no nó F é de 67,3 UM\$, é correto que o gestor de projeto decida por investir as 60 UM\$ e continuar a fase de desenvolvimento.

Repetindo-se este processo de descontar os valores esperados decorrentes da incerteza tecnológica pela taxa livre de riscos, e depois usando a técnica dos portfólios replicados, segue-se calculando os valores ao longo da árvore de eventos, concluindo-se que o valor presente líquido do projeto de P&D é de 1,85 UM\$, após serem gastas as 3 UM\$ para dar início à fase de pesquisa.

Face ao VPL total do projeto de pesquisa e desenvolvimento de nova tecnologia, verifica-se que o projeto é viável, podendo ser implementado pela empresa.

3.2.1 Conclusões

Os resultados de projetos de pesquisa e desenvolvimento surgem periodicamente em intervalos inconstantes. A estrutura de grade permite uma solução simples para este problema pela divisão da vida do projeto em mais intervalos do que pontos de decisão e pela modelagem de decisões somente quando forem fisicamente possíveis.

A avaliação desse projeto pela abordagem convencional do VPL levaria a resultados equivocados, pois o VPL expandido seria calculado e o gestor do projeto tomaria sua decisão sem considerar o peso da influência de cada diferente

probabilidade de ocorrência dos eventos correlacionados com o mercado, portanto, não-livre de risco.

Para o aperfeiçoamento desta abordagem em futuros trabalhos, é recomendado que se busquem outras aplicações práticas com essa abordagem de avaliação de opções reais do tipo arco-íris com incertezas correlacionadas, porém resolvidas simultaneamente, o que pode ser executado usando-se a abordagem quadrinomial, conforme descrito por Copeland e Antikarov (2001).

A abordagem quadrinomial é uma árvore binária com duas variáveis, assim, a árvore quadrinomial tem quatro ramificações em cada nó, e é uma generalização da árvore de eventos binomial, que tem duas ramificações em cada nó.

Para uma solução alternativa do processo de desenvolvimento do produto ou processo como uma série de opções reais cita-se também o trabalho de Lint e Pennings¹⁰ (1997 *apud* PAXSON, 2000), os quais propuseram um modelo na forma fechada por resolução de sistema de equações parciais. Observem-se, antes de aplicações do modelo referenciado, as restrições presentes, inerentes aos modelos com solução de forma fechada.

3.2.2 Projetos de P&D com opções compostas do tipo arco-íris supondo duas fontes de incertezas não-correlacionadas – Solução usando o *software Real Options Analysis Toolkit (ROAT)*®.

Demonstra-se neste tópico a análise do projeto de P&D de opções do tipo arco-íris, sujeitas a duas fontes de incertezas não correlacionadas resolvido conforme citado na seção 3.2, porém agora, utilizando-se o programa ROAT® (2006), mais especificamente utilizando-se a função de cálculo com opções compostas do tipo européias numa solução de forma fechada para duas fases de análise.

As opções compostas com solução em forma fechada européias são aplicadas na solução de investimentos em P&D e outros investimentos com múltiplos estágios de investimentos.

¹⁰ PENNINGGS, E.; LINT, O. The option value of advanced R&D. **European Journal of Operational Research**, vol. 103, p. 83-94. 1997 *apud* PAXSON, D. A. **Real R&D Options**. 1.ed. London: Butterworth-Heinemann Finance, 2003. p. 48-63.

Esse módulo é resolvido utilizando-se a abordagem matemática de solução em forma fechada ao invés de usar as grades binomiais. Opções compostas americanas, porém, devem ser preferencialmente solucionadas usando-se grades binomiais, conforme sugerem Copeland e Antikarov (2001).

Esses tipos de análises são aplicáveis para investimentos em P&D que têm múltiplos estágios de investimentos, ou seja, o gestor tem a capacidade de escolher se a fase II deva ser realizada após conhecer o resultado da fase I do investimento (como por exemplo, se uma pesquisa de mercado realizada na fase I indicar que o mercado ainda não está pronto para o produto, então a fase II do investimento não é implementada. Assim, o risco repousa sobre o que foi investido na primeira fase do projeto (*sunk costs*) e não sobre o investimento que viesse a ser realizado nas fases seguintes do projeto.

Os parâmetros indicados para o cálculo no módulo do ROAT® foram: valor do ativo, custo do ativo subjacente, custo da opção sobre opção, tempo para maturidade da opção, tempo de maturidade do ativo, taxa livre de risco, taxa de dividendos e volatilidade.

European Compound Option on Option

<i>PV Asset</i>	\$417,00
<i>Underlying Asset Cost</i>	\$103,00
<i>Option on Option Cost</i>	\$600,00
<i>Time to Maturity Option on Option (t)</i>	2,00
<i>Time to Maturity Underlying Asset (T)</i>	3,00
<i>Risk-Free Rate</i>	5,00%
<i>Dividend Rate</i>	0,00%
<i>Volatility</i>	20,00%
<i>Compound Call-on-Call Option</i>	\$4,55
<i>Compound Put-on-Call Option</i>	\$219,10



FIGURA 23 - Tela de saída do ROAT® para opções compostas européias

Usando-se os valores já considerados na análise anterior, obtém-se pelo ROAT® o valor de UM\$ 4,55 para a opção composta (compra sobre compra) para os eventos do projeto, conforme mostrado na Figura 23. Isso representa o valor líquido do projeto em UM\$ 1,55 (opção composta *call-on-call*), o que sugere como adequada a ação de que o projeto seja realizado na forma como foi descrito na seção 3.2 anterior.

Esta opção representa então o valor da flexibilidade que o decisor possui em investir um pouco agora, esperar, analisar mudanças e só posteriormente investir novamente.

A opção composta *put-on-call* destacada também na tela de saída do *software* ROAT® conforme figura acima, representa o valor da possibilidade que o decisor tem de ofertar essa flexibilidade para um outro interessado, buscando investir mais no futuro, sujeitando-se tanto às incertezas e riscos, conforme medido pela volatilidade do projeto.

3.3 OPÇÕES DE AVALIAÇÃO ESTOCÁSTICA – OTIMIZANDO A DECISÃO DE CARTEIRA DE PROJETOS DE INVESTIMENTOS

Este terceiro estudo de campo exemplifica o cálculo de opções reais do tipo estocásticas, sobre um portfólio de projetos de pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias da indústria aeronáutica brasileira. O conjunto de projetos deve ter sua realização alocada no tempo de forma ideal, mantidas as restrições orçamentárias da empresa. As informações desta seção compuseram o trabalho de Amaro Sobrinho, Marins e Batista Júnior (2006), aprovado para apresentação oral no XXXVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO – 2006) e o trabalho de Amaro Sobrinho, Marins e Batista Júnior (2006b), aprovado para apresentação oral no XIII Congresso Latino Ibero-Americano (CLAIO – 2006).

Esperar ou exercer uma opção agora? Otimizar o prazo de execução de uma opção é uma tarefa árdua. Isso porque se há projetos altamente arriscados com significativa quantidade de incerteza, esperar é algumas vezes preferível a executar imediatamente a opção. Existem, porém projetos com vida econômica não

determinada, durante a qual estão presentes opções reais. Pergunta-se então se para um projeto com opções reais de vida indeterminada e alta volatilidade dever-se-ia esperar para sempre e nunca executar o projeto? Vários fatores influenciam na determinação do valor e tempo ideal para execução da opção real; vide o resumo desses fatores na Figura 24. Em alguns casos, pode-se também usar na análise uma estrutura da Teoria dos Jogos, conforme Dias (2006), incorporando jogos dinâmicos entre os competidores.

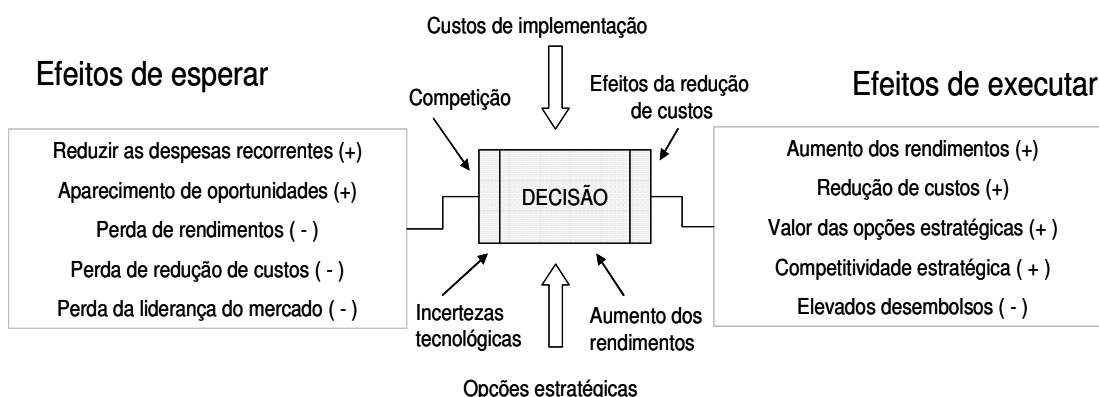


FIGURA 24 - Otimização estocástica: esperar versus executar a opção (adaptada de Mun, 2002)

Conforme Dixit e Pindyck (1993) e Mun (2002), para resolver opções de diferimento (alocação do investimento no tempo) deve-se iniciar o cálculo assumindo que o valor do processo do ativo subjacente descrito por $X = X(t)$ segue um movimento geométrico browniano, ou seja:

$dX_t = \alpha X_t dt + \sigma X_t dZ$ onde α é um parâmetro de tendência e σ é a medida da volatilidade do processo

O processo de Wiener (ou movimento Browniano) é um processo estocástico em tempo contínuo que tem três importantes propriedades:

- É um processo markoviano (a distribuição de probabilidade para todos os valores futuros do processo depende apenas do valor atual do processo);
- Tem incrementos no tempo independentes de qualquer outro incremento;
- Mudanças no processo seguem uma distribuição Normal (média zero e variância que cresce linearmente em função do intervalo de tempo).

Essas três condições podem parecer bastantes restritivas e poderiam sugerir que haveria poucas variáveis que pudessem ser modeladas com o processo de Wiener. Por exemplo, Dixit e Pindyck (1993) destacam que, embora pareça razoável que o preço de ações satisfaça as condições markovianas e tenha incrementos independentes, não é razoável assumir que as mudanças nos preços sejam normalmente distribuídas; como também não é aceitável admitir que o preço de ações possa eventualmente ser inferior a zero.

Pode-se aceitar que mudanças nos preços de ações sejam distribuídas segundo uma curva log-normal. Isto significa modelar o logaritmo do preço como um processo de Wiener ao invés do preço da ação em si. De fato, pode ser verificado em Ross (1982) e Mun (2002) através de transformações coerentes, que o processo de Wiener é adequado para modelar variáveis que variam continuamente e estocasticamente ao longo do tempo.

Sendo o processo de Wiener do tipo markoviano, Mun (2002) e Dixit e Pindyck (1993) definem o valor de uma opção de compra conforme a equação (15):

$$\Phi(X) = E_{\max} [(X_t - I) e^{-\rho T}, 0], \quad (15)$$

onde:

I é o Investimento inicial, X_t é o valor de tempo do ativo subjacente e ρ é a taxa de desconto.

A estratégia de investimento ótimo é maximizar o valor da opção com respeito ao tempo T dado o processo de investimento estocástico subjacente X ; em outras palavras, se quer encontrar:

$$\Phi^*(X) = \max_T E_{\max} [(X_T - I) e^{-\rho T}, 0]$$

Considere-se inicialmente o caso de volatilidade próxima de zero, ou seja, no qual a incerteza pode ser desprezada; requer-se ainda uma taxa de tendência, normalmente medida como a taxa de crescimento no valor do ativo e definida como α .

Assume-se que taxa de desconto $\rho > \alpha$, ou seja, a taxa de tendência do ativo subjacente não é maior do que a taxa de desconto; do contrário, o processo crescerá a

uma taxa muito maior do que ele pudesse ser exercido, com o valor do ativo tendendo a infinito, e nunca seria viável exercer a opção. Porque se definiu α como a taxa de crescimento sobre o processo de investimento subjacente, ela torna-se a taxa de crescimento no caso determinístico. Assim, o problema fica simplificado para a condição onde:

$$\Phi^*(X) = \max_T \max [(X_0 e^{\alpha T} - I) e^{-\rho T}, 0]$$

ou seja, o valor do ativo subjacente X_0 no tempo zero cresce a esta taxa de crescimento α tal que no tempo T , o valor do ativo composto continuamente torna-se $X_0 e^{\alpha T}$. Junto a isso, devido ao valor do dinheiro no tempo, o valor presente é descontado à taxa contínua de $e^{-\rho T}$.

Percebe-se neste ponto que atrasar a execução de uma opção cria o benefício marginal do crescimento composto do valor do ativo ao longo do tempo, enquanto o custo marginal é o valor do dinheiro.

O tempo ótimo de execução pode ser derivado para obter o tempo de execução equilibrado, no qual o valor presente líquido é maximizado.

Iniciando-se com $\Phi(X) = \max_T \max [(X_0 e^{\alpha T} - I) e^{-\rho T}, 0]$ obtém-se:

$$d\Phi(X) / dT = (\alpha - \rho) X_0 e^{(\alpha - \rho)T} + \rho I e^{-\rho T} = 0 \quad (16)$$

Do processo de maximização obtém-se:

$$(\rho - \alpha) X_0 e^{(\alpha - \rho)T} = \rho I e^{-\rho T} \quad (17)$$

Assim, após alguma manipulação da equação (17), o tempo ótimo para execução é expresso pela equação (18):

$$T = 1/\alpha \ln [(\rho I) / (\rho - \alpha) X_0] \quad (18)$$

Note-se que o período assim expresso é o que determina o maior valor presente líquido (VPL) e este máximo VPL é o valor da opção de espera para exercer o investimento, quando comparado com a situação do projeto ser executado imediatamente.

Para que sejam evitados valores indefinidos ou negativos do tempo ótimo, pode-se redefinir o tempo ótimo como o valor de máximo expresso na equação (19):

$$T^* = \text{Max} [1/\alpha \ln (\rho I / (\rho - \alpha) X_0) ; 0] \quad (19)$$

Usando o valor ótimo de tempo citado $T = 1/\alpha \cdot \ln [\rho I / ((\rho - \alpha) \cdot X_0)]$ obtém-se um resultado interessante. Especificamente, rearranjando a equação tem-se:

$e^{\alpha t} = \rho I / (\rho - \alpha) X_0$ de onde obtém-se a equação (20) para o gatilho ótimo do projeto:

$$X_0 e^{\alpha t} / I = \rho / (\rho - \alpha) \quad (20)$$

O lado esquerdo da equação (20) é chamado comumente de índice de rentabilidade, isto é, o valor futuro do ativo subjacente dividido pelo custo de implementação.

Um valor do índice de rentabilidade maior do que 1 implica um VPL positivo, porque o valor do ativo ultrapassa os custos de implementação. Um índice menor do que 1 implica um VPL negativo. Então, usar este índice de rentabilidade é análogo a tomar decisões usando a análise do VPL.

Mun (2002) demonstrou que, quando as taxas de desconto aumentam, mantidas as taxas de crescimento constantes, é ideal executar a opção de investir mais cedo. Isto é porque o valor do dinheiro no tempo e as perdas de custos de oportunidades com investimentos ultrapassam a taxa de crescimento no valor dos ativos em longo prazo. Do contrário, quando se mantém a taxa de desconto constante e aumenta-se a taxa de crescimento, torna-se claro que esperar para investir é a decisão correta ante a decisão de investir imediatamente. Nesse caso, a taxa de crescimento na estimativa do valor do

ativo ultrapassa em muito as taxas de perdas de custos de oportunidades com investimentos.

Nos casos com incerteza ou estocásticos, quando a taxa de crescimento do valor do ativo subjacente é incerta, isto é, α varia a uma taxa σ (volatilidade), o valor do tempo ótimo não pode mais ser verificado. Simulação é preferida nesse caso. Porém, o valor do gatilho ótimo para a tomada de decisão pode ser determinado.

Mun (2002) descreve o valor do gatilho ótimo medido em termos do índice de rentabilidade como na equação (21)

$$X_0 e^{\alpha t} / I = \frac{\{ [2\rho/\sigma^2 + (\alpha/\sigma^2 - 0,5)^2]^{0,5} + 0,5 - \alpha / \sigma^2 \}}{\{ [2\rho/\sigma^2 + (\alpha / \sigma^2 - 0,5)^2]^{0,5} - 0,5 - \alpha/\sigma^2 \}} \quad (21)$$

Conforme verificado por Mun (2002), de sua análise de índice de rentabilidade para diferentes combinações de taxas de crescimento em função das taxas de desconto, observa-se que os valores de gatilhos ótimos medidos em termo dos índices de rentabilidade são maiores para taxas de crescimento estocásticas do que para taxas de crescimento determinísticas.

3.3.1 Avaliando uma carteira de projetos de P&D na indústria aeronáutica

Para exemplificar o cálculo de opções de avaliação estocástica foi realizado o estudo sobre um conjunto de projetos de pesquisa e desenvolvimento no qual se procurou determinar a ordem de priorização de implantação dos projetos de novas tecnologias de produção de peças em materiais compósitos e termoplásticos, dada uma restrição orçamentária da empresa detentora dos projetos.

Os valores monetários e períodos de tempo envolvidos no trabalho foram corrigidos por constantes para preservar informações restritas dos processos da empresa, porém possibilitando o cálculo das grandezas envolvidas na TOR. A taxa de desconto anualizada adotada pela empresa é de 18,0%.

O dividendo anual destas avaliações, ou seja, o custo de oportunidade na execução dos projetos é atribuído pelo setor de controladoria como sendo de 1,1%,

considerando que os projetos são de mesma natureza. A volatilidade anualizada dos fluxos de caixa destes projetos foi identificada a partir de informações dos gestores da empresa como sendo de 28,5%. A volatilidade também pode ser calculada como o logaritmo natural do retorno do fluxo de caixa do projeto em análise.

Foram analisados os projetos de prospecção e viabilidade tecnológica para serem implantadas no setor produtivo da empresa aeronáutica as tecnologias mais viáveis.

Os investimentos nos projetos foram referenciados na interface do *software* ROAT® como as opções A, B, C e D. O projeto chamado opção A na Figura 25 refere-se a uma nova tecnologia de produção de componentes em termoplásticos que pode ser instalada para prática em 12 meses; o fluxo de caixa descontado do projeto A é de UM\$ 3.760 (unidades monetárias) e o valor do fluxo de investimentos descontado é de UM\$ 1.930. O investimento descrito na opção B é uma tecnologia para produção de componentes compósitos com fibras secas e infusão de resina e tem tempo de aplicação viável em 24 meses; o fluxo de caixa descontado é de UM\$ 3.550 e o valor do fluxo de investimentos descontado é de UM\$ 2.350. Na opção C, têm-se os valores previstos da implantação de uma nova técnica de reparos de componentes em compósitos com tempo de efetivação de 18 meses, sendo o fluxo de caixa descontado no valor de UM\$ 2.260 e o valor do fluxo de investimentos descontado de UM\$ 2.843; na opção D, é verificada a viabilidade de melhoria da tecnologia de colagem estrutural em compósitos, com uma efetivação prevista para 24 meses, sendo o valor do fluxo de caixa descontado de UM\$ 2.500 e valor do fluxo de investimentos descontado de UM\$ 2.059.

Na Figura 25 estão também citados os valores dos fluxos de caixa futuros descontados e os valores dos custos de investimentos descontados para os projetos em análise. As duas informações anteriores, juntamente com as informações sobre os dividendos, taxa de desconto, período de início dos projetos e volatilidade anualizada, permitem que seja usado o modelo de avaliação estocástica conforme descrito por Mun (2002) para calcular o momento ideal para realizar cada um dos investimentos.

A solução é calculada pelo aplicativo ROAT® a partir de funções pré-programadas sobre o *software* Excel, que realizam os cálculos e interações para obter

o valor ótimo para o exercício de cada opção e o valor do fluxo de caixa descontado à taxa de interesse fornecida. Comparando estes valores, o programa sugere a ação a ser tomada pelo gestor sobre cada um dos investimentos.

O modelo de avaliação estocástico usado neste trabalho considerou uma opção com vida infinita começando num tempo futuro t . O modelo usa uma abordagem diferencial parcial para estimar o valor do gatilho ótimo de uma dada opção e o tempo ótimo de execução de uma opção, dados os parâmetros relevantes. Para maiores detalhes sobre o processo de cálculo, consulte-se ROAT® (2006).

O modelo de avaliação estocástica é um tipo de opção de vida infinita, ou seja, a opção tem um período inicial (em meses) durante o qual a opção em análise começa a ter efeito no futuro e a vida da opção é duradoura, como no caso de uma corporação, que tem vida estimada infinita.

A análise deve considerar também que os gastos são parcialmente irreversíveis, ou seja, uma vez investidos, não podem ser recuperados, e que os investimentos podem ser postergados, porém contra um custo de esperar, especificado como uma taxa percentual de dividendo.

Contudo, há também o custo de oportunidade de executar o investimento já, tal que algumas vezes, ser capaz de esperar por mais informação é valioso e deve ser incluído no cálculo. Por exemplo, quanto maior a incerteza, maior o retorno requerido antes que uma empresa decida por fazer o investimento irreversível.

Assim, o módulo do ROAT® calcula o valor ótimo do exercício do investimento (gatilho ótimo) de forma que se o valor descontado dos fluxos de caixa futuros exceder este valor, então a decisão correta é executar o investimento imediatamente.

	Período Aplicação	Taxas Desconto	Valor descontado dos fluxos de caixa futuros	Valor descontado dos investimentos	Valor FCD	Taxa Atratividade	Dividendo (Custo de Oportunidade de Esperar)
Opções							
Opção A	12	18,00	\$3.760,00	\$1.930,00	\$1.830,00	1,39%	1,10%
Opção B	24	18,00	\$3.550,00	\$2.350,00	\$1.200,00	1,39%	1,10%
Opção C	18	18,00	\$2.260,00	\$2.843,00	-\$583,00	1,39%	1,10%
Opção D	24	18,00	\$2.500,00	\$2.059,00	\$441,00	1,39%	1,10%
	Desvio Padrão	Valor Ótimo de exercício do valor descontado de investimentos	Valor da Opção em t	Valor da Opção em t = 0	Volatilidade	Parâmetro de Flexibilidade	Decisão de Investir
Opção A	2,11%	2590,25	\$2.848,73	\$2.414,18	28,50%	1,3421	Executar o investimento
Opção B	2,11%	3153,93	\$1.278,72	\$918,35	28,50%	1,3421	Executar o investimento
Opção C	2,11%	3815,59	\$124,62	\$97,23	28,50%	1,3421	Esperar para investir
Opção D	2,11%	2763,38	\$475,50	\$341,50	28,50%	1,3421	Esperar para investir
			Valor Total da Opção em t = 0		\$3.771,26		

FIGURA 25 - Extrato da tela do *software* ROAT® para modelo de avaliação estocástica

A simulação para a avaliação da carteira foi realizada no *software* ROAT® versão 2.1 do fabricante *Decisioneering* que funcionou sobre o sistema operacional *Windows* XP em um computador com velocidade de processamento de 3,2 GHz (Pentium 4 Intel 775P) e com 2 GB de memória RAM. O tempo de simulação foi da ordem de 10 segundos.

3.3.2 Conclusões

Observou-se para os parâmetros fornecidos sobre os projetos e aplicando-se o modelo de avaliação estocástica do *software* ROAT ® que a decisão acertada foi a realização dos investimentos A e B neste momento e aguardar mais informações para realizar os investimentos C e D (não implementá-los agora).

No ambiente empresarial, esta sugestão colocou os projetos de pesquisa e desenvolvimento das tecnologias A e B em andamento e as técnicas de produção estão sendo desenvolvidas.

Observa-se grande diferença entre o valor ótimo de exercício e o valor do fluxo de caixa descontado do projeto C, sugerindo que o mesmo não deva ser executado neste momento.

Da análise da Figura 25, sugere-se aguardar por mais informações para realizar a tomada de decisão em relação ao projeto “C”, mas dado o atual valor negativo do fluxo de caixa descontado daquele projeto, provavelmente ele deverá ser modificado em sua concepção para poder vir a ser considerado “viável” e conseqüentemente, aprovado pela gestão da empresa. Esta é uma característica importante dessa abordagem: permitir que sejam identificados projetos com concepções pouco viáveis e imediatamente sugerir que se atue sobre eles, buscando adequá-los ou descartá-los, sendo assim necessário procurar soluções alternativas, isto é, novos projetos.

É desejável, para que o projeto seja bem aceito e represente uma mudança no ambiente corporativo que se busquem ferramentas como a aqui apresentada para que a metodologia de avaliação estocástica das opções presentes nos investimentos seja mais simples de aplicar, e que seja capaz de destacar características importantes dos processos analisados para os gestores de projetos.

4 COMENTÁRIOS FINAIS

4.1 CONCLUSÕES GERAIS

Ao realizar-se esta pesquisa, de natureza aplicada e tecnológica, com abordagem quantitativa, sendo por objetivo, exploratória, usando procedimentos de pesquisa operacional, realizada em campo e em condições *ex post-facto*, aplicaram-se os conceitos da teoria das opções reais na análise de projetos de pesquisa e desenvolvimento na indústria aeronáutica brasileira.

Para sugestões de extensões desse trabalho e análises complementares voltadas a novas pesquisas envolvendo a teoria das opções reais em ambiente corporativo, vide a seção 4.2.

Compilou-se a revisão bibliográfica na seção 2.1 do trabalho, tendo sido avaliadas diferentes abordagens de aplicação da teoria das opções reais, entre as quais, maior foco foi direcionado para os estudos teóricos ou empíricos voltados a aplicações em projetos de pesquisa e desenvolvimento. Dentro deste âmbito de pesquisa, um pequeno percentual (cerca de 15% do material consultado) destinava esforços para aplicações na indústria aeronáutica em geral. Da leitura empreendida, observou-se que as principais aplicações das opções reais em pesquisa e desenvolvimento foram: a determinação da estratégia apropriada de P&D e preparação de orçamentos, determinação do tempo ótimo para fases dos projetos, distribuição do orçamento corporativo entre as propostas de projetos e, avaliação de projetos para operações de engenharia financeira corporativa.

Foram citadas as técnicas de análise de projetos de investimentos preferencialmente usadas pela indústria aeronáutica, com suas considerações de significado, aplicações e regras de decisão. Foram descritas as técnicas do valor presente líquido, que embasa as aplicações da TOR; a técnica da taxa interna de retorno, na seção 2.3.4; a técnica da taxa interna de retorno modificada, na seção 2.3.4.1, que permite avaliar fluxos de caixa não-convencionais e a técnica do período

de recuperação do capital (*Pay-Back*), usada no ambiente corporativo como uma referência ao grau de risco que cerca um determinado projeto.

Na seção 2.4 foram analisadas as definições e mecanismos que envolvem o mercado de opções financeiras, de forma que pudessem ser mais facilmente entendidas as operações executadas nos cálculos com opções reais.

Foram apresentadas as características das opções reais na seção 2.5.1 e analisadas as situações de projetos nas quais o uso delas é mais valioso, do ponto de vista da tomada de decisão. Foram mostradas as variáveis que influenciam no valor das opções reais e a classificação dos tipos de opções aplicáveis no ambiente corporativo em geral.

A seção 2.5.2 destacou a comparação entre as características das opções financeiras e opções reais.

Dentro do tópico de análise das opções reais foi incluída uma seção de comparação entre a abordagem do VPL e da TOR e um breve referencial dos métodos matemáticos para processos estocásticos e do Lema de Itô, instrumento para precificação de opções mais difundido ao tratar-se do método de solução por equações. O referencial foi aprofundado no anexo desta pesquisa.

Foi realizada na seção 2.5.6 uma compilação dos quatro passos necessários para se proceder a análise de investimentos pela TOR e também, discorreu-se sobre os principais erros praticados pelos decisores ao tentarem usar a TOR pela primeira vez, versando sobre a escolha adequada do nível de complexidade para a aplicação, uso irrestrito da fórmula de Black-Scholes, negligenciando as limitações da fórmula para o cálculo de modelos mais gerais de opções reais e o erro do uso da abordagem de análise por árvore de decisão sem dar o passo final necessário do cálculo dos portfólios replicados.

Descrito o embasamento teórico para a TOR, aplicou-se o método de resolução em três estudos de campo com apoio da indústria aeronáutica participante da pesquisa e decidiu-se pela aplicação da TOR em três tipos de situações, comuns de ocorrerem na indústria avaliada.

Avaliou-se na seção 3.1 o primeiro estudo de campo, um projeto de P&D com opções de aprendizado e incertezas não-correlacionadas, onde deveria ser tomada a decisão sobre a implantação de um novo processo de fabricação, no qual estavam presentes fontes de incerteza tecnológica, ou seja, sobre a viabilidade técnica de se produzir um componente a partir daquele processo. Analisou-se ainda, na seção 3.1.1, a solução do mesmo problema com o uso do *software* ROAT®, específico para análise de opções reais e também, útil na realização de simulação Monte Carlo; usou-se no ROAT® o módulo para opções compostas multi-seqüenciais do tipo americanas; os resultados para o valor expandido calculado manualmente e pelo ROAT® sugeriram que o projeto deveria ser implementado, contrariando a análise do VPL sem flexibilidade e da TIR (técnicas tradicionais de avaliação de investimentos), que sugeriam o cancelamento do projeto.

O segundo estudo de campo realizado versou sobre cálculo de opções reais do tipo arco-íris, isto é, com mais de um tipo de incerteza, em um projeto com três fases; a primeira sujeita apenas à incerteza tecnológica, e a segunda fase, ainda de desenvolvimento, sujeita à incerteza técnica e comercial; a terceira fase referiu-se à instalação do processo em análise, caso fosse definido como viável nas fases anteriores. Aplicou-se o método de resolução em quatro passos, executando-se cálculos manuais, ao longo da seção 3.2 e também a resolução usando o ROAT®, através de seu módulo para opções compostas do tipo européias, que é o tipo de solução aplicável a investimentos em P&D e outros investimentos com múltiplos estágios de decisão seqüenciais. Ambas as abordagens, manual e pelo *software* ROAT®, recomendaram a realização do empreendimento.

Na seção 3.3 um terceiro estudo de campo foi realizado para verificar como otimizar a decisão em carteira de projeto de P&D; dada uma carteira de projetos de tecnologia de fabricação a ser realizada, buscou-se responder qual dos projetos deveriam ser implementados no momento atual, de forma a otimizar o orçamento empresarial. As opções estocásticas pedem para sua solução a abordagem das equações fechadas, o que foi realizado também com o *software* ROAT®, em seu módulo para avaliação estocástica. Dos quatro projetos analisados neste estudo, houve a recomendação para execução de dois deles imediatamente, uma vez que o valor

ótimo de exercício do investimento (gatilho ótimo) foi maior do que o valor descontado dos fluxos de caixa futuros; os outros dois projetos devem aguardar para serem iniciados e possivelmente, um dos projetos (chamado “C”) tem valor atual tão baixo que provavelmente deverá ser modificado em sua concepção, para poder tornar-se viável e ser aprovado pela gestão da empresa.

Os resultados gerais dos estudos de campo tiveram dois efeitos diretos: mostraram que a TOR é aplicável também ao segmento industrial aeronáutico, pois auxilia na interpretação das informações disponíveis no cotidiano, e também, cumpriram o objetivo específico de testar a hipótese de que as técnicas tradicionais tendem a sub-avaliar os projetos de investimento em P&D, enquanto a flexibilidade gerencial pode ser captada pela TOR.

As grandezas envolvidas nos estudos de campo tiveram de ser corrigidas para preservar informações restritas do ambiente industrial, mas os cálculos puderam ser realizados e resultaram em informações suficientes para a tomada de decisão.

Na solução de eventos de P&D pela TOR ainda predomina o uso de soluções por equações fechadas ante às alternativas de simulação ou grades binomiais e quadrinomiais. Tal cenário começa a ser mudado com o ótimo desempenho atingido pelas metodologias mais recentes ao avaliar ampla gama de casos nos quais pode ser aplicada a análise pela TOR e também devido ao desenvolvimento de *softwares* de apoio a essas análises.

Ter *softwares* que calculem os valores de opções reais é de grande valia para empresas que decidem sobre priorização de carteiras de projetos e outras estratégias a serem adotadas, principalmente em empresas intensivas em tecnologia. Isto libera os analistas e gestores de terem de criar de forma recorrente, modelos sofisticados ou manter muitas soluções alternativas que tenham de ser combinadas para se buscar a solução de um problema em particular.

Softwares com alguma flexibilidade inserida em sua estrutura permitem ao usuário replicar os resultados com facilidade, através de um processo confiável e consistente.

O objetivo específico de testar um *software* para valorar opções reais foi atingido, uma vez que o *software* escolhido para avaliar estes estudos de campo (ROAT®, inserido no *Crystal Ball® Premium Edition v.2.1*) aplica-se a quase todos os tipos de avaliações com opções reais (exceto em opções híbridas) liberando o gestor de projetos para efetivamente atuar no processo decisório.

Como planejado, esta pesquisa conseguiu difundir as aplicações da teoria das opções reais em um ambiente corporativo de alta tecnologia mostrando a viabilidade da aplicação da metodologia, ao corroborar as decisões dos estudos de campo *ex post-facto* usando-se técnicas relativamente simples de análise das opções reais.

4.2 RECOMENDAÇÕES

Há outras situações de decisão de investimento em P&D que não foram abordadas nesta pesquisa; trabalhos da última década, como Smith e Ankum (1993) têm citado interações estratégicas entre rivais como componentes principais nas decisões de investimento.

A pesquisa acadêmica sobre a relação entre apreçamento de opções e teoria de jogos está em sua infância, com artigos de Grenadier¹¹ (2000 *apud* COPELAND; ANTIKAROV, 2001). A Teoria dos Jogos (GRENADIER; 2000) e a teoria das opções reais se complementam, pois, enquanto a primeira modela o valor criado pelas empresas em situação de concorrência, a segunda ajuda a descontar esse valor de forma adequada e a formular e avaliar corretamente uma estratégia competitiva dinâmica capaz de captar a flexibilidade gerencial.

Outra frente de aplicações promissoras reside na avaliação de operações de *hedge* com seleção adequada de portfólio de investimentos para minimizar o risco em contratos de opções reais, como sugerido no trabalho de Huang; Subrahmanyam e Yu (1996).

¹¹ GRENADIER, S. Option Exercise Games: The intersection of Real Options and Game Theory. **Journal of Applied Corporate Finance**, 13, 2, p. 99-108, 2000 *apud* COPELAND, T.; ANTIKAROV, V. **Opções reais: Um novo paradigma para reinventar a avaliação de investimentos**. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

Em Dias (2006) podem ser verificadas outras importantes contribuições atuais e relevantes, relativas às opções reais híbridas (opções reais associadas com outras metodologias); modelos de jogos de opções compõem o principal tipo de opções reais híbridas. Este campo de estudo representa um grande desafio e fonte para intensa pesquisa, pois além de ser necessário o conhecimento sobre a TOR, é necessário conhecer com boa profundidade outras teorias não menos complexas como a teoria de decisão estatística bayesiana, teoria da computação evolucionária, teoria dos jogos e outras.

Esta pesquisa permitiu paralelamente à fase de pesquisa bibliográfica, que fosse verificada como viável a possibilidade da associação dos efeitos da Teoria da Resolução de Problemas Inventivos (do acrônimo em idioma russo - TRIZ) com a TOR, em ambiente corporativo. A TRIZ, conforme descrito por Carvalho (2003), compõe-se de vários métodos para a inovação e para a solução de problemas de engenharia. Da associação das duas teorias, pode resultar um trabalho inédito para o campo de gestão da produção, ao tratar-se a solução de problemas da manufatura em geral, de forma robusta, utilizando-se os recursos da TRIZ, ao mesmo tempo em que se otimizam os recursos e custos operacionais, com apoio dos recursos da TOR.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ, F.H.B. O investimento seqüencial em empreendimentos de capital de risco: um estudo com opções reais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 36. , São João Del Rei. **Anais...** São João Del Rei: UFSJ – Universidade Federal de São João Del Rei. 2004. 1 CD-ROM.

AMARO SOBRINHO, A.; MARINS, F.A.S.; BATISTA JÚNIOR, E.D. Investimentos em projetos de pesquisa e desenvolvimento: validando uma opção de análise. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 37., Gramado. **Anais...** Gramado: UFSM, 2005a. 1 CD-ROM.

AMARO SOBRINHO, A.; MARINS, F.A.S.; BATISTA JÚNIOR, E.D. Decisão de investimentos em projetos de pesquisa e desenvolvimento usando a teoria das opções reais. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 25., Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 2005b. 1 CD-ROM.

AMARO SOBRINHO, A.; MARINS, F.A.S.; BATISTA JÚNIOR, E.D. Opções de avaliação estocástica – otimizando a decisão de carteira de projetos de investimentos. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 38., Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFGO, 2006. 1 CD-ROM.

AMARO SOBRINHO, A.; MARINS, F.A.S.; BATISTA JÚNIOR, E.D. Uma Aplicação da Análise por Opções Reais na Priorização de uma Carteira de Projetos de Pesquisa & Investimentos numa Indústria Aeronáutica. In: Conferencia Latino-Ibero-Americana de Investigación de Operaciones, 13., Montevideo. **Anais...** Montevideo: Universidad de la República, 2006b. 1 CD-ROM.

AT RISK. **@Risk professional edition**. New York, Palisade Inc., 2006. Fabricante de softwares e fornecedor de serviços em análise de riscos e tomada de decisão por redes neurais. Disponível em: < <http://www.palisade.com/risk/>>. Acesso em: 25 ago.2006.

BANCO CENTRAL. **Sistema financeiro brasileiro**. Brasília, Banco Central do Brasil, 2006. Publica informações sobre as regras e indicadores do sistema financeiro brasileiro. Disponível em: < <http://www.bcb.gov.br> >. Acesso em: 25 ago.2006.

BLACK, F.; SCHOLES, M. The pricing of options and corporate liabilities. **Journal of Political Economy** , Estados Unidos,v.1, n.81, p. 637-659, 1973.

BRASIL, H. G. **Avaliação moderna de investimentos**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

BOVESPA. **Bolsa de valores do Estado de São Paulo**: Investidor. São Paulo. Bovespa. 2006. Apresenta definições dos mercados de ações e derivativos. Disponível em:

<http://www.bovespa.com.br/Home/redirect.asp?end=/Investidor/CursoBasico/curso_bov.htm>. Acesso em: 10 jul.2006.

CARVALHO, M.A. **TRIZ (Teoria da solução inventiva de problemas)**. Conceitos e descrição de alguns métodos de análise com a teoria TRIZ. Disponível em: www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentoss_port/pag_conhec/triz_numa.html. Acesso em: 20.set 2006.

CHWIF, L.; MEDINA, A.C. **Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações**. São Paulo: dos Autores. 2006.

COPELAND, T.; ANTIKAROV, V. **Opções reais: Um novo paradigma para reinventar a avaliação de investimentos**. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

CRYSTAL BALL. **Crystal ball premium edition: academic version**. Decisioneering. Denver. 2006. Comercializa softwares e serviços de treinamento em análise de riscos, tomada de decisão e avaliação de opções reais. Disponível em: <www.decisioneering.com>. Acesso em 02 ago.2006.

CRUZ, C.; RIBEIRO, U. **Metodologia Científica: Teoria e prática**. Rio de Janeiro: Axcel Books do Brasil, 2004.

DIAS, M. **The Real options contributions page**. Metodologia para cálculo de opções reais e aplicações. Disponível em: < www.sphere.rdc.puc-rio.br/marco.ind/update.html >. Acesso em: 20. maio 2006.

DIXIT, A.; PINDYCK, R. S. **Investment under uncertainty**. Princeton: Princeton University Press. 1993.

EILAT, H., GOLANY, B.; SHTUB, A. Constructing and evaluating balanced portfolios of R&D projects with interactions: A DEA based methodology. **European Journal of Operational Research**, London, v. 1, n.172, p. 1018 – 1039. 2005.

FAHRNI, P.; SPÄTIG, M. An application-oriented guide to R&D project selection and evaluation methods. **R&D Management**, Oxford, v.1, n. 20, cap. 2. 1990.

GODINHO, P.C.; AFONSO, A.R.; COSTA, J.P. On the use of multiple financial methods in the evaluation and selection of investment projects. **Associação Portuguesa de Investigação Operacional**, Coimbra, v.1, n. 24, p. 1-20. 2004.

GUSTAFSSON, J.; SALO, A. Contingent portfolio programming for the management of risky projects. **Operations Research**, London, v.1, n. 53, Issue 6, Nov/Dec, p. 946-958. 2005.

HUANG, J.; SUBRAHMANYAM, M.G.; YU, G.G. Pricing and hedging american options: a recursive integration method. **Review of Financial Studies**, Oxford, v. 9, n. 1, pp. 277-300. 1996.

JUNG, C.F. **Metodologia para pesquisa & desenvolvimento**: aplicada a novas tecnologias, produtos e processos. 1. ed. Rio de Janeiro: Axcel Books do Brasil. 2004.

KAPLAN, R.S.; NORTON, D. **A estratégia em ação**: balanced scorecard. 11. ed. Rio de Janeiro: Campus. 1997.

KASSAI, J.R.; KASSAI, S.; dos SANTOS, A.; NETO, A.A. **Retorno de Investimento**: abordagem matemática e contábil do lucro empresarial. 2. ed. São Paulo: Atlas. 2000.

LACKNER, D.I. **Strategic Technology Investment Decision in Research and Development**. Massachusetts Institute of Technology (MIT). Cambridge. 1999.

MATLAB, version 7.0: Mathworks, 2006. *Software* de apoio à simulação matemática e de sistemas. Disponível em: < <http://www.mathworks.com>>. Acesso em: 24. ago. 2006

MATTOS, C.A.; LAURINDO, F.J.B. Aplicando um modelo de opções reais na gestão de portfólio de projetos baseados na internet. In: SEMINÁRIO LATINO-IBEROAMERICANO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA (ALTEC), 11., 2005, Salvador. **Anais...** Salvador: Universidade Federal da Bahia. 1 CD-ROM.

MERTON, R. C. The theory of rational option pricing. **Bell journal of Economics and Management Science**, London, v. 4, n.1, p.141-183. 1973.

MUN, J. **Real options analysis**: tools and techniques for valuing strategic investments and decisions. 2.ed. New Jersey: Wiley Finance. 2002.

NASCIMENTO, A.F. **Avaliação de investimentos em tecnologia da informação**: uma perspectiva de opções reais. Dissertação de Mestrado em engenharia industrial. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2005.

NOVAES, A.G.N.; SOUZA, J.C. A real options approach to a classical capacity expansion problem. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 2, 2005. p. 159-181.

PAXSON, D. A. **Real R&D Options**. 1.ed. London: Butterworth-Heinemann Finance, 2003. p. 48-63.

PENNINGS, E.; LINT, O. The option value of advanced R&D. **European Journal of Operational Research**, vol. 103, p. 83-94. 1997.

PRIES, F., ASTEBRO, T. ; OBEIDI, A. **Economic Analysis of R&D Projects: Real Option versus NPV Valuation Revisited**, Waterloo: Relatório Técnico publicado na University of Waterloo. 2001.

PRITSCH, G. Die *New Economy* braucht neue Bewertungsverfahren. **Frankfurter Allgemeine**, Frankfurt, 7 maio 2003. Editorial, p.4.

Real Options Analysis Toolkit (**ROAT®**), version 2.1: Decisioneering, 2006. Complemento ao MSExcel. Disponível em: <<http://www.decisioneering.com/cbpremium/index.html>>. Acesso em: 10 mar. 2006.

ROSS, S.M. **Stochastic processes**. 1. ed. New York: John Wiley & Sons. 1982.

SANTOS, E. M. **Qual o valor de um projeto de pesquisa?** Uma comparação entre os métodos de opções reais, árvore de decisão e VPL tradicional na determinação do valor de um projeto real de pesquisa e desenvolvimento (P&D). 2001. Dissertação (Mestrado em engenharia de produção). UNIFEI - MG. 2001.

SANTOS, E. M.; PAMPLONA, E. O. Teoria das opções reais: Aplicação em pesquisa e desenvolvimento (P&D). In: Encontro Brasileiro de Finanças, 2., 2002, Rio de Janeiro. **Anais...**, Rio de Janeiro: IBMEC, 2002.

SCHMIDT, P.; SANTOS, J.L. **Avaliação de ativos intangíveis**. São Paulo: Atlas, 2002. p. 11-35.

SCHWARTZ, E. S. **Patents and R&D as real options**. Los Angeles: Anderson School of Management. 2002.

SHISHKO, R.; EBBERLER, D.H.; FOX, G. NASA technology assessment using real options valuation. **Systems Engineering**, Califórnia, v. 7, n.1, p. 1-12. 2003.

SILVA, W.V.; COSTA JR.,N.C.A, BORDINI, G.A.; FONTANINI, C.A.C. Uma aplicação da teoria das opções reais à análise de investimentos para a Internet em tecnologia ASP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 36., São João del Rei. **Anais...** São João del Rei: UFSJ. 2004. 1 CD-ROM.

SRIKANT, M. **Option pricing with stochastic volatility**. Singapore, 1998. 110f. Dissertação (Mestrado em ciência da computação). Department of Computational Science, National University of Singapore, Taiwan, 1998. Disponível em: <<http://srikant.org/thesis/node8.html#Solution>>. Acesso em: 25 ago.2006.

TAKALO, T.; KANNIAINEN, V. Real options in research, patenting and marketing introduction. **International Journal of Industrial Organization**, Helsinki, v. 18, n.7, p. 1105-1127. 2000.

WALTERS, C.; GILES, T. Using real options in strategic decision making. **Tuck Paradigm**, Dartmouth. Disponível em: <<http://mba.tuck.dartmouth.edu/paradigm/spring2000>>. Acesso em: 14 fev. 2006.

APÊNDICE - USANDO O PROGRAMA REAL OPTIONS ANALYSIS TOOLKIT (ROAT®) VERSÃO 2.1.

O *software Real Options Analysis Toolkit* (ROAT®) é um aplicativo baseado em planilha usado para analisar e calcular o valor das opções reais, incorporando esses valores a modelos padronizados de planilhas.

O ROAT inclui 99 diferentes funções de opções reais, 44 modelos já formatados e parametrizados, portanto, fáceis de usar, além de uma poderosa interface gráfica.

Ao aplicar-se a TOR usando o *software* ROAT® para apoiar a tomada de decisão, tem-se:

- Uso de 99 funções de opções reais e 44 modelos, incluindo opções de troca, correlação de dois ativos, expansão, contração, abandono, barreira, opções americanas e opções européias.
- Uso de planilha e grades binomiais para identificar, avaliar, selecionar e priorizar os projetos mais adequados.
- Ganho adicional de visibilidade em valores de estratégias e flexibilidade gerencial nos processos de tomada de decisão.
- Troca da análise estática do VPL pela possibilidade de análises mais sofisticadas que incluem simulação dinâmica, análise de opções reais e otimização.
- Uso de um processo seguro, repetitivo e consistente para a tomada de decisão.
- Solucionam-se problemas que não poderiam ser resolvidos de outra forma.

Esses fatores minimizam a possibilidade de realizar análises de decisão enganosas.

Apresenta-se na Figura 26 a visualização da tela básica do *software*, na qual são observados os grupos de funções desenvolvidas para as diversas aplicações da TOR, além de algumas funções que podem ser configuradas pelo usuário.

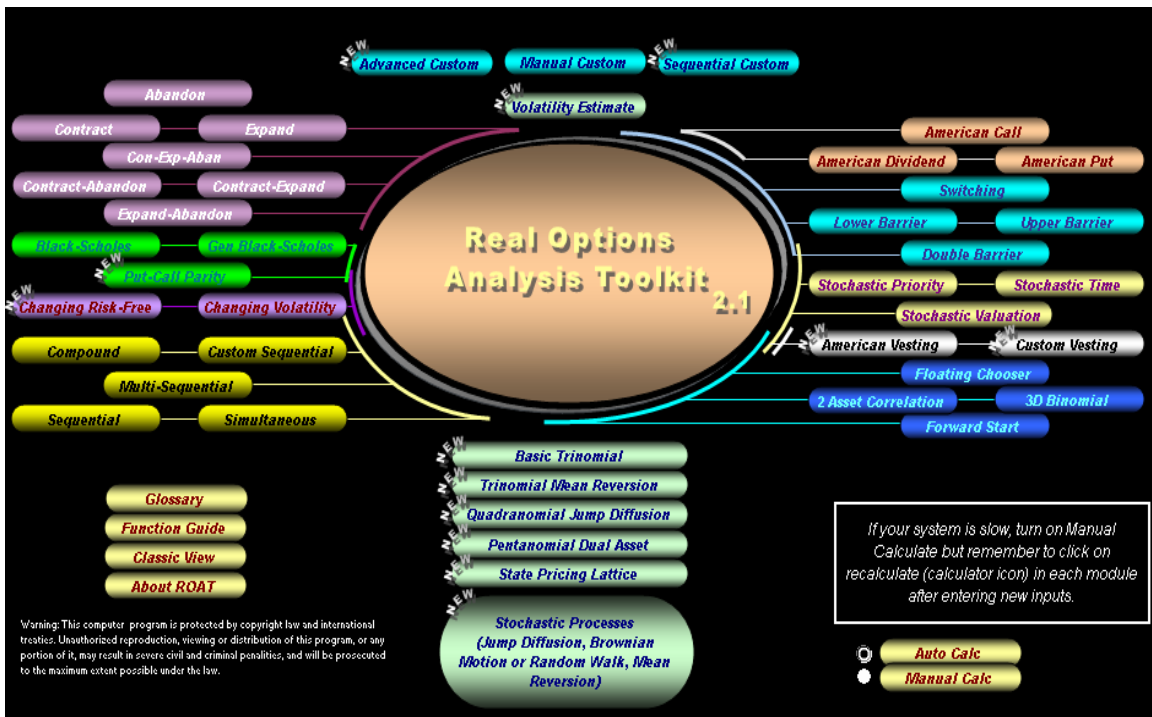


FIGURA 26 - Grupo de funções disponíveis no ROAT®

As situações podem ser calculadas bastando-se clicar sobre a função correspondente no quadro e informando-se os valores necessários das variáveis.

Em cada módulo foi introduzida também uma função de análise de sensibilidade do evento, como o exemplo mostrado na Figura 27. O objetivo é verificar o nível de correlação entre as grandezas de cada situação e o valor da opção analisada.

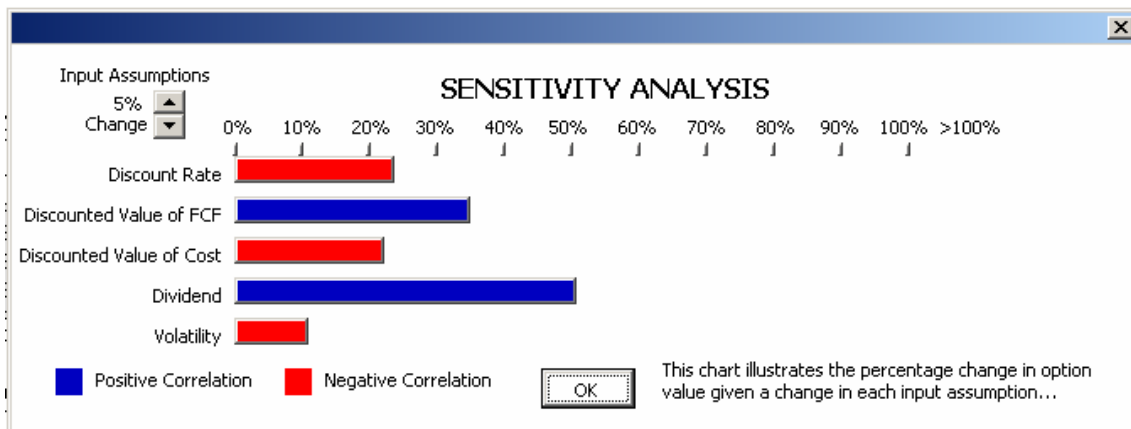


FIGURA 27 - Análise de sensibilidade inclusa nas funções do ROAT®

Maiores detalhes do uso de todas as funções disponíveis no ROAT® V.2.1 podem ser obtidas no manual do *software*, disponível em www.decisioneering.com.

ANEXO – LEMA DE ITÔ E EQUAÇÃO DE BLACK-SCHOLES

Esta seção foi adaptada de Srikant (1998), Dixit e Pindyck (1993) e Ross (1982) para discorrer sobre os processos estocásticos envolvidos no trabalho.

O Lema de Itô é um importante resultado na teoria dos processos estocásticos. Pretende-se aqui prover uma obtenção não rigorosa do lema.

O Lema de Itô afirma que se uma variável x segue um processo estocástico da forma da equação (22):

$$dx = a(x, t) dt + b(x, t) W dt \quad (22)$$

onde W é um ruído branco introduzido, então toda função uniforme $G(x, t)$ segue o processo descrito na equação (23):

$$dG = \left(\frac{\partial G}{\partial x} a + \frac{\partial G}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 G}{\partial x^2} b^2 \right) dt + \frac{\partial G}{\partial x} b W dt. \quad (23)$$

Pode-se apresentar uma definição não-rigorosa do Lema de Itô usando a fórmula da série de Taylor. Para uma função uniforme $G(x, t)$, a expansão da série de Taylor conduz ao resultado da equação (24):

$$\Delta G = \frac{\partial G}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial G}{\partial t} \Delta t + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 G}{\partial x^2} \Delta x^2 + \frac{\partial^2 G}{\partial x \partial t} \Delta x \Delta t + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 G}{\partial t^2} \Delta t^2 + \dots \quad (24)$$

Para um processo não estocástico, quando $\Delta x \rightarrow 0$, $\Delta t \rightarrow 0$, e a expansão da série de Taylor resulta na equação (25):

$$dG = \frac{\partial G}{\partial x} dx + \frac{\partial G}{\partial t} dt. \quad (25)$$

entretanto, como x segue o processo da equação (22):

$$dx = a(x, t) dt + b(x, t) W dt$$

cuja adaptação em forma discreta é expressa pela equação (26):

$$\Delta x = a(x, t)\Delta t + b(x, t)\epsilon\sqrt{\Delta t} \quad (26)$$

na qual, ϵ é a variável padrão normal, obtem-se a equação (27)

$$\Delta x^2 = a^2\Delta t^2 + 2ab\epsilon\Delta t^{\frac{3}{2}} + b^2\epsilon^2\Delta t = b^2\epsilon^2\Delta t + O(\Delta t^{\frac{3}{2}}) \quad (27)$$

Desde que ϵ é uma variável normal padrão, sabe-se que a esperança dessa variável é igual a 1, assim, pode-se escrever:

$$E(\Delta x^2) = b^2\Delta t$$

que é um termo de primeira ordem. Além disso, a variância de $\epsilon^2\Delta t$ é expressa pela equação (28):

$$E(\epsilon^4\Delta t^2) - E^2(\epsilon^2\Delta t) = O(\Delta t^2) \quad (28)$$

então, quando

$$\Delta t \rightarrow 0$$

Δx^2 torna-se determinístico e igual ao seu valor esperado que é $b^2\Delta t$.

A equação de Black-Scholes

Com o apoio da definição do Lema de Itô, pode-se avaliar a equação de Black-Scholes. Considere-se uma função derivável geral, cujo valor depende do valor do ativo subjacente S . Assume-se que S siga o processo estocástico de Wiener, conforme a equação (29):

$$dS = \phi S dt + \sigma SW dt \quad (29)$$

onde Φ (taxa de crescimento media do ativo subjacente) e σ (volatilidade) são constantes. Usando o Lema de Ito sobre esse processo, obtem-se que:

$$df = \frac{\partial f}{\partial S}dS + \left(\frac{\partial f}{\partial t} + \frac{\sigma^2 S^2}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} \right) dt = \left(\phi S \frac{\partial f}{\partial S} + \frac{\partial f}{\partial t} + \frac{\sigma^2 S^2}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} \right) dt + \sigma SW \frac{\partial f}{\partial S} dt$$

Não se pode avaliar diretamente estes termos, pois eles são estocásticos. Para eliminar o termo estocástico, considera-se o portfólio da equação (30):

$$\Pi = f - \frac{\partial f}{\partial S} S \quad (30)$$

observa-se então que:

$$d\Pi = df - \frac{\partial f}{\partial S} dS = \left(\frac{\partial f}{\partial t} + \frac{\sigma^2 S^2}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} \right) dt = r\Pi dt = r \left(f - \frac{\partial f}{\partial S} S \right) dt$$

Com esta equação seguindo a condição de não-arbitragem (uma vez que não há termos estocásticos, Π é o investimento à taxa livre de risco e então, deve oferecer o mesmo retorno que qualquer outro investimento livre de risco). Simplificando a equação, obtêm-se a equação (31), de Black-Scholes:

$$\frac{\partial f}{\partial t} + rS \frac{\partial f}{\partial S} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} = rf. \quad (31)$$

A condição inicial (ou final, em finanças) determina o tipo de derivativo que se está precificando. Para uma opção de compra, a condição final que se deve usar é:

$$f = \max(S - K, 0)$$

Vê-se que o princípio da avaliação risco-neutra é claramente satisfeito neste caso, uma vez que a equação de Black-Scholes é independente de Φ , a taxa de crescimento esperada para o preço do ativo subjacente.

É importante notar que o portfólio Π representa uma estratégia de *hedging*, replicante, de autofinanciamento. Ele replica o investimento à taxa livre de risco e fica protegido, uma vez que não tem componentes estocásticos.

Solução da equação de Black-Scholes

Há várias formas de resolver a equação de Black-Scholes. Apresenta-se aqui a abordagem usando o princípio da avaliação risco-neutra.

Pode-se tentar resolver a equação diretamente, mas há um meio mais simples para se chegar à solução. Envolve analisar o processo assumido para o preço das ações usando o Lema de Itô e aplicar o princípio da avaliação risco-neutra ao resultado da análise. Aplicando-se o Lema de Itô à equação de Black-Scholes resulta na equação (32):

$$d(\ln S) = \left(\phi - \frac{\sigma^2}{2} \right) dt + \sigma W \quad (32)$$

A integral no tempo para o ruído branco W resulta num caminho aleatório cuja distribuição sabe-se ser normal. De fato, observa-se da equação anterior que:

$$\ln S - \ln S_0 \sim N \left[\left(\phi - \frac{\sigma^2}{2} \right) (T - t), \sigma \sqrt{T - t} \right]$$

onde S e S_0 são os preços dos ativos subjacentes nos tempos T e t , respectivamente, ou seja:

$$\ln S \sim N \left[\ln S_0 + \left(\phi - \frac{\sigma^2}{2} \right) (T - t), \sigma \sqrt{T - t} \right] \quad (33)$$

e a equação (33) mostra que S segue uma distribuição lognormal.

O princípio da avaliação risco-neutra implica ser o valor presente da opção o valor final esperado da opção, descontado à taxa livre de risco:

$$E[\max(S - K, 0)]$$

então, tem-se o valor da opção expresso pela equação (34):

$$c = e^{-r(T-t)} E[\max(S - K, 0)] = e^{-r(T-t)} \int_K^{\infty} (S - K) g(S) dS \quad (34)$$

onde $g(S)$, a função densidade de probabilidade de S , é dada pela equação (35):

$$g(S) = \frac{1}{\sigma S \sqrt{2\pi(T-t)}} \exp \left(-\frac{\left(\ln \left(\frac{S}{S_0} \right) - \left(r - \frac{\sigma^2}{2} \right) (T-t) \right)^2}{2\sigma^2(T-t)} \right) \quad (35)$$

Na equação (35) Φ foi substituído por r , de acordo com o princípio da avaliação risco-neutra. Pode-se verificar que esta solução atende ao princípio citado, avaliando-se a esperança do preço do ativo subjacente, expressa na equação (36):

$$E[S] = \int_0^{\infty} S g(S) dS = S_0 e^{r(T-t)} \quad (36)$$

O valor da integral citada pode ser encontrado com um pouco de manipulação algébrica e resulta na equação (37):

$$c = SN(d_1) - Ke^{-r(T-t)} N(d_2) \quad (37)$$

onde d_1 é uma variável que permite o cálculo do número de unidades do ativo subjacente e d_2 é a variável que permite o cálculo da quantidade de títulos livre de riscos, para compor o portfólio de *hedging*:

$$d_1 = \frac{\ln \left(\frac{S}{K} \right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2} \right) (T-t)}{\sigma \sqrt{T-t}}, \quad d_2 = \frac{\ln \left(\frac{S}{K} \right) + \left(r - \frac{\sigma^2}{2} \right) (T-t)}{\sigma \sqrt{T-t}} = d_1 - \sigma \sqrt{T-t}$$

e $N(x)$ é a distribuição normal padrão cumulativa da variável

A equação (37) pode então ser escrita na forma da equação (38):

$$c = e^{-r(T-t)} [e^{r(T-t)} SN(d_1) - KN(d_2)]. \quad (38)$$

$N(d_2)$ é a probabilidade de que o preço final da opção esteja acima do valor de K , ou seja, que a opção seja exercida; considerando-se uma situação livre de risco.

$KN(d_2)$ é o preço de exercício vezes a probabilidade de que o preço de exercício seja pago.

A expressão $SN(d_1) e^{r(T-t)}$ é o valor esperado de uma variável que é igual a S se $S > K$, e zero, caso seja considerada a situação livre de risco. Ou seja, o valor esperado da opção em sua maturidade é expresso pela equação (39):

$$e^{r(T-t)} S.N(d_1) - K.N(d_2) \quad (39)$$

O resultado obtido é exatamente uma expressão do princípio da avaliação risco-neutra. Pode-se também formar uma estratégia de *hedging*, replicante e auto-financiada para a opção de compra. O portfólio neste caso é composto de $N(d_1)$ unidades do ativo subjacente e $KN(d_2)$ cupons à taxa livre de risco, com a mesma maturidade que a opção avaliada.