

TESE

1133

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

**Um Estudo sobre a Teoria das Opções Reais
Aplicada à Análise de Investimentos em
Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)**

ELIEBER MATEUS DOS SANTOS

ITAJUBÁ - Novembro

2001

ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

Elieber Mateus dos Santos



**UM ESTUDO SOBRE A TEORIA DAS OPÇÕES
REAIS APLICADA À ANÁLISE DE
INVESTIMENTOS EM PROJETOS DE
PESQUISA E DESENVOLVIMENTO (P&D)**

Dissertação submetida ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como requisito parcial à obtenção do título de *Mestre em Engenharia de Produção*.

Orientador: Prof. Edson de Oliveira Pamplona, Dr.

Itajubá, Novembro de 2001.

CLASS. 330.322(043.2)
CLT: R. 52372
TOMBO. 1133

SANTOS, Elieber Mateus dos. *Um Estudo Sobre a Teoria das Opções Reais Aplicada à Análise de Investimentos em Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)*. Itajubá: EFEI, 2001. 138p. (Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Escola Federal de Engenharia de Itajubá).

Palavras-Chaves: Teoria das Opções Reais (TOR) – Análise de Investimento – Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) - Flexibilidade Gerencial

ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

Elieber Mateus dos Santos

UM ESTUDO SOBRE A TEORIA DAS OPÇÕES REAIS APLICADA À ANÁLISE DE INVESTIMENTOS EM PROJETOS DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO (P&D)

Dissertação aprovada por banca examinadora em 27 de novembro de 2001, conferindo ao autor o título de *Mestre em Engenharia de Produção*.

Banca Examinadora:

Prof. Robert Wayne Samohyl, PhD. (UFSC)

Prof. José Arnaldo Barra Montevechi, Dr. (EFEI)

Prof. Edson de Oliveira Pamplona, Dr. (Orientador)

Itajubá, Novembro de 2001.



Ministério da Educação
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
Reconhecida Lei 3232 - 05/01/1917

ANEXO II

FOLHA DE JULGAMENTO DA BANCA EXAMINADORA

Título da Dissertação: "Um Estudo sobre a Teoria das Opções Reais Aplicada à Análise de Investimentos em Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)"

Autor: **Elieber Mateus dos Santos**

JULGAMENTO

Examinadores	Conceito	Rubrica
1º	A+	
2º	A+	
3º	A+	

Resultado Médio: Conceito: A+, ou seja, APROVADO
COM DISTINÇÃO -

Observações: _____

Itajubá, 27 de Novembro de 2001.

Robert Wayne Samohyl
1º Examinador - UFSC

José Arnaldo Barra Montevechi
2º Examinador - EFEI

Edson de Oliveira Pamplona
3º Examinador - (Orientador) - EFEI

AGRADECIMENTOS

Agradeço profundamente à Deus pelo sucesso obtido por eu ser admitido e concluinte de um curso de graduação, permitindo a todos que sempre acreditaram em mim, a minha devida formação acadêmica.

Agradeço especialmente ao Professor Doutor de Química Físico por ter permitido ser aluno dele. Pela disciplina, paciência e respeito em relação a desatualização de matérias. Pela compreensão nos momentos de ausência. Pelo exemplo de comprometimento acadêmico e de humildade.

Agradeço ao Professor Doutor Carlos Alberto de Almeida, José Renato, Luciano e Marcos, pelo apoio, incentivo e ajuda na minha jornada acadêmica, especialmente por ajudarem-me a superar as dificuldades acadêmicas.

Agradeço ao Conselho Federal de Educação pelo reconhecimento da minha graduação.

Agradeço ao meu Conselho de Curso, pelo apoio e incentivo durante o curso.

Agradeço aos meus pais e familiares, especialmente aos meus pais, por sempre me apoiar.

A todos os amigos que estiveram perto e me ajudaram durante o curso, especialmente os meus amigos.

A todos os professores que me ensinaram e me ajudaram a superar as dificuldades acadêmicas, especialmente os meus professores.

A todos os meus amigos que me ajudaram a superar as dificuldades acadêmicas, especialmente os meus amigos.

A todos os meus pais, especialmente aos meus pais, ***Dedico este trabalho aos meus pais, Waldomiro e Maria Aparecida e às minhas tias Nazareth, Maria de Lourdes e Maria José.***

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus pelas infinitas bênçãos que me tem derramado e, principalmente, por ter me outorgado capacidade, perseverança e forças para conseguir galgar mais um degrau na escada do crescimento profissional.

Agradeço imensamente ao *Professor Edson de Oliveira Pamplona* por ter acreditado em minha pessoa. Pela disposição, presteza e animação em orientar o desenvolvimento do trabalho. Pela compreensão nos momentos de decisão. Pelo exemplo de competência profissional e de humildade.

Agradeço aos Professores João Batista Turrioni, Dagoberto Alves de Almeida, José Arnaldo, Luis Gonzaga Mariano, Pedro Paulo Balestrassi e Sebastião Carlos pelo compartilhamento do conhecimento, exemplo de profissionalismo e amor à carreira acadêmica.

À CAPES, pelo suporte financeiro que possibilitou a execução desta dissertação.

Agradeço à minha família pelo apoio dado durante a elaboração deste trabalho.

Meus agradecimentos à empresa concessionária dos dados utilizados na aplicação.

A todos os cidadãos que contribuem para a manutenção do ensino público gratuito e de qualidade.

Aos funcionários da EFEI que, com competência e responsabilidade, cumprem seu importante papel dentro desta instituição, principalmente às minhas amigas Débora e Cristina, da PPG.

Minha gratidão aos meus irmãos de fé, amigos e colegas que estiveram sempre a me incentivar e contribuir para a realização deste trabalho.

A todas as pessoas que, de forma direta ou indireta, colaboraram para a elaboração desta dissertação, sinceramente, meus agradecimentos.

SUMÁRIO

Dedicatória	iii
Agradecimentos	iv
Sumário	v
Resumo	ix
<i>Abstract</i>	x
Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas	xii
Lista de Símbolos	xiii
Lista de Abreviaturas	xv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Considerações iniciais	1
1.2. Objetivos	4
1.3. Justificativas	5
1.4. Limitações	7
1.5. Metodologia de Pesquisa	7
1.6. Estrutura do trabalho	9
1.7. Considerações Finais	10
2. OS MÉTODOS TRADICIONAIS DE AVALIAÇÃO DE INVESTIMENTO E AS OPÇÕES FINANCEIRAS	11
2.1. Considerações iniciais	11
2.2. Modelos Tradicionais de Orçamento de Capital	11
2.2.1. O Fluxo de Caixa Descontado (FCD)	11
2.2.1.1. O valor presente líquido (VPL) e suas limitações	12
2.2.1.2. A taxa interna de retorno (TIR) e suas limitações	13
2.2.1.3. Ajustes das taxas de desconto	14
2.2.1.4. CAPM e taxas de desconto	16
2.2.2. Erros do Fluxo de Caixa Descontado (FCD)	16
2.2.3. Análise por Árvore de Decisões (AAD) e suas Limitações	19
2.3. Comparação Entre os Métodos do FCD e Árvore de Decisões: Um Exemplo	21
2.3.1. Técnicas Tradicionais de Orçamento de Capital: Considerações Finais	22
2.4. Algumas Definições, Conceitos e Características dos Investimentos	23
2.4.1. Investimento, Irreversibilidade, Incerteza e <i>Timing</i>	24

2.4.2. Os Dois Lados da Incerteza, Assimetrias e Princípio das Más Notícias	25
2.4.3. Incerteza Econômica e Técnica	26
2.5. As Opções Financeiras	28
2.5.1. Algumas Definições e Características	28
2.5.2. Opções Como Forma de Pagamento	31
2.6. O Método de Black e Scholes (B&S)	32
2.7. O Método Binomial	34
2.8. Considerações Finais	37
3. AS OPÇÕES REAIS	38
3.1. Considerações Iniciais	38
3.2. As Opções Reais	39
3.3. Criação de Capacidade, a Plataforma de Investimentos e as Opções Reais	40
3.4. Alguns Trabalhos Importantes	41
3.5. Aplicação da Teoria das Opções Reais nas Empresas	43
3.6. Os Vários Tipos de Opções Reais	45
3.6.1. Opção de Deferir um Investimento	45
3.6.2. Opção de Abandono Durante a Construção (<i>Time-to-build Option</i>)	46
3.6.3. Opção de Expansão	46
3.6.4. Opção de Contração	46
3.6.5. Opção de Parada das Operações (<i>Shut down</i>)	47
3.6.6. Opção de Abandono	47
3.6.7. Opção de Mudança de Uso (<i>inputs e outputs</i>)	48
3.6.8. Opções Corporativas de Crescimento	48
3.6.9. Interação Entre Opções	49
3.7. Opções Reais: Uma Decisão Estratégica	49
3.8. Opções Reais: Uma Decisão Disciplinada	53
3.9. Opções Reais: Suas Limitações	55
3.10. Considerações Finais	58
4. A TEORIA DAS OPÇÕES REAIS APLICADA À ANÁLISE DE INVESTIMENTOS EM PROJETOS DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO (P&D)	59
4.1. Considerações Iniciais	59
4.2. Um Novo Cenário Para as Decisões	59
4.3. Opções Reais: Uma Tendência	61

4.4. As Críticas às Técnicas Convencionais Aplicada à P&D	64
4.5. A Organização da P&D	66
4.5.1. A Estrutura do Processo de P&D	66
4.5.2. O Objetivo da P&D	68
4.5.3. O Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento como uma Opção	69
4.5.4. Comparação entre Investimento, Opções e Opções de P&D	71
4.5.5. As Variáveis de Entrada	72
4.5.6. Investimento em Capacidade como Criação de Valor	73
4.6. TOR: Um Exemplo	76
4.7. Patentes	79
4.8. O Risco e a Incerteza: Seus Efeitos	80
4.8.1. O Risco em P&D	81
4.8.1.1. Risco interno, único, não-sistemático, privado, diversificável ou endógeno	82
4.8.1.2. Risco de mercado, externo, sistemático, não-diversificável ou exógeno	83
4.8.2. A Incerteza	84
4.8.2.1. Incerteza técnica ou interna	86
4.8.2.2. Incerteza econômica ou de mercado	86
4.9. O Pensamento das Opções	87
4.9.1. Estratégia e P&D	88
4.9.2. Problemas Para Aplicação da TOR	90
4.9.3. Questões Sobre a TOR	92
4.10. A Volatilidade	94
4.11. Qual o Tipo de Opção? Européia ou Americana?	96
4.11.1. Questionamentos Sobre Qual Tipo de Opção Empregar	96
4.11.2. O Método de Black e Scholes Aplicado à P&D	97
4.11.3. O Método Binomial Aplicado à P&D	99
4.12. Alguns Trabalhos Importantes: Uma Revisão	100
4.12.1. Alguns Trabalhos Práticos	101
4.12.2. Um Modelo Qualitativo Para Avaliação de Opções Reais	104
4.12.3. O Modelo de Kallberg e Laurin	106
4.12.4. O Modelo de Geske	108
4.13. Considerações Finais	112

5. AVALIAÇÃO DE UM PROJETO REAL DE P&D UTILIZANDO A TOR	114
5.1. Considerações iniciais	114
5.2. Premissas e Características do Projeto	114
5.2.1. As Premissas Básicas para a Aplicação da TOR	115
5.2.2. Descrição do Produto	115
5.3. Dados Obtidos Através da Análise Tradicional	116
5.4. Aplicando a Teoria das Opções Reais	118
5.4.1. Aplicando o Modelo de Kallberg e Laurin	118
5.4.1.1. O valor presente líquido tradicional da opção de compra	119
5.4.1.2. O valor presente líquido tradicional da opção de venda	120
5.4.1.3. O valor do projeto obtido pela árvore de decisão	120
5.4.2. O Cálculo da <i>Time-to-Build</i>	121
5.5. Cálculo da Opção de Comercialização por Parte da Empresa X (Opção de Compra)	124
5.6. Venda dos Direitos de Comercialização Para Terceiros (Opção de Venda)	126
5.7. Valor Total do Projeto: Comercialização Própria por Parte da Empresa X	128
5.8. Valor Total do Projeto: Venda dos Direitos de Comercialização Para Terceiros	129
5.9. Considerações Finais Sobre os Valores Obtidos pelo Método de Kallberg e Laurin	131
5.10. Cálculo do Valor do Projeto Utilizando o Modelo de Geske	131
5.11. Considerações Finais	134
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	135
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	140
APÊNDICE A	
APÊNDICE B	

RESUMO

O ambiente de extrema competição em que as empresas estão inseridas tem feito com que estas busquem rápida adaptação às mudanças, procurando investir em projetos que venham a criar opções para as corporações, ao invés de “matá-las”, tornando-as, desta forma, mais flexíveis. Neste contexto, o uso estático das técnicas tradicionais de avaliação de investimentos, principalmente o Fluxo de Caixa Descontado (FCD), tem sofrido duras críticas, uma vez que não têm sido capazes de captar o valor desta “flexibilidade administrativa”. Tal fato tem levado muitos práticos e acadêmicos a apontarem a procura por métodos mais sofisticados de avaliação de investimentos que sejam capazes de lidar com a incerteza, a irreversibilidade e com a aprendizagem. A habilidade da teoria de precificação de opções em quantificar a flexibilidade em investimentos em projetos estratégicos a torna uma atrativa escolha se comparada à análise feita pelo padronizado FCD. A incorporação desta flexibilidade pode aumentar o valor total de um projeto e sua possibilidade de aceitação, um incentivo para que os práticos utilizem a teoria das opções reais. O valor da flexibilidade do projeto de um investimento é basicamente uma coleção de opções reais que podem ser precificadas com as técnicas conhecidas das opções financeiras. Desta forma, a Teoria das Opções Reais (TOR), embora em seu estado de desenvolvimento e consolidação, surge como uma “opção” promissora para lidar com estes fatores, podendo ser utilizada em vários setores. O presente trabalho foca, principalmente, a Teoria das Opções Reais (TOR) aplicada à análise de investimentos em projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D). Procura-se, também, prover uma evidência empírica do poder subjacente à teoria das opções reais através da aplicação da metodologia para avaliação de um projeto real de pesquisa e desenvolvimento, contribuindo, desta forma, para a redução da lacuna entre a teoria e a prática. Para tanto, são utilizados dois métodos: o modelo de Kallberg e Laurin (1997) e o de Geske (1979) adaptado para opções reais por Kemna (1993), apontado por Perlitz, Peske e Schrank (1999) como uma ferramenta interessante para avaliar opções compostas. Os resultados são então comparados com aqueles obtidos pelos tradicionais FCD e árvore de decisão. Por fim, conclui-se que a análise de um projeto de P&D através da TOR, embora pareça mais complexo, pode ser usado como mais uma importante e promissora ferramenta, auxiliando administradores a pensar clara e realisticamente em um processo de tomada de decisões.

ABSTRACT

The competitive environment in which enterprises are involved has created a need for them to be able to adapt to change quickly. Companies can achieve this by investing in projects which create options for the companies, instead of “killing” them. This can provide the companies with flexibility which is a valuable tool that can make a difference. For this reason, the use of traditional techniques of investment analysis, mainly the Discounted Cash Flow (DCF), has been severely criticized because it has not been able to capture the “management flexibility” value. This fact has led practitioners and academics to search for sophisticated methods of investment analysis which are able to treat uncertainty, irreversibility, and learning. The option pricing theory’s ability to quantify the investment’s flexibility in strategic projects makes it an attractive choice when compared to the standardized analysis made through DCF. The incorporation of this flexibility can increase the project’s total value and its possibility of being accepted, and this is an incentive for using it in practice. The value of a project’s flexibility is basically a real options collection whose price can be calculated using the known financial option techniques. Despite being in a development and establishment process, the Real Options Theory (ROT) raises a promising “option” to treat these factors because it is able to be applied to several fields. The present work focuses mainly on Real Options Theory applied to investment analysis in Research and Development (R&D) projects. The dissertation also provides empirical evidence of the underlying power of the theory. This is accomplished by the application of the methodology to assess a real R&D project. This also will contribute in the reduction of the gap between theory and practice. Two methods are used: the Kallberg and Laurin (1997) model and the Geske (1979) model, adapted to real options by Kemna (1993) and pointed by Perlitz, Peske and Schrank (1999) as a good tool to assess compound options. The results of the application are compared with those obtained through the traditional DCF and decision tree. In conclusion the Real Option Theory, although it seems more complex, it can be used as an important and promising tool, helping managers to think clearly and strategically in a decision making process.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1 Metodologia de Pesquisa da Dissertação
- Figura 2.1 Diagrama do Fluxo de Caixa
- Figura 2.2 Diagrama do Fluxo de Caixa
- Figura 2.3 Árvore de Decisão
- Figura 2.4 Os dois lados da incerteza
- Figura 2.5 Fórmula de Black e Scholes para opção de compra e de venda
- Figura 2.6 Distribuição Binomial – Um período
- Figura 2.7 Distribuição Binomial – Dois períodos
- Figura 2.8 Fórmula Binomial Geral de Precificação de Opção
- Figura 4.1 Projeto de P&D visto como uma sequência de decisões e resultados
- Figura 4.2 Quais opções estão relacionadas a um projeto de investimento
- Figura 4.3 Impacto da opção de P&D em futuros investimentos
- Figura 4.5 Estrutura de um modelo para analisar as variáveis de entrada para avaliação de opções;
- Figura 4.6 Transformação de capacidades em valor
- Figura 4.7 Fatores que influenciam o valor da opção de tecnologia
- Figura 4.8 Modelo de precificação de opção binomial para um período
- Figura 4.9 Árvore binomial
- Figura 4.10 Árvore binomial do projeto de P&D ilustrativo
- Figura 4.11 O efeito da incerteza no valor do projeto
- Figura 4.12 Progressão dos programas estratégicos de P&D
- Figura 4.13 Estrutura Básica do Modelo de Kallberg e Laurin
- Figura 4.14 Ilustração simplificada do processo de P&D para descoberta de uma nova droga
- Figura 5.1 Esquema do produto *XPTO*
- Figura 5.2 Fluxo de Caixa do *XPTO* obtido pela análise tradicional e distribuição beta.
- Figura 5.3 Estrutura Básica do Modelo
- Figura 5.4 Árvore de Decisão do Projeto de P&D
- Figura 5.5 Árvore Binomial do Projeto de P&D
- Figura 5.6 Árvore Binomial do Projeto *XPTO*
- Figura 5.7 Lusterção Simplificada do Processo de P&D do *XPTO*

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Exemplo de Fluxo de Caixa
Tabela 2.2	Fluxo de Caixa do Projeto de P&D
Tabela 2.3	Resultados de diferentes técnicas de avaliação
Tabela 4.1	Investimentos, opções e opções de P&D
Tabela 4.2	Comparação das incertezas entre a opção de ação e a opção de P&D
Tabela 4.3	Comparação de uma opção de compra de ação com uma opção de compra em um projeto de investimento
Tabela 4.4	Equivalente certo do fluxo de caixa
Tabela 5.1	Custo Afundado e Investimentos para Produção do Projeto <i>XPTO</i>
Tabela 5.2	Resultados da Análise Tradicional do Projeto de P&D do <i>XPTO</i>
Tabela 5.3	Resultados da AAD do <i>XPTO</i>
Tabela 5.4	Fluxo de caixa determinístico para o cenário com o volume mais provável de vendas.
Tabela 5.5	Dados do Projeto Real – Opção de Compra
Tabela 5.6	Dados do Projeto Real – Opção de Venda
Tabela 5.7	Equivalente certo do fluxo de caixa do projeto de P&D
Tabela 5.8	Analogia de P&D com opções financeiras – O caso estudado: opção de compra
Tabela 5.9	Analogia de P&D com opções financeiras – O caso estudado: opção de venda

LISTA DE SÍMBOLOS

a	Número Mínimo de movimentos de subida que a ação deve ter nos próximos n períodos para a opção terminar <i>in-the-money</i> , na árvore fórmula geral da árvore binomial de Cox, Ross e Rubinstein
A	Economia com a venda dos direitos ou melhor utilização do projeto
C	Valor da opção de compra ou custo com futuros investimentos
d	$1 +$ mudança percentual no valor bruto entre períodos, se o valor bruto diminui, no método Binomial
E	Preço de exercício da opção na formulação de Black e Scholes
F	Valor presente do fluxo de caixa da comercialização no modelo de Geske ou FCD estendido – incluindo a opção de flexibilidade em cada período no método Binomial
F_c	Valor crítico do projeto acima do qual a primeira opção deve ser exercida
F_u	Valor do projeto se o valor bruto aumenta em valor no método Binomial
F_d	Valor do projeto se o valor bruto diminui em valor no método Binomial
G	Valor da opção composta obtida pelo método de Geske
I	Investimento inicial no tempo $t=0$
i	Período – $i= 1, 2, 3, \dots, n$
I_0	Investimento inicial
I_c	Investimento em comercialização ou custos de contração
I_e	Custos para expansão
I_v	Custos de operações
k	Taxa de desconto ajustada ao risco
K	Valor presente dos gastos da iniciativa de comercialização no modelo de Geske
K^*	Valor presente dos gastos de capital na iniciativa pioneira no modelo de Geske
$M(a, b; \rho)$	Função distribuição normal acumulativa bivariada com a e b como os limites superiores e inferiores e coeficiente de correlação ρ
$N(.)$	Função distribuição normal acumulativa univariada
P	Valor da opção de venda
p	Probabilidade neutra ao risco no método Binomial
q	Probabilidade de elevação do preço
r	Taxa de desconto livre de risco
R	Retorno do investimento

S	Valor presente bruto do ativo subjacente na formulação de Black e Scholes
σ	Volatilidade da taxa de câmbio da iniciativa de comercialização
t	Tempo restante até a data de vencimento na formulação de Black e Scholes
τ	Tempo de maturação da opção simples no modelo de Geske
τ^*	Tempo de maturação da primeira opção (dentro da opção composta), no modelo de Geske
u	1 + mudança percentual no valor bruto entre períodos, se o valor bruto aumenta, no método Binomial
V	Valor presente bruto do fluxo de caixa do projeto completado ou Valor bruto do projeto no método Binomial ou Valor da ação no vencimento
X	Preço de exercício da ação
$\Phi[]$	Distribuição Binomial Complementar.

LISTA ABREVIATURAS

AAD	Análise por Árvore de Decisões
CAPM	<i>Capital Asset Pricing Model</i>
CIM	<i>Computer Integrated Manufacturing</i>
FCD	Fluxo de Caixa Descontado
FCL	Fluxo de Caixa Líquido
Inv.	Investimento
OPT	<i>Option Pricing Theory</i>
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
ROI	<i>Return on Investment</i>
RT	Receita Total
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TIR	Taxa Interna de Retorno
TOR	Teoria das Opções Reais
VPL	Valor Presente Líquido
VLE_i	Valor Líquido Esperado para o período i
VE	Valor Esperado
VPL_e	Valor Presente Líquido Expandido
$VPL_{(TOR)_1}$	Valor do projeto obtido pela TOR considerando-se a comercialização própria por parte da empresa desenvolvedora do produto
$VPL_{(TOR)_2}$	Valor do projeto obtido pela TOR considerando-se a venda dos direitos de comercialização para terceiros
VPL_{Trad_1}	Valor Presente Líquido obtido pela forma tradicional para o caso de comercialização própria por parte da empresa
VPL_{Trad_2}	Valor Presente Líquido obtido pela forma tradicional para o caso de venda dos direitos de comercialização para terceiros

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

Segundo Porter (1992), as mudanças que estão se processando na natureza da competição e a pressão crescente da globalização faz do investimento o fator mais importante da vantagem competitiva. Para o autor, muitas empresas investem muito pouco em ativos intangíveis e em capacidades requeridas para a competitividade, tais como em P&D, treinamento e desenvolvimento de habilidades de funcionários, sistemas de informações, desenvolvimento organizacional, e relações com clientes e fornecedores. Ao mesmo tempo, muitas empresas desperdiçam capital em investimentos que têm limitados benefícios financeiros ou sociais, como por exemplo, em aquisições de empresas de outros ramos de negócios. O mesmo autor, entretanto, afirma que o objetivo de uma empresa deve ser a criação de um sistema no qual os gerentes irão fazer investimentos que maximizem o valor a longo prazo de suas companhias.

A obtenção de uma desejada posição competitiva, segundo Porter (1991), depende de dois fatores: as *condições iniciais*, isto é, a sua atual reputação, habilidades e atividades existentes (resultados da história da firma); e as *decisões gerenciais*, as quais são feitas sob *incerteza*, suportando investimentos em ativos e em habilidades. As preocupações de Porter podem, em parte, ser equacionadas com a Teoria das Opções Reais, conforme será visto no decorrer deste trabalho.

O ambiente econômico, no qual a maioria das companhias está operando atualmente, é muito mais volátil e imprevisível do que vinte anos atrás – em parte por causa da globalização dos mercados ligados ao aumento da flutuação das taxas de câmbio, em parte pela indução das mudanças tecnológicas que tomam parte do mercado. Entretanto, a incerteza requer que os administradores se tornem muito mais sofisticados na forma como avaliam e quantificam o risco. É importante que os administradores compreendam melhor as opções que suas companhias possuem ou quais são capazes de criar. As opções criam flexibilidade, e, conforme ressaltam Dixit e Pindyck (1995), num mundo de incertezas, a habilidade de se avaliar e usar a flexibilidade é crítica.

Apesar do amplo uso de técnicas tradicionais de orçamento de capital, críticas têm surgido contra o uso estático das mesmas. A crítica está no fato de que estas técnicas são baseadas somente no retorno financeiro. As técnicas usam somente fatores tangíveis e não levam em consideração os fatores intangíveis, tais como: futura vantagem competitiva, futuras oportunidades, flexibilidade gerencial. A flexibilidade gerencial é a capacidade que a administração tem de mudar os planos de acordo como desdobramento de eventos futuros. Muitos salientam que estas dificuldades presentes nas técnicas de orçamento de capital tradicionais se tornam um problema, especialmente em projetos presentes em ambientes incertos, tais como projetos de pesquisa e desenvolvimento, foco principal deste trabalho (Kallberg e Laurin, 1997).

Acadêmicos e práticos de corporações têm, devido aos problemas das técnicas de orçamento de capital tradicionais, procurado por novos métodos para avaliação destes projetos. Uma nova técnica de orçamento de capital é a incorporação das *Opções Reais*. A abordagem das opções reais tem o potencial de avaliar o valor do projeto proveniente de uma administração ativa e das interações estratégicas (Trigeorgis, 1996). Esta técnica vê o projeto com uma possibilidade futura e então o avalia com as técnicas usadas pelas opções financeiras. O investimento inicial em um projeto de P&D, por exemplo, é visto como o pagamento para se obter um direito, mas não uma obrigação, de usá-lo. Isto é equivalente a uma opção financeira de compra onde a empresa paga um pequeno *prêmio* por um direito de adquirir um ativo específico a um conhecido *preço de exercício* em um tempo determinado do futuro. Esta taxonomia será abordada no decorrer do trabalho.

Na última década cresceu muito o interesse pelas *Opções Reais*, não só por parte de acadêmicos, mas também entre corporações tais como Shell, Eastman Kodak e Merck. Nestas companhias a abordagem das opções tem sido vista como uma abordagem flexível quando avaliam projetos incertos tais como os investimentos em pesquisa (Nichols, 1994).

Decisões que aumentam a flexibilidade de uma companhia pela criação e preservação de opções (decisões, por exemplo, de P&D e teste de mercado) têm valor que transcendem o simples cálculo pela regra do valor presente líquido (VPL). Mais prontamente do que os cálculos convencionais sugerem, os administradores deveriam tomar decisões que aumentem a flexibilidade. Escolhas que reduzem a flexibilidade pelo exercício de opções e comprometimento de recursos com finalidade irreversível (construção de plantas específicas e equipamentos, propaganda de produtos particulares) devem ser evitadas. Tais escolhas, conforme ressaltam Dixit e Pindyck (1995), deveriam ser feitas com hesitação ou postergadas

até que as circunstâncias sejam excepcionalmente favoráveis. Para se fazer escolhas de investimentos inteligentes deve-se considerar o valor de se manter suas opções abertas.

Recentemente muitos economistas e pesquisadores têm explorado o conceito básico de que o pensamento de investimento como opções muda substancialmente a teoria e prática acerca do processo de tomada de decisão em investimento de capital. Tradicionalmente as escolas de negócio têm ensinado os administradores a operarem sob a premissa de que as decisões de investimento podem ser reversíveis se as condições mudarem ou, não reversíveis, à medida que for um investimento do tipo *agora-ou-nunca* (Dixit e Pindyck, 1995). Mas, tão logo tenha surgido o pensamento de oportunidades de investimento como opções, esta premissa mudou. Irreversibilidade, incerteza e a possibilidade de se postergar o investimento (*timing*), entretanto, alteram a decisão de investimento de maneira crítica.

Neste contexto, a Teoria das Opções Reais (TOR), vem ganhando a atenção de pesquisadores e gerentes em todo o mundo, tendo havido um maior desenvolvimento nos últimos anos, uma vez que a teoria é capaz de captar a flexibilidade gerencial na tomada de decisões de investimentos (Trigeorgis, 1993; Kulatilaka, 1993; Dixit e Pindyck, 1994; Ingersoll e Ross, 1992; Nichols, 199; Luehrman, 1998). No Brasil, entretanto, são poucos os artigos que abordam a teoria, embora esta esteja sendo foco de trabalhos em nível de mestrado e doutorado.

Para Dias (1996), um autor brasileiro renomado nesta área e também membro do Real Options Group (www.rogroup.com), a teoria das opções é hoje, reconhecidamente, a que dá a melhor solução para o tratamento da incerteza e da flexibilidade em projetos. Segundo Dias, cada vez mais essa abordagem científica da análise de investimentos está deixando de ser apenas um dos temas prediletos de pesquisa nos meios acadêmicos, para se difundir gradualmente na prática das empresas modernas.

O mesmo autor, em sua dissertação de mestrado (Dias, 1996), concluiu que a moderna teoria das opções reais é muito superior do ponto de vista teórico do que o FCD, sem necessariamente ser complicada. Ao mesmo tempo já é uma técnica suficientemente consolidada para a adoção nas empresas. Do ponto de vista da prática, a tomada de decisão é muito mais coerente com a teoria de opções do que com o FCD, apesar de os gerentes o fazerem por considerações qualitativas (intuição de negócios).

Enquanto pesquisas empíricas não absorvem *completamente* os rápidos desenvolvimentos teóricos da literatura

“... pesquisadores têm uma oportunidade de aplicar a nova visão, de maneira mais rigorosa, em estudos de nível industrial e em estudos de investimento que usem os dados das empresas. O aspecto mais promissor de tais pesquisas seria o enfoque nas diferenças testáveis entre os modelos neoclássicos convencionais e os modelos baseados em opções”
(Hubbard, 1994).

Do exposto por Hubbard (1994), e visto haver uma carência de evidências empíricas que mostrem a aplicabilidade prática e possibilidade de utilização por parte das empresas (Seppä e Laamanen, 2000), o presente trabalho se propõe a realizar um estudo sobre a Teoria das Opções Reais aplicada à análise de investimentos em projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D), aplicando a teoria na análise de um projeto real de pesquisa e desenvolvimento, buscando-se, desta forma, diminuir a lacuna entre a teoria e a prática.

1.2. Objetivos

O objetivo principal desta dissertação de mestrado é realizar um estudo sobre a da Teoria das Opções Reais aplicada à análise de investimentos em projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D).

Para que seja possível o alcance deste objetivo, o mesmo será desdobrado nos seguintes objetivos secundários:

- Levantamento do estado da arte e da prática da análise de investimentos utilizando a Teoria das Opções Reais (TOR), dando maior ênfase aos trabalhos que focam o tema pesquisa e desenvolvimento (P&D);
- Levantamento das limitações dos métodos tradicionais de orçamento de capital (FCD - VPL e TIR, Árvore de Decisões);
- Escolha de um modelo que melhor se adapte à avaliação de projetos de pesquisa e desenvolvimento, baseado na revisão bibliográfica;
- Aplicação da teoria para verificar o impacto do uso da TOR em um projeto real de P&D;
- Comparação dos resultados obtidos através dos modelos tradicionais com aquele obtido pela Teoria das Opções Reais.

1.3 Justificativas

A valoração econômica de projetos, assim como as decisões econômicas de investimento, são afetadas pela *incerteza econômica*, pela *incerteza técnica*, assim como pelas *flexibilidades gerenciais* embutidas nos projetos. A *incerteza econômica* é devida a fatores externos ao projeto, como as oscilações estocásticas do preço do produto e dos custos. A *incerteza técnica* é devida a fatores internos ao projeto, como a incerteza do desempenho em razão da utilização de novas tecnologias. As *flexibilidades gerenciais* embutidas nos projetos dão o grau de liberdade do gerente para tomada de decisões, como as decisões de investimento (*timing*, escala, expansão, etc), de parada temporária, de mudança de uso, e de abandono são denominadas de *opções reais*, termo usado pela primeira vez por Myers (1977). Segundo Dias (1996), ignorar qualquer desses três fatores na análise econômica de projetos pode significar uma sub-avaliação significativa de projeto, como levando a erros irreversíveis na tomada de decisões.

O objetivo da análise econômica de projetos é maximizar o valor da firma, sujeito às incertezas econômicas e técnicas, e considerando o grau de liberdade gerencial do projeto. “Os avanços contínuos da microcomputação, aliado ao crescimento expressivo da literatura de opções reais na década de 90”, diz Dias (1996), “permitem que já se possa utilizar nas empresas métodos mais adequados para a análise econômica desses projetos, com uma abordagem realmente científica na tomada de decisões econômicas nas empresas”.

Nas últimas décadas vêm coexistindo dois sistemas para a *alocação de recursos* nas empresas: a *orçamentação de capital* e o *planejamento estratégico*. Myers (1984) refere-se a esses dois sistemas como “duas culturas olhando para o mesmo problema”. Estas técnicas têm, no entanto, levado a posições antagônicas, já que a técnica tradicional do fluxo de caixa descontado (FCD) usado na orçamentação de capital ignora a criação de *capacidades* (ex.: criação de vantagens competitivas) e outros bens intangíveis, necessários para o crescimento a longo prazo de uma empresa ou mesmo à sua simples sobrevivência num cenário competitivo e em constante mutação. A moderna teoria de orçamentação de capital, que considera as incertezas e as opções gerenciais de um projeto, nesse sentido vem a diminuir o abismo existente entre essas duas abordagens para alocação de recursos (Dias, 1996).

Baseada na experiência, Kemna (1993) sugere que as principais contribuições da TOR são: primeiro, auxilia a administração a estruturar a oportunidade de investimento pela definição das diferentes alternativas de investimento com suas incertezas subjacentes e opções inseridas; segundo, trabalha com a flexibilidade de um projeto mais facilmente do que o

tradicional FCD. Embora outros modelos, tais como a análise por árvore de decisões e simulação de Monte Carlo possam ser usados, estes tendem a se tornar complicados e são freqüentemente mal aplicados.

Trigeorgis (1993) recomenda que sejam conduzidas mais pesquisas de campo, *survey* ou estudos empíricos para se testar a conformidade da teoria da avaliação por opções reais e suas implicações à intuição e experiência dos administradores. Segundo o mesmo autor, avaliações baseadas na teoria das opções podem ser uma ferramenta particularmente útil aos administradores corporativos e estrategistas devido à provisão de uma abordagem consistente e unificada na direção da incorporação de valor das opções financeiras e reais associadas com o investimento combinado e com a decisão financeira da empresa.

A falta de evidência empírica que mostre a aplicabilidade prática parece que está efetivamente inibindo a adoção em casos reais. A avaliação das opções reais tem sido testada empiricamente em poucos trabalhos reais (Seppä e Laamanen, 2000), desta forma, mais evidências empíricas são claramente necessárias para validar a analogia de precificação de opções financeiras com oportunidades de investimentos reais (Herath e Park, 1999; Seppä e Laamanen, 2000).

Uma outra razão que justifica a realização deste trabalho é a escassez de trabalhos pertinentes ao objetivo específico proposto. Procurar-se-á demonstrar que a utilização dos modelos tradicionais de análise de investimento podem estar levando as empresas a uma subavaliação de seus investimentos, comprometendo sua sobrevivência. Luehrman (1998b) também afirma que a maioria dos executivos levanta questões tais como: “como usar a precificação de opções em um projeto e como usá-la com números reais ao invés de *exemplos estéreis*?” O autor continua dizendo que, infelizmente, aplicações são escassas e que o assunto é abordado por especialistas, especialmente por Ph.D's. Como resultado, continua Luehrman (1998b), análises corporativas que gerem números reais têm sido raras, custosas e de difícil compreensão.

As maiores *contribuições* desta dissertação serão:

- Mostrar que o domínio esta técnica (TOR) não é uma tarefa tão inacessível como se supunha há alguns anos atrás, embora ainda esteja em estágio de desenvolvimento e consolidação;
- Demonstrar que a utilização das técnicas tradicionais não tem sido suficiente para prover uma avaliação que esteja de acordo com o novo cenário das decisões;

- Abordar, de forma específica e metodológica, uma área de dentro das organizações para as quais geralmente se dedica grande parte do orçamento da empresa, o que será uma diretriz para uma melhor análise da viabilidade de investimentos em projetos de P&D;
- Fornecer uma evidência empírica através da aplicação da TOR a um caso real, ajudando, desta forma, a diminuir o *gap* entre a teoria e a prática da Teoria das Opções Reais.

1.4 Limitações

Embora a teoria das opções reais tenha uma ampla gama de aplicações possíveis, o presente trabalho se limitará a abordar de forma mais aprofundada e sistemática a aplicação para o foco “Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)”, embora seja discorrido sobre a aplicação em outros campos, isto é feito, entretanto, de forma menos profunda.

Em alguns cálculos a serem realizados efetuou-se a adoção de certos valores, como por exemplo, a volatilidade. Tal fato ocorre porque um estudo mais aprofundado de tais valores fugiria ao escopo do trabalho. Tal adoção, entretanto, não compromete o desenvolvimento da dissertação. Essas características serão consideradas no decorrer do trabalho.

1.5 Metodologia de Pesquisa

A realização deste trabalho parte das seguintes hipóteses:

Hipótese A: A utilização das técnicas tradicionais tende a subavaliar certos investimentos, principalmente aqueles que tenham as características de *timing*, irreversibilidade e incerteza, podendo conduzir a resultados errados que comprometeriam a introdução de projetos que gerariam resultados significativos para o empreendedor, colocando em risco a sobrevivência da empresa.

Hipótese B: A Teoria das Opções Reais é capaz de suprir as lacunas das técnicas tradicionais de orçamentação de capital.

O *método de pesquisa* a ser utilizado será a *experimentação*, uma vez que será feita a aplicação de um modelo, definido a partir da revisão bibliográfica, em uma organização. Tal método de pesquisa tem as características apresentadas por Bryman (1995). A forma de coleta de dados pode ser caracterizada como *dados de arquivo*, uma vez que os dados a serem utilizados já estão disponíveis na organização onde será feita a aplicação.

As variáveis envolvidas no estudo são:

Variável Dependente: O Valor do Projeto de Investimento,

Variáveis Independentes:

- Fluxo de Caixa do Projeto;
- O modelo utilizado para avaliar o projeto;
- As taxas de desconto (com e sem o risco);
- Tempo;
- A incerteza (técnica e econômica);
- A irreversibilidade;
- A flexibilidade (opções criadas).

De outra forma, a metodologia de pesquisa pode ser visualizada na figura 1.1.

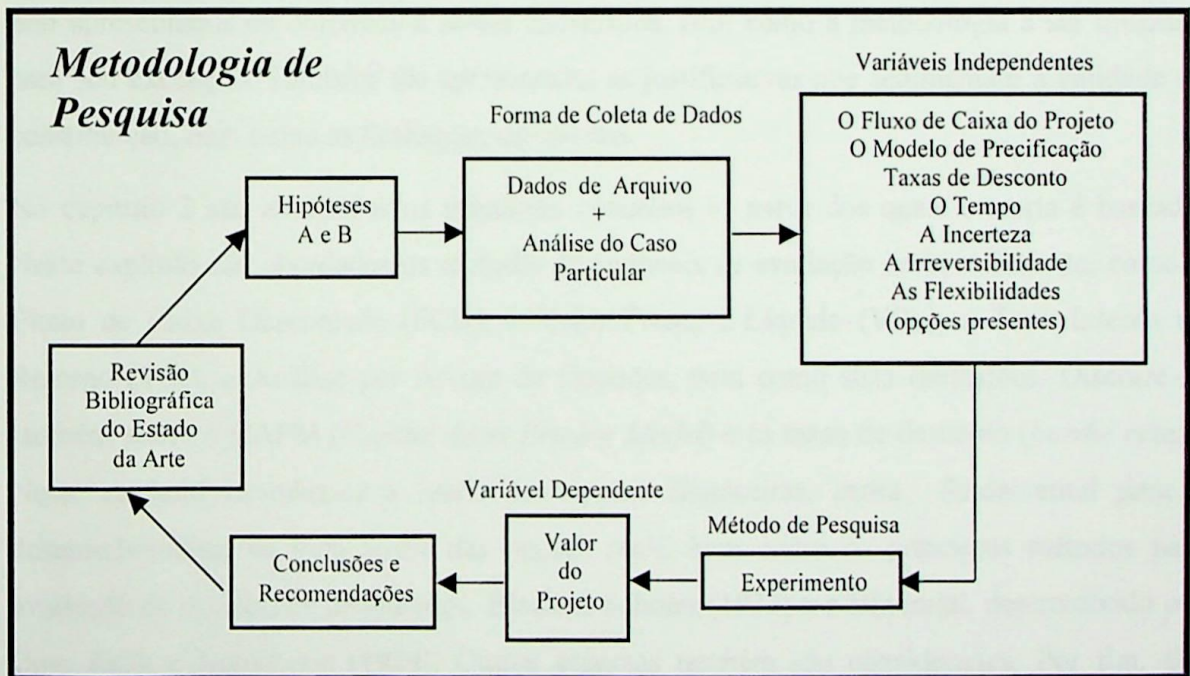


Figura 1.1 – Metodologia de Pesquisa da Dissertação

A parte teórica da dissertação consiste de uma revisão da literatura, dando-se maior atenção aos casos de pesquisa e desenvolvimento (P&D). Esta revisão é baseada principalmente em *journals*, revistas, dissertações, artigos de congressos mundiais específicos à área, livros e também materiais extraídos da internet. A literatura é em grande parte acadêmica, mas também apresenta algumas aplicações práticas. A maioria das fontes analisadas é originária

da Europa e da América do Norte, regiões onde a pesquisa neste campo apresenta-se em estágios mais avançados.

Um modelo teórico busca simplificar e clarear um problema mais complexo da realidade, entretanto nunca será capaz de refletir fidedignamente a mesma. A confirmação ou não da hipótese de que a TOR consegue captar melhor as flexibilidades administrativas presentes nas decisões se dará através de uma aplicação/experimento em um projeto real de P&D, comparando-se os resultados com aqueles obtidos pelas técnicas tradicionais de análise de investimento.

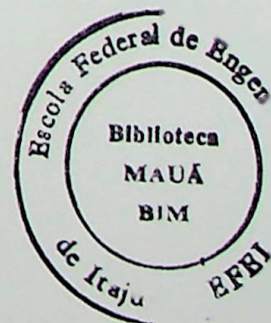
Após estas considerações, serão extraídas as conclusões e recomendações para futuros trabalhos.

1.6 Estrutura do Trabalho

No capítulo 1 são feitas as considerações iniciais a respeito do trabalho a ser desenvolvido. São apresentados os objetivos a serem alcançados, bem como a metodologia a ser utilizada para sua execução. Também são apresentadas as justificativas que sedimentam a validade da contribuição, bem como as limitações do mesmo.

No capítulo 2 são abordados os principais conceitos a partir dos quais a teoria é baseada. Neste capítulo são abordados os métodos tradicionais de avaliação de investimento, como o Fluxo de Caixa Descontado (FCD), o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR), a Análise por Árvore de Decisões, bem como suas limitações. Discorre-se também sobre o CAPM (*Capital Asset Pricing Model*) e as taxas de desconto (*hurdle rates*). Neste capítulo introduz-se a teoria das opções financeiras, pedra fundamental para o desenvolvimento de toda teoria das opções reais, bem como os principais métodos para avaliação de opções, os métodos de Black & Scholes (1973) e o Binomial, desenvolvido por Cox, Ross e Rubinstein (1979). Outros aspectos também são considerados. Por fim, são tecidas as considerações finais.

No capítulo 3 é dada ênfase a uma revisão bibliográfica da teoria das opções reais, mas de uma forma ampla, menos profunda, apresentando aplicações da teoria nas empresas e os vários tipos de opções reais. Também discorre-se sobre a teoria das opções reais como uma decisão disciplinada e estratégica, bem como suas limitações, passando-se às considerações finais.



No capítulo 4 dá-se ênfase a uma revisão bibliográfica da teoria das opções reais aplicada à análise de investimentos em projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D), foco principal da dissertação. Baseado na análise dos principais trabalhos desenvolvidos, opta-se por dois modelos de avaliação de opções reais para projetos de P&D, apresentados pela literatura, que melhor se adapte ao estudo de caso a ser realizado.

No capítulo 5 é feita a avaliação de um projeto de P&D, utilizando os modelos escolhidos no capítulo 4. Neste capítulo também é feita a avaliação do projeto a partir dos métodos tradicionais, o FCD e a Árvore de Decisões, sendo realizada uma análise de sensibilidade para se averiguar quais são os parâmetros que mais impactam nos resultados.

No capítulo 6 são apresentadas as conclusões da pesquisa, bem como as recomendações para trabalhos futuros.

1.7 Considerações Finais

Embora muito tenha sido dito a respeito do poder da teoria das opções reais aplicada à análise de investimentos, nosso país ainda carece de trabalhos que venham a comprovar sua validade. É necessário que esta teoria seja cada vez mais difundida, principalmente no meio corporativo.

Espera-se que o presente trabalho possa contribuir de alguma forma como a difusão da teoria, vindo a demonstrar que a aplicação desta não é uma tarefa tão complicada como se supõe. Ainda que a Teoria das Opções Reais esteja em fase de desenvolvimento e consolidação, as empresas devem procurar entendê-la e aplicá-la. Neste sentido, espera-se que este trabalho possa lançar luz a este tema de crescente interesse por parte da comunidade acadêmica e corporativa.

Entre outros tópicos, o próximo capítulo discorre sobre os principais métodos tradicionais de avaliação de investimentos e suas limitações, apontando para a procura de técnicas mais sofisticadas que possam refletir corretamente o valor da flexibilidade conseguida através de uma administração ativa, em condições de incerteza.

CAPÍTULO 2

OS MÉTODOS TRADICIONAIS DE AVALIAÇÃO DE INVESTIMENTOS E AS OPÇÕES FINANCEIRAS

2.1 Considerações Iniciais

Neste capítulo serão abordados os principais conceitos e princípios a partir dos quais a pesquisa será baseada. São abordadas, entre outros aspectos, técnicas tradicionais de avaliação de investimentos e suas limitações, como o Fluxo de Caixa Descontado (FCD) e suas técnicas: o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR). Discorrer-se-á, também, sobre o *payback*, Análise por Árvore de Decisões (AAD), bem como suas limitações. Discorre-se também sobre o CAPM (*Capital Asset Pricing Model*) e as taxas de desconto. Neste capítulo introduz-se a teoria das opções financeiras, pedra fundamental para o desenvolvimento de toda teoria das opções reais, apresentando-se algumas definições e características bem como dois modelos para precificação de opções: o Modelo de Black e Scholes e o Modelo de Árvore Binomial.

2.2 Modelos Tradicionais de Orçamento de Capital

Os modelos de orçamento de capital mais comumente usados na avaliação de investimentos e que são mais difundidos envolvem o modelo básico do Fluxo de Caixa Descontado (FCD), com suas variantes (VPL, TIR) e a Análise por Árvore de Decisões (AAD). A dissertação sobre os métodos ora citados não se dará de forma aprofundada, uma vez que o grande foco do trabalho é a Teoria das Opções Reais. Neste capítulo serão destacadas as limitações dos métodos tradicionalmente utilizados, apontando para a procura de novos modelos que venham a preencher estas lacunas.

2.2.1 O Fluxo de Caixa Descontado (FCD)

A questão da análise e seleção de projetos, ou, numa perspectiva mais ampla, da escolha entre alternativas de investimento disponíveis para um investidor é, sem dúvida, uma das questões

cruciais da teoria econômica aplicada. Cabe aos administradores sempre buscar por aquele projeto que venha a gerar uma maior riqueza para a empresa.

O fluxo de caixa da empresa deve considerar todas as despesas e receitas para um certo projeto nos próximos n períodos. A análise deve levar em consideração todos os fatores que possam influenciar os resultados, procurando-se fazer a mais acurada previsão dos fluxos futuros.

Um exemplo de fluxo de caixa para um projeto é dado a seguir.

Fluxo de Caixa do Projeto "X"			
Ano	Investimento	Desembolso	Recebimentos
0	100		
1		10	30
2		10	30
3		10	30
4		10	50

Tabela 2.1 – Exemplo de Fluxo de Caixa

Uma outra maneira de se observar o fluxo de caixa é dada abaixo.

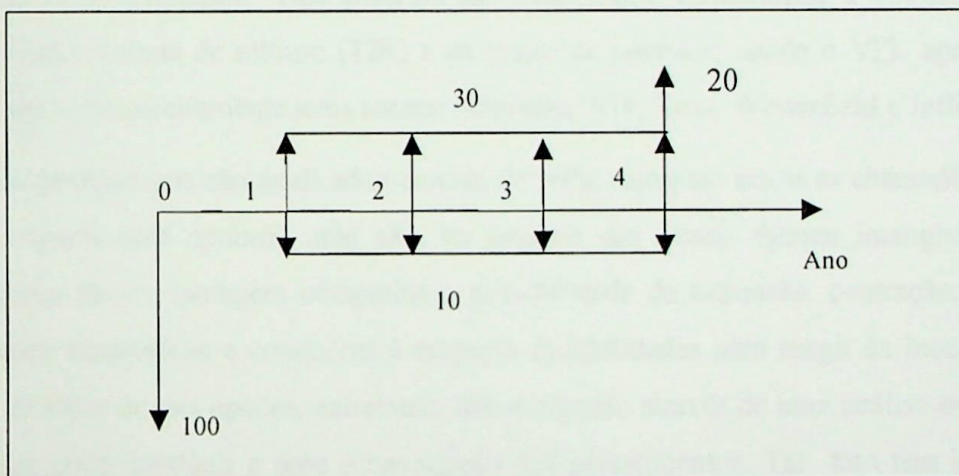


Fig. 2.1 – Diagrama do Fluxo de Caixa

2.2.1.1 O Valor Presente Líquido (VPL) e Suas Limitações

Valendo-se da matemática financeira é possível fazer uma análise da viabilidade de um projeto. Para tanto, é necessário que seja feita uma previsão de todo o fluxo de caixa do projeto para os n períodos futuros para os quais o projeto esteja em vigor. Esta previsão deve ser feita com o máximo de acuracidade, levantando-se quais serão os desembolsos e recebimentos nos próximos n períodos, descontando-as então a uma certa taxa de desconto predeterminada para se obter o valor daquele projeto na data zero. Na data zero estes valores são somados ao investimento inicial.

O método do valor presente líquido tem sua forma básica sintetizada pela fórmula abaixo.

$$VPL = \frac{\sum_{i=1}^n VLE_i}{(1+k)^i} - I \quad \text{Eq. 2.1}$$

Onde:

VLE_i = valor líquido esperado para o período i ;

k = taxa de desconto ajustada ao risco

I = investimento inicial no tempo $t = 0$;

$i = 1, 2, 3, \dots, n$ (período).

Em princípio, cada projeto possui seu próprio custo de capital. Na prática, as firmas agrupam projetos similares em classes de risco e usam o mesmo custo de capital para projetos de uma mesma classe. A existência de VPL positivo é definida como o critério básico de aceitação ou rejeição de determinado projeto e a ordenação de VPL's é o critério de escolha entre diversas alternativas de investimento. Tais critérios são comumente comparados a outros, como o cálculo da taxa interna de retorno (TIR) e de prazo de *payback*, sendo o VPL apresentado como o critério financeiramente mais correto (Macedo, 1999; Ross, Westerfield e Jaffe, 1995).

Muitos dos projetos que são analisados através do VPL carregam em si as chamadas opções embutidas (*embedded options*), que são, na maioria das vezes, fatores intangíveis. Tais opções, como futura vantagem competitiva, possibilidade de expansão, contração, etc, são muitas vezes estratégicas e concedem à empresa flexibilidades para reagir às incertezas do mercado. O valor de tais opções, entretanto, não é captado através de uma análise estática do VPL, o que pode conduzir a uma subavaliação dos investimentos. Tal fato tem levantado duras críticas à sua utilização, como veremos no decorrer deste trabalho.

2.2.1.2 A Taxa Interna de Retorno (TIR) e suas Limitações

Quando todo o fluxo de caixa previsto para um determinado projeto é trazido à data zero, fazendo como que o valor presente líquido esperado se iguale a zero, obtem-se a Taxa Interna de Retorno (TIR) para o projeto. A esta taxa, caso o projeto seja empreendido, significa que o projeto não irá gerar ganhos para o investidor, ou seja, os recebimentos irão apenas compensar os desembolsos. Desta forma, o investidor não irá levar adiante o projeto.

Cada empresa possui uma certa TMA (Taxa Mínima de Atratividade), que representa o custo de capital da empresa. Ou seja, é a taxa mínima a ser obtida para que seja possível cumprir com todas as obrigações da empresa. Na análise da viabilidade de um projeto, a TIR é sempre comparada à TMA, devendo a primeira ser sempre maior que a segunda para que o projeto seja levado adiante.

Um dos erros clássicos do uso de técnicas do fluxo de caixa descontado é a utilização de *rankings* de taxas internas de retorno, em lugar de VPL. Macedo (1999) cita os livros de Brealey e Myers (1993) e Copeland e Weston (1988), entre outros, para dizer que livros textos de finanças demonstram exaustivamente que o uso de *rankings* de TIR's levam à decisões não ótimas, sob o ponto de vista da teoria de Finanças, para a qual o objetivo maior do administrador deve ser o aumento da riqueza dos acionistas.

Segundo Macedo (1999), a técnica da TIR apresenta diversos problemas. São eles: a hipótese de reinvestimento (o cálculo da TIR assume implicitamente que todos os fluxos de caixa gerados pelo projeto podem ser reinvestidos à TIR); a violação do princípio da aditividade (a escolha entre projetos mutuamente exclusivos muda, caso eles sejam combinados a um terceiro projeto) e a ocorrência de múltiplas TIR's, caso ocorra mais de uma mudança de sinal nos fluxos de caixa estimados. Outro problema inerente ao cálculo da TIR: é mais fácil obter maiores TIR's se o volume de capital a ser investido é pequeno, e a vida útil do projeto é curta. Projetos de longa duração e intensivos em capital tendem a ser descartados pelo critério da TIR, mesmo apresentando considerável VPL.

2.2.1.3 Ajustes das Taxas de Desconto

Muitos autores, entre eles Brennan e Schwartz (1993), têm ressaltado que a análise tradicional desconsidera o fato de que o nível de risco do projeto é afetado pela flexibilidade que as decisões gerenciais proporcionam. Projetos que podem ser alterados (ou mesmo abandonados diante de condições adversas oferecem menos risco, especialmente se parte do investimento inicial puder ser recuperado). A única maneira de considerar esse efeito na abordagem tradicional é através de ajustamentos arbitrários na taxa de desconto. A explicação para o uso de taxas de desconto exageradamente elevadas, que prejudicam muito a avaliação de oportunidades de investimento, pode ser o uso impróprio das taxas de desconto como fator de ajustamento dos valores estimados no projeto a riscos não bem determinados, as *hurdle rates* (Dixit e Pindyck, 1994; Smit e Ankum, 1993; Dias, 1996; Kemna, 1993).

As empresas investem em projetos para os quais esperam que promovam um retorno em excesso ou uma requerida *hurdle rate*. Observadores das práticas de negócio encontraram que estas *hurdle rates* são três ou quatro vezes o custo de capital. As *hurdle rates* apropriadas para investimento com risco sistemático deveriam exceder a *riskless rate* (taxa sem risco), mas parece difícil justificar as enormes discrepâncias observadas (Dixit, 1992).

Dertouzas *et al.* (*apud* Dixit, 1992) atribuíram, em parte, o relativo declínio na manufatura americana ao problema da dominância do pensamento de curto prazo entre os administradores, o que os leva a aplicar altas *hurdle rates* quando consideram decisões de investimentos. A explicação dada à ênfase no curto prazo inclui o temor à hostilidade dos *takeovers*, alta mobilidade dos gestores e vários tipos de incerteza incluindo a taxaço governamental, regulação e políticas comerciais. Entretanto, a análise do efeito das opções feita por Dixit (1992) sugere que a incerteza é mais importante do que previamente era suposto. Tal fato pode explicar parte ou toda a diferença entre típicas *hurdle rates* e o custo de capital. As altas taxas podem ser uma ótima resposta à incerteza.

Segundo Brennan e Schwartz (1993), “é justamente a taxa de desconto o calcanhar de Aquiles da abordagem clássica”. A abordagem clássica assume uma taxa de desconto constante ao longo da vida útil do projeto. No entanto, ela varia não apenas em função do tempo de vida remanescente, mas também da lucratividade corrente do projeto, tendo em vista as alterações que uma maior ou menor geração de caixa provocam em seu grau de alavancagem operacional. Portanto, a taxa de desconto não apenas varia ao longo do tempo – ela é incerta. A abordagem tradicional pressupõe uma análise projeto a projeto, cada um com sua própria “requisição de capital”. Ela não é capaz de levar em conta a interdependência entre diferentes projetos, mesmo porque esta interdependência é dificilmente quantificável.

Uma redução da taxa de desconto faz do futuro, geralmente mais importante do que o presente, aumentando o valor do investimento (o valor presente esperado dos ganhos de fluxo de caixa) e, da mesma forma, o valor da espera (a habilidade de reduzir ou evitar a futuras perdas) (Dixit e Pindyck, 1994). Conforme ressaltam os mesmos autores, a abordagem da Teoria das Opções Reais, por outro lado, sugere que várias fontes de incerteza sobre os ganhos futuros, tais como flutuação no preço dos produtos, custos de matéria-prima, taxas de câmbio e políticas regulatórias, têm efeitos muito mais importantes no investimento do que o nível das taxas de desconto.

2.2.1.4 CAPM e Taxas de Desconto

Na presença de flexibilidade gerencial (opções), como por exemplo, a liberdade de *timing* de investimentos, *a correta taxa de desconto não é constante*, ela varia com o valor do projeto implantado e com o tempo de exercício da opção de investimento, por que o risco varia. Dixit e Pindyck (1994,) concluem que a taxa de desconto correta não pode ser obtida sem resolver o problema de avaliação de opção, a taxa de desconto não precisa ser constante ao longo do tempo, e não precisa ser igual ao custo médio de capital da firma".

Como indica Fama (*apud* Dias, 1996), além de variar com o tempo, a taxa de desconto para um dado período pode variar entre os diferentes fluxos de caixa. Assim, a taxa de desconto para a receita não precisa ser (e geralmente não é) igual à taxa de desconto do custo operacional ou do investimento. Isso porque os diferentes fluxos de caixa têm riscos diferentes.

Em resumo, embora possam ser úteis alguns conceitos qualitativos do CAPM, como a relação risco-retorno, o *CAPM por si só não é suficiente para a aplicação em análise de decisões ótimas de investimento em produção* (Dixit e Pindyck, 1994). Apesar de não ser contraditório e poder ser derivada usando os conceitos do CAPM, a teoria das opções, segundo Dias (1996), faz uma otimização de uma forma mais geral e mais simples, geralmente sem fazer restrições à preferência dos investidores em relação ao risco (apenas supondo um comportamento maximizador de riqueza).

2.2.2. Erros dos Métodos do Fluxo de Caixa Descontado (FCD)

"... o fluxo de caixa descontado não está somente errado, ele está muito errado". Desta forma Dixit e Pindyck (1994) são enfáticos ao atacarem o FCD. Continuam dizendo que o problema deste modelo está no fato de que não pode captar a flexibilidade administrativa, ou seja, a habilidade que a administração tem de revisar o projeto inicial quando incertezas futuras são resolvidas ou apresentam-se de forma diferente da prevista.

Ainda de acordo com Dixit e Pindyck (1995), o FCD assume que o investimento cai dentro de uma categoria reversível ou irreversível. A categoria reversível assume que os gastos podem ser recuperados caso as condições do mercado mudem ou fiquem piores do que o esperado, enquanto a categoria irreversível assume que o investimento é uma decisão do tipo *agora ou nunca*.

O modelo não pode capturar os investimentos que caem em ambas as categorias, por exemplo, quando um investimento irreversível puder ser postergado. Para melhor elucidação dos conceitos envolvidos, será apresentado um exemplo extraído de Dixit e Pindyck (1994).

Suponha que uma empresa deseja investir em uma fábrica de um produto XYW . O investimento é completamente irreversível. Suponha ainda que a fábrica possa ser construída instantaneamente com um investimento I e que venha a produzir uma unidade do produto por ano, a um custo de operação nulo. Atualmente o preço de uma unidade é de \$200, mas no próximo ano o preço irá mudar. Com probabilidade q , ele subirá para \$300, e com probabilidade $(1-q)$, cairá para \$100. Suponha-se que o risco também seja completamente diversificável. A taxa de desconto utilizada será de 10%.

Faça-se o investimento $I=\$1600$ e $q=0.5$. Dados estes valores de I e q , este seria um bom investimento? Deveria a empresa investir agora ou seria melhor esperar um ano e ver se os preços sobem ou descem?

Calculando-se o valor presente líquido deste investimento pela forma tradicional (notando que o preço futuro *esperado* é sempre $\$200 = 0.5*\$300 + 0.5*100$), obtem-se:

$$VPL = -1600 + \sum_{t=0}^{\infty} \frac{200}{(1.1)^t} = -1600 + 2200 = \$600 \quad \text{Eq. 2.}$$

Como o VPL = \$600 é maior do que zero, logo, o investimento deveria ser realizado.

Como mostram Dixit e Pindyck (1994), Quigg (1993), Ingersoll e Ross (1992), Kemna (1993), Roberts e Weitzman (1981), entre outros, esta conclusão está incorreta porque os cálculos ignoram um custo – o da oportunidade de se investir agora, ao invés de se esperar, mantendo-se aberta a possibilidade de não investir caso os preços caiam. Para que isto seja percebido, ao invés de se investir agora, suponha-se que o investimento seja realizado somente se os preços subirem. Desta forma, o VPL é dado por:

$$VPL = (0.5)* \left[\frac{-1600}{1.1} + \sum_{t=1}^{\infty} \frac{300}{(1.1)^t} \right] = \frac{850}{1.1} = \$773 \quad \text{Eq. 2.3}$$

Note-se que no ano 0, não existe nenhum gasto nem recebimento. No ano 1, os \$1600 são gastos somente se o preço subir para \$300, o que ocorrerá com probabilidade 0.5. Caso espere-se um ano antes de se investir na construção da fábrica, o VPL do projeto é, hoje, de \$773, sendo de \$600 caso se invista hoje. Claramente é melhor esperar, e ver o que acontece, do que investir agora.

Note que se as escolhas possíveis fossem somente investir *agora* ou *nunca*, dever-se-ia investir hoje. Neste caso não há a opção de se esperar um ano, não existindo um custo de oportunidade de “matar” tal opção, assim, as regras do VPL são aplicáveis. De outra forma, poderia ser investido os \$1600 hoje e no próximo ano desinvestiríamos e recuperaríamos os \$1600, caso os preços caíssem. Dois aspectos devem ser introduzidos no custo de oportunidade no cálculo do VPL – *irreversibilidade* e a *habilidade de investir no futuro como uma alternativa de se investir hoje*.

Qual é o valor da flexibilidade de se tomar a decisão de investimento no próximo ano, ao invés de se investir agora ou nunca? O valor desta “opção flexibilidade” é fácil de se calcular, e será somente a diferença entre os dois VPL’s, ou seja, $\$773 - \$600 = \$173$. Em outras palavras, poderia ser pago \$173 a mais por um projeto que dê a flexibilidade de se esperar um ano para tomar a decisão, se comparado a um projeto com as mesmas características, mas sem esta opção.

Mesmo que as análises quantitativas tradicionais projetem demandas, preços e custos corretamente, e considerem diversas seqüências de investimento possíveis, elas falham por não conseguirem captar as possibilidades de aprendizado, e as opções de ações futuras proporcionadas por estas seqüências. Investimentos que podem ter impacto significativo sobre qualidade de produto, rapidez e confiabilidade de entrega, facilidade de desenvolvimento e lançamento de produtos, dentre outros importantes fatores, tendem a ser negligenciados pelo fluxo de caixa descontado (Hayes, Wheelwrigth e Clark, 1988).

Os profissionais responsáveis pela elaboração do planejamento estratégico das empresas estão, segundo Macedo (1999), entre os principais críticos da teoria financeira tradicional, especialmente das técnicas do fluxo de caixa descontado. O argumento principal destes profissionais é o de que a excessiva preocupação com a análise financeira privilegia os investimentos de curto prazo. Os investimentos de longo prazo, cujos VPL’s são penalizados pela incerteza e pela demora do recebimento de fluxos de caixa futuros, acabam sendo sacrificados.

Mesmo quando não se usa formalmente a teoria das opções, as decisões de investimento nas empresas de sucesso são muito mais coerentes com a teoria das opções do que com a teoria tradicional do FCD. Executivos, percebendo que a ferramenta de FCD não é eficiente em captar possibilidades relevantes do projeto, se valem da intuição de negócios, não investindo imediatamente em projetos só por causa de uma análise estática ter indicado um VPL

positivo, e nem rejeitam projetos “estratégicos” só por causa de um relatório indicar VPL’s negativos para os mesmos (Dias,1996).

Como é mostrado por Dixit e Pindyck (1994), a incerteza técnica incentiva o investimento passo-a-passo, no sentido da redução da variância dessa incerteza. É como se o investimento tivesse um benefício adicional (quantificável pela teoria das opções) de redução da incerteza técnica. Esse benefício adicional é chamado de *valor-sombra (shadow value)*, pois é um valor que não aparece diretamente no fluxo de caixa, logo, o FCD não “enxerga” esse valor, outra limitação importante desse método.

Brealey e Myers (*apud* Dias, 1996) apontam as seguintes deficiências para o FCD:

- (a) O método do FCD implicitamente assume que a firma detém passivamente os seus ativos reais (projetos);
- (b) O método do FCD foi inicialmente desenvolvido para análise de ativos como títulos governamentais (como “bonds”) e ações. Os investidores desses ativos são necessariamente passivos, isto é, pouco ou nada podem fazer para melhorar a rentabilidade do seu investimento. Já o detentor de uma opção tem de decidir se exerce (e quando exercer) ou não o direito que possui;
- (c) O FCD ignora as opções existentes nos ativos reais. Gerentes sofisticados podem agir para obter vantagens com elas.

2.2.3. Análise por *Árvore de Decisões (AAD)* e suas Limitações

O modelo discutido anteriormente, o VPL, assume que o investimento é uma decisão do tipo *agora* ou *nunca*. A abordagem da análise por árvore de decisões para o orçamento de capital pode levar em consideração decisões futuras feitas pelos gerentes e incorporar alguma flexibilidade administrativa no projeto. Investimentos são freqüentemente divididos em uma série de sub-investimentos que serão realizados em diferentes estágios da vida do projeto. A implementação destes investimentos no futuro dependerá de algum evento do futuro, capacitando aos investidores decidir investir ou não no futuro (Roberts e Weitzman, 1981).

O método da *árvore de decisões* representa uma tentativa de considerar alternativas existentes ao longo do tempo num processo decisório. De acordo com o artigo de Magee (1964), a árvore de decisões é um meio de mostrar a anatomia de uma decisão de investimento e de mostrar a interação entre a decisão presente, eventos possíveis, ações de competidores, e possíveis decisões futuras e suas conseqüências. No entanto essas árvores podem se tornar

bastante complexas, quando se procura representar todos os pontos (*nós*) de decisão relevantes, assim como os eventos possíveis em cada instante. Quanto mais complexo for o processo decisório, mais complexa será a árvore. No entanto o modelo tem a vantagem de explicitar as opções gerenciais disponíveis, o que ajuda a entender o processo decisório, desenvolvendo a intuição de negócios.

Embora este modelo possa considerar a flexibilidade dos administradores, ainda apresenta problemas. O modelo poderia se tornar uma árvore de decisão muito complexa à medida em que se aumentam as variáveis e os resultados. Outra questão, por exemplo, é a possibilidade dos resultados serem contínuos, ao invés de discretos, a possibilidade de abandono poderia ser considerada em todos os momentos. O grande problema, segundo Trigeorgis (1996), está no fato de como se determinar a correta taxa de desconto para o fluxo de caixa. A taxa de desconto usada na ausência da opção de abandono não pode ser usada quando a opção de abandono é considerada. A razão para isto é que o risco para o projeto diminuiu quando a opção de abandono for incorporada. Esta opção de abandono pode ser vista como uma opção de venda, limitando o risco das perdas (*downside risk*).

O fato da taxa apropriada de desconto não ser constante na presença de opções é uma dificuldade para o uso das árvores de decisão em sua forma tradicional, já que deveria ter diferentes taxas para descontar diferentes ramos da árvore. Conforme relata Kemna (1993), embora em muitos problemas práticos seja conveniente o uso de árvores de decisão para explicitar o valor das opções, a sua experiência prática (como consultora da Shell Internacional) mostra que é necessário explicar aos gerentes as premissas por trás das taxas de desconto utilizadas nos ramos dessas árvores, já que o risco da opção muda com o tempo e com o valor do projeto implantado.

O valor obtido através da utilização da árvore de decisões no exemplo a ser visto no item seguinte (VPL=\$6.45) considera a flexibilidade de se investir ou não numa data futura em função do cenário daquele momento. O valor obtido é mais preciso do que os \$3,42 dado pela regra básica do VPL, mas ainda é incorreto. Embora este modelo possa considerar a flexibilidade dos administradores, ainda apresenta problemas como o aumento da complexidade à medida em que se aumentam as variáveis e os resultados, além da taxa de desconto não poder ser a mesma quando é considerada a possibilidade de abandono (Trigeorgis, 1996).

2.3 Comparação entre os Métodos FCD e Árvore de Decisões: Um exemplo

Para exemplificação das diferenças que podem surgir ao serem utilizados diferentes métodos de análise de investimento, será feita a avaliação de um projeto simples de pesquisa e desenvolvimento (P&D), com as características mostradas na tabela 2.2. Tal demonstração tem por objetivo revelar que é necessário que a administração busque o método que possa refletir de maneira mais precisa o valor de um projeto, uma vez que más análises podem vir a comprometer sua realização.

Características de um de Projeto de P&D			
Ano	Investimento (\$)	Fluxo de Caixa	Probabilidade (%)
0	10	0	
1	30	0	
2	80	225	25
		120	50
		64	25

Tabela 2. 2 – Fluxo de Caixa do Projeto de P&D (Fonte: Kallberg e Laurin, 1997).

A representação em diagrama para o fluxo de caixa mostrado é:

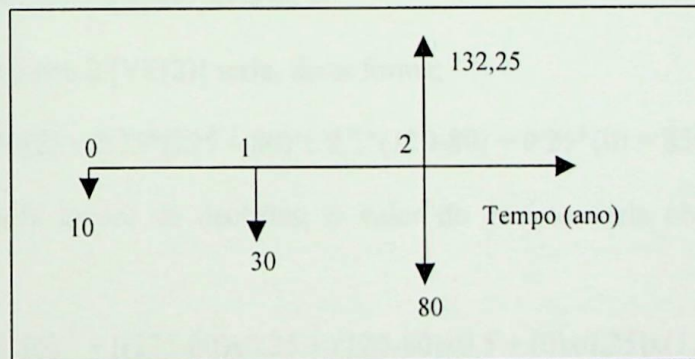


Fig. 2.2 – Diagrama do Fluxo de Caixa

O valor esperado do fluxo para o ano 2 [VE(2)], é obtido da seguinte maneira:

$$VE(2) = 225*(0,25) + 120*(0,5) + 64*(0,25) = \$132,2$$

Analisando a viabilidade do projeto através do fluxo de caixa descontado, utilizando uma taxa de desconto k , ajustada ao risco de 15%, obtem-se um valor presente líquido para o projeto de:

$$VPL = -10 - 30x(1,15)^{-1} - 80x(1,15)^{-2} + (225x0,25 + 120x0,5 + 64x0,25)x(1,15)^{-2} = \$3,42$$

Abaixo tem-se uma demonstração do panorama do projeto quando este é visto através da árvore de decisões. Os quadrados indicam nós de decisão (quando uma decisão deve ser feita) e os círculos indicam os resultados dos nós.

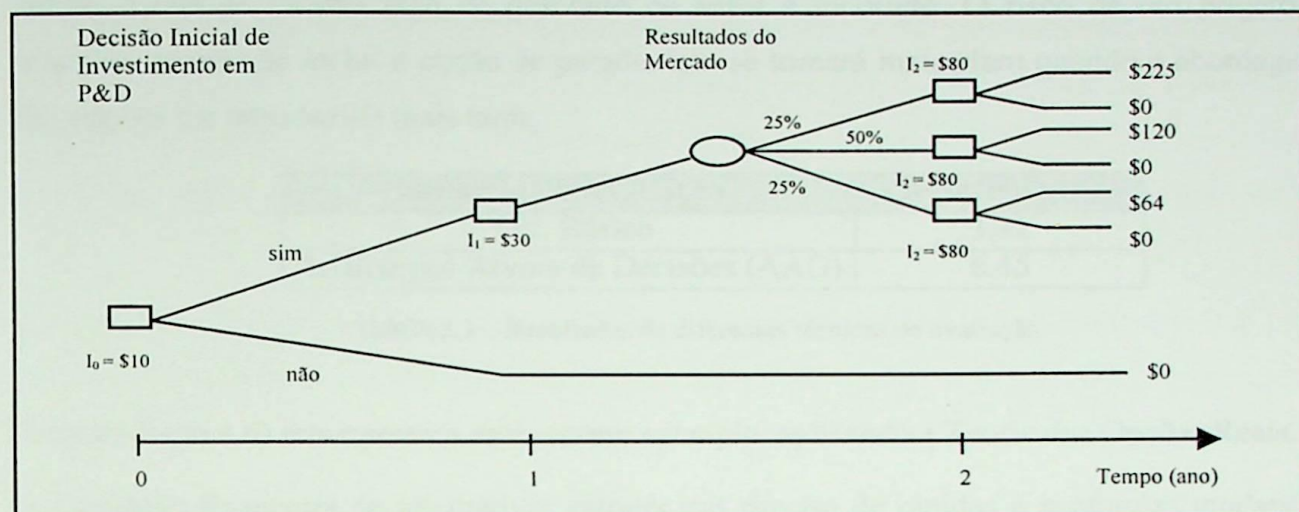


Figura 2.3 – Árvore de Decisão

No ramo inferior no ano 2 o fluxo de caixa é de apenas \$64 e, naturalmente, não compensaria investir \$80, pois resultaria em um VPL de \$-16. A administração, neste caso, iria resolver parar o projeto e o resultado esperado seria de \$0.

O valor esperado para o ano 2 [VE(2)] seria, desta forma:

$$VE(2) = 0.25 \cdot (225 - 80) + 0.5 \cdot (120 - 80) + 0.25 \cdot (0) = \$56.25$$

Através da análise pela árvore de decisões, o valor do projeto seria obtido da seguinte maneira:

$$VPL = -10 - 30 \cdot (1,15)^{-1} + [(225 - 80) \cdot 0,25 + (120 - 80) \cdot 0,5 + (0) \cdot 0,25] \cdot (1,15)^{-2} = \$6,45$$

O valor presente líquido é, para este caso, \$6.45. Tal valor é mais acurado do que os \$3,42 dado pela regra básica do VPL. Tal método já é capaz de incorporar o valor das decisões tomadas pela administração quando o cenário para o projeto se mostra desfavorável.

2.3.1 Técnicas Tradicionais de Orçamento de Capital – Considerações Finais

Como um sumário das diferentes técnicas discutidas anteriormente, a tabela 2.3 mostra os diferentes resultados para o exemplo de P&D. O VPL básico subestima o valor do projeto e o resultado é de \$3.42. Um passo na direção correta é o uso da análise por árvore de decisões,

onde a flexibilidade administrativa de parar o projeto no ano dois é incluída, o VPL passa a ser de \$6.45. A razão do segundo cálculo também estar incorreto decorre do fato de que a inclusão da flexibilidade de parar o projeto no ano dois torna o projeto menos arriscado, sendo assim, o uso da mesma taxa de desconto de antes é incorreto. O risco de um projeto é reduzido quando se inclui a opção de parada. Isto se tornará mais claro quando a abordagem das opções for introduzida mais tarde.

Método de Avaliação	Resultado (\$)
VPL Básico	3.42
Análise por Árvore de Decisões (AAD)	6.45

Tabela 2.3 – Resultados de diferentes técnicas de avaliação

Adiante (item 4.6) retomaremos este mesmo exemplo, aplicando a Teoria das Opções Reais.

A avaliação financeira de alternativas estratégicas precisa de rápidas e profundas mudanças no sentido de se aproximar da realidade e mensurar a flexibilidade existente nos projetos. Neste sentido, o FCD não tem muito como atender às exigências que são feitas à teoria de finanças no sentido de apoiar as decisões estratégicas, podendo-se lançar mão de métodos alternativos como a Teoria das Opções Reais.

O importante, estrategicamente falando, é analisar o portfólio de projetos que a empresa tem e como eles se impactam mutuamente. Em outras palavras, projetos com VPL estático negativo podem impactar de maneira positiva outros projetos e gerar benefícios para a empresa. Tem-se, então, a visão da necessidade clara de uma nova abordagem de VPL estendido, que some ao VPL estático o valor das opções contidas no projeto e de alguma maneira não ignore as possibilidades futuras que aparecerão com novas informações não disponíveis na atualidade e por isso não são consideradas numa análise clássica de VPL.

2.4 Algumas Definições, Conceitos e Características dos Investimentos

Neste item será discorrido sobre alguns importantes conceitos, apresentando-se também algumas características dos investimentos.

2.4.1 Investimento, Irreversibilidade, Incerteza e *Timing*

Pode-se definir *investimento* como sendo o ato de incorrer em gastos imediatos na expectativa de obter futuros benefícios (Dixit e Pindyck, 1994). Numa analogia com o retorno de uma ação, o retorno de qualquer investimento pode ser decomposto em duas parcelas aditivas: dividendos + ganho de capital. Em um investimento em capacidade produtiva, existem três importantes características que devem ser consideradas: *irreversibilidade*, *incerteza* e *timing*. Esses três itens são os pilares da teoria do investimento sob incerteza e serão descritos a seguir.

Os investimentos são, em geral, *irreversíveis*. A irreversibilidade pode ser parcial ou total, ou seja, depois de feito o investimento, em caso de um arrependimento da decisão, não é possível recuperar todo ou a maior parte do capital investido. No caso de ativos que podem ser usados em outras indústrias (microcomputadores, caminhões comuns, edificações civis etc.) freqüentemente o mercado de equipamentos usados paga valores abaixo do que se poderia supor como “justo”, devido ao efeito da *assimetria de informação* entre comprador e vendedor (desconfiança do comprador) sobre o real estado do equipamento (Pindyck, 1991; Quigg, 1993). Henry (1974) diz que realizar uma decisão irreversível significa reduzir significativamente por um longo período de tempo a variedade de escolhas que seriam possíveis no futuro. Por exemplo, uma pessoa com um menor grau acadêmico tem suas possibilidades de escolhas reduzidas até que esta venha a investir em sua bagagem de conhecimento.

Desta forma, a maior parte do custo de investimento é um *custo afundado* (*sunk cost*). Logo, a irreversibilidade faz com que a espera tenha valor. Somente quando a probabilidade de insucesso é suficientemente baixa é que o investimento irreversível deve ser feito. A espera é reversível (exceto no caso de investimentos do tipo “agora-ou-nunca”).

A segunda importante característica é a *incerteza*. No caso de projetos de P&D essa incerteza se dá especialmente nos benefícios, sendo esses projetos geralmente de médio/longo prazos, a incerteza acerca do retorno de um projeto, que tem um valor presente líquido (VPL) apenas um pouco positivo hoje, tem uma razoável probabilidade de apresentar prejuízo poucos anos depois (Ingersoll e Ross, 1992; Cukierman, 1980; Quigg, 1993). Outra fonte de incerteza são os custos. Estes são chamados *incertezas econômicas*. Outro tipo de incerteza é a chamada *incerteza técnica*, como por exemplo no caso de projetos que utilizam novas tecnologias, com equipamentos que são fabricados pela primeira vez, em que a incerteza está presente não só no custo de aquisição, como também no custo de instalação e manutenção (Dias, 1996).

O *timing* do investimento é a terceira característica relevante, embora muitas vezes subestimada. O gerente tem de decidir se é melhor investir já ou se é melhor aguardar por novas informações e/ou melhores condições. Raramente um investimento é do tipo “*agora ou nunca*” (Quigg, 1993; Dixit e Pindyck, 1994; Ingersoll e Ross, 1992; Majd e Pindyck, 1987).

Em suma, num ambiente de incerteza, deve-se calcular o momento certo para realizar um investimento irreversível, de forma a que o projeto tenha uma probabilidade de sucesso adequada, com o objetivo de maximizar a riqueza de uma empresa. Quando um ou mais dos três fatores anteriormente citados é ignorado numa análise, esta pode ficar comprometida.

2.4.2 Os Dois Lados da Incerteza, Assimetrias e o *Princípio das Más Notícias*

Certeza em investimento refere-se às situações em que o investidor conhece com probabilidade 1 qual o retorno sobre o seu investimento que ocorrerá no futuro. Pode-se inferir, portanto, que *incerteza* refere-se a situações onde pode ocorrer um conjunto de valores, associados a seus respectivos estados da natureza, com probabilidades estritamente positivas. Em outras palavras, a incerteza em uma variável pode ser vista como a possibilidade desta assumir valores diferentes do que se espera.

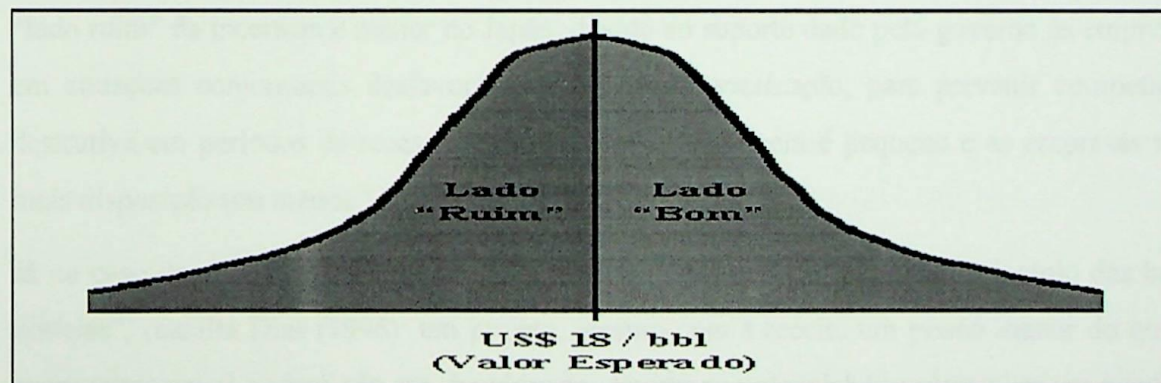


Figura 2.4 – Os dois lados da incerteza (Fonte: Dias, 1996)

O aumento no valor da oportunidade de investimento causado pela incerteza *econômica* não significa um aumento na disposição de investir, pois o aumento de valor é devido à valorização da flexibilidade gerencial, que no caso mais comum é o valor da habilidade de espera, e o ato de investir destrói essa flexibilidade gerencial (“mata” a opção). Assim, um aumento da incerteza econômica em geral reduz a disposição de investir em um projeto (adia o exercício da opção de investir). Bernanke (1983) apresenta um exemplo interessante de incerteza política, em que um processo de discussão no Congresso sobre incentivos fiscais a

investimentos, leva ao adiamento dos investimentos (esperando a decisão política) mesmo que se garanta uma retroatividade dos incentivos para quem investir durante o período de debate legislativo.

A seguinte questão poderia ser levantada: para efeito de tomada de decisão, qual dos dois lados da incerteza é o mais importante? A resposta depende do tipo de decisão a ser tomada. Se for uma decisão de investimento, o “lado ruim” da incerteza é a força primária que governa a decisão ótima de investimento, quando a espera é possível. Por outro lado, se for uma decisão de abandono, o “lado bom” da incerteza é o relevante. Esse é, segundo Dias (1996), o segundo efeito de assimetria da incerteza: *assimetria na regra de decisão*. No caso da decisão de investimento, essa assimetria pode ser enfocada pelo “*princípio das más notícias*”: um projeto, mesmo com $VPL > 0$, pode ser adiado uma vez que a incerteza existente atribui uma probabilidade positiva para uma queda nos preços, de forma que a espera pode evitar essas perdas. O preço de “gatilho” (que leva ao imediato investimento, pela teoria das opções) depende da probabilidade de ocorrer essa perda e do *tamanho* dessa possível perda (pode-se pensar na área à esquerda da figura 2.4) (Dias, 1996).

Um outro exemplo ainda mais interessante e bastante instrutivo do *princípio das más notícias* é apresentado por Dixit (1992): Por que as firmas japonesas, que têm maiores custos fixos, têm sido mais agressivas em investimento do que as firmas americanas? A resposta é que o “lado ruim” da incerteza é menor no Japão, devido ao suporte dado pelo governo às empresas em situações conjunturais desfavoráveis (inclusive *cartelização*, para prevenir competição destrutiva em períodos de recessão). Assim o valor da espera é pequeno e as empresas têm mais disposição (ou menos “receio”) de investir.

Já no caso da *decisão de abandono*, a assimetria pode ser enfocada pelo “*princípio das boas notícias*”, ressalta Dias (1996): um projeto, mesmo com a receita um pouco menor do que o custo operacional poderá não ser abandonado, devido ao potencial de voltar a ser um negócio lucrativo, que é proporcionado pelo “lado bom” da incerteza. Quanto maior for esse potencial, mais a firma deve esperar antes de tomar a decisão irreversível de abandonar o projeto. É essa “esperança” que faz muitas firmas operarem unidades com prejuízos por certo tempo.

2.4.3 Incerteza Econômica e Técnica

Quando um investimento está sendo analisado, deve-se levar em consideração dois tipos de incerteza, a *incerteza econômica* e a *incerteza técnica*.

A *incerteza econômica* é correlacionada aos movimentos gerais da economia, que são sujeitos a acontecimentos aleatórios, tais como recessão/aquecimento da economia, guerra/paz, perdas de safra por razões climáticas/safra recorde, descoberta de novas tecnologias etc. Quanto mais distante for o futuro que se tenta prever, mais incerta é essa previsão. Assim a incerteza econômica é *exógena* ao processo de decisão de uma firma. Aprende-se esperando (*learning by waiting*) e não investindo (Dias,1996). O “clima bélico” gerado pelo atentado terrorista ao World Trade Center em setembro de 2001 é um exemplo típico de como acontecimentos aleatórios podem gerar incerteza econômica, fazendo com que muitos investimentos sejam adiados ou redirecionados, uma vez que espera-se pelo desdobramento dos acontecimentos.

Esse tipo de incerteza, que não pode ser totalmente diversificável, afeta negativamente os investimentos, pois quanto maior a incerteza, mais as empresas irão esperar antes de investirem, ou vão exigir preços muito elevados para investirem em produção. Muitos projetos com $VPL > 0$ serão postergados e só serão realizados projetos com VPL muito maior do que zero. Por exemplo, é comum os jornais noticiarem o adiamento de investimentos por parte das empresas devido às incertezas econômicas tais como discussão de novas leis comerciais no congresso, alteração da taxa de câmbio. O maior exemplo desta tipo de incerteza aconteceu recentemente com a queda da oferta de energia elétrica no país, sendo baixado um decreto do governo exigindo que as empresas diminuam o consumo de energia. Tal problema pode vir a afetar significativamente muitos projetos, comprometendo muitos investimentos.

A *incerteza técnica* é um tipo de incerteza que não é correlacionada aos movimentos macroeconômicos, ou seja, a possibilidade de desvio de uma variável em relação ao que se espera não muda se, por exemplo, a economia sai de uma recessão e entra em fase de crescimento. Desta forma, a incerteza técnica não é afetada, por exemplo, por decisões políticas. Um exemplo de incerteza técnica são os volumes de óleo, gás e água de uma jazida, especialmente antes da delimitação do campo. Projetos de exploração e de P&D (pesquisa e desenvolvimento) são casos típicos em que essa incerteza desempenha um papel dominante. A incerteza técnica pode, conforme ressalta Dias (1996), levar à realização do início de investimentos em projetos com $VPL < 0$, uma vez que esta incerteza técnica só poderá ser resolvida através do investimento.

Uma característica fundamental da incerteza técnica é que a realização de investimentos reduz esse tipo de incerteza. Assim, a incerteza técnica é *endógena* ao processo de decisão, ao contrário da incerteza econômica. Como é mostrado por Dixit e Pindyck (1994), a incerteza

técnica incentiva o investimento passo-a-passo, no sentido da redução da variância dessa incerteza. É como se o investimento tivesse um benefício adicional (quantificável pela teoria das opções) de redução da incerteza técnica. Esse benefício adicional é chamado de *valor-sombra* (*shadow value*), pois é um valor que não aparece diretamente no fluxo de caixa, logo, o FCD não “enxerga” esse valor, outra limitação importante desse método.

2.5 As Opções Financeiras

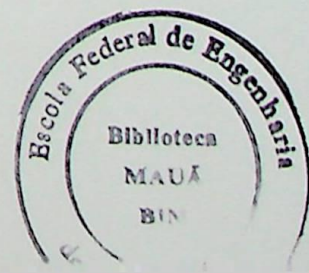
Para facilitar a compreensão das Opções Reais inseridas no contexto da análise de investimentos, faz-se necessário, primeiramente, a explanação da Teoria das Opções Financeiras, de modo a possibilitar uma melhor compreensão das opções reais, objetivo primordial deste trabalho. Também será discorrido sobre alguns importantes conceitos.

2.5.1 Algumas Definições e Características

Títulos derivativos, ou simplesmente, derivativos, são títulos cujos preços são determinados por, ou "derivados de", preços de outros títulos. Estes títulos permitem aos investidores mudar o formato da distribuição de probabilidade dos retornos sobre investimentos. Os contratos de opções são títulos derivativos. Estes são escritos sobre ações ordinárias, índices de bolsas, câmbios estrangeiros, mercadorias agrícolas, metais preciosos e taxas futuras de juros (Bodie *et al.*, 2000).

Ross, Westerfield e Jaffe (1995) apresentam algumas definições importantes do vocabulário especial associado às opções. Elas são listadas a seguir:

- **Opção:** É um contrato que dá a seu titular o direito de comprar ou vender um ativo a um preço predeterminado numa certa data ou antes dela. As opções são um tipo de contrato financeiro porque dão ao seu comprador o direito, mas não a *obrigação*, de fazer alguma coisa. O comprador utilizará a opção apenas se for de seu interesse fazê-lo, alternativamente, a opção será jogada fora.
- **Exercício da Opção:** Ato de comprar ou vender o ativo subjacente via contrato de opção.
- **Preço de Exercício:** É o preço fixado no contrato de opção, ao qual o titular pode comprar ou vender o ativo subjacente.
- **Data de Vencimento:** É a data em que a opção expira. A opção extingue-se após esta data.



- **Opção Americana:** É a opção que poder ser exercida a qualquer momento até a data de vencimento. Como as opções americanas permitem mais liberdade do que as européias, elas serão, geralmente, mais valiosas (Bodie *et al.*, 2000).
- **Opção Européia:** Difere da opção americana no sentido de poder ser exercida somente na data de vencimento.
- **Prêmio:** É o valor pago para se ter o direito, mas não a obrigação de exercer uma certa opção.

Quando é obtido um lucro ao se exercer uma opção de venda ou de compra, é dito que a opção está **dentro do dinheiro** (*in-the-money*), quando o exercício de uma opção não gera rentabilidade, esta é dita **fora do dinheiro** (*out-of-the-money*), quando o preço de exercício e o preço do ativo são iguais, é dito que a opção está **no dinheiro** (*at-the-money*) (Bodie *et al.*, 2000).

Para melhor compreensão, vejamos um exemplo extraído de Ross, Westerfield e Jaffe (1995). Suponhamos que uma opção de compra de ações da empresa XYZ, com vencimento em outubro de 1996, com um preço de exercício de US\$ 50, esteja à venda no dia 9 de setembro de 1996 por US\$ 2,75 (prêmio). Até o dia do vencimento, o comprador tem o direito, mas não o dever, de comprar as ações da empresa XYZ por US\$ 50. No dia 18 de outubro as ações da empresa estão à venda por US\$ 50,625. Isto significa que um exercício imediato renderia lucros líquidos de US\$ 50,625 – US\$ 50 = US\$ 0,625. Obviamente um investidor que paga US\$ 2,75 pela opção de compra não tem a intenção de exercer a mesma imediatamente. Por outro lado, se a ação da empresa XYZ estiver à venda por US\$ 55 no dia 18 de outubro, a opção seria um investimento rentável, já que daria ao seu titular o direito de pagar US\$ 50 por uma ação valendo US\$ 55. Os lucros deste exercício seriam de:

$$\text{Lucros} = \text{Preço da Ação} - \text{Preço de Exercício} = \text{US\$ } 55 - \text{US\$ } 50 = \text{US\$ } 5$$

e o lucro para o investidor seria de:

$$\text{Lucro} = \text{Lucros} - \text{Investimento Original} = \text{US\$ } 5 - \text{US\$ } 2,75 = \text{US } 2,25$$

Isto daria um retorno durante o período de manutenção dos investimentos de $\text{US\$ } 2,25 / \text{US\$ } 2,75 = 0,82$ ou 82 % em apenas 40 dias. Logicamente os vendedores de opções no dia 9 de setembro não consideravam muito provável este resultado. No primeiro caso é dito que a opção está **fora do dinheiro** e no segundo que está **dentro do dinheiro**. Caso o preço de exercício fosse de US\$ 52,75, a opção estaria **no dinheiro**. O raciocínio para a opção de venda é análogo (Bodie *et al.*, 2000).

O valor da opção de compra / venda no vencimento é igual a:

$$\text{Pagamento para o titular da opção de compra} = \begin{cases} V - X & \text{se } V > X \\ 0 & \text{se } V \leq X \end{cases}$$

$$\text{Pagamento para o titular da opção de venda} = \begin{cases} 0 & \text{se } V \geq X \\ X - V & \text{se } V < X \end{cases}$$

onde V é o valor da ação no vencimento e X é o preço de exercício.

A relação abaixo

Eq. 2.4

$$\text{valor da ação} + \text{valor da opção de venda} - \text{valor da opção de compra} = \text{valor presente do preço de exercício}$$

é conhecida como **relação de paridade entre opção de venda e opção de compra**. Mostra que os valores de uma opção de venda e de uma opção de compra com o mesmo preço de exercício e a mesma data de vencimento mantêm uma relação precisa uma com a outra. Os lucros com *arbitragem* decorrem de transações sem risco ou custo, e não podem ocorrer sistematicamente em mercados financeiros normais e de funcionamento adequado (Ross, Westerfield e Jaffe, 1995).

Os fatores que determinam o valor de uma opção de compra podem ser repartidos em dois conjuntos. O primeiro conjunto contém as características do contrato de opção. As duas características contratuais básicas são o preço de exercício e a data de vencimento. O segundo conjunto de fatores que afetam o preço da opção diz respeito às características da ação-objeto e do mercado. Quanto maior a variabilidade do ativo subjacente, mais vale a opção de compra. O valor de uma opção de compra está positivamente associado às taxas de juros (Ross, Westerfield e Jaffe, 1995).

O valor de uma opção de compra é uma função de cinco variáveis:

- O preço corrente do ativo subjacente, ou seja, o preço de uma ação, no caso de opção de compra de ações;
- O preço de exercício;
- O tempo restante até a data de vencimento;
- A variância do ativo subjacente;
- A taxa de juros do ativo livre de risco.

2.5.2 Opções como Forma de Pagamento

Vinte anos atrás, o maior componente de compensação dos executivos era o dinheiro na forma de salário e bônus. Opções de ações eram apenas nota de rodapé. Segundo Hall (2000), com espantosa velocidade as concessões em opções de ações têm dominado o pagamento – e quase sempre a prosperidade – de executivos através dos Estados Unidos. No total, executivos americanos mantêm opções não exercidas que chegam a dezenas de bilhões de dólares.

Hall (2000), um estudioso, há anos, de concessão de opções diz que os críticos das opções estão errados. Opções não promovem o egoísmo e a perspectiva de curto prazo por parte do pessoal do negócio. Segundo ele, “...opções são o melhor mecanismo de compensação que asseguram que os administradores irão agir de maneira a garantir o sucesso de longo prazo e o bem estar de sua companhia, colaboradores e acionistas”.

A concessão de opções reforçou dramaticamente a ligação entre pagamento e desempenho. Num contraste total com o que ocorria 20 anos atrás, quando os executivos eram vistos mais como burocratas, atualmente, os executivos tendem a ter uma posição e a agir como donos da empresa. Opções de ações são uma forma de medida que tende a “olhar para o futuro”, ao invés do passado. Ela prevê como as ações atuais irão afetar os rendimentos futuros. Devido à grande pressão dos investidores de se prever corretamente o futuro, isto faz com que o mercado de ações seja o melhor previsor de desempenho. Os executivos que recebem concessões de opções tendem a administrar de uma forma não míope, pois poderão, por exercê-las apenas em estágios, por exemplo, 25 % por ano durante quatro anos, o que faz com que os administradores procurem tomar ações que trarão resultados a longo prazo (Hall, 2000).

O crescimento veloz do segmento de pagamento de executivos, relacionado ao desempenho, por meio das opções de ações, tem levantado debates de “altos decibéis”. Opções de ações somam mais da metade das compensações de CEO’s nas maiores companhias dos EUA e cerca de 30% do pagamento dos administradores seniores. Opções e concessão de ações também constituem metade da remuneração dos diretores. Esta tendência, segundo Rappaport (1999), é relativamente nova.

Somente através de uma compreensão de como as opções trabalham – como elas provêm diferentes incentivos sob diferentes circunstâncias, como sua forma afeta sua função, como vários valores influenciam seu valor – uma companhia vai ser capaz de garantir que seu programa de opções está em concordância com as metas da empresa (Hall, 2000). Se forem

distribuídas de forma errada, constata o mesmo autor, opções não serão melhores do que as formas tradicionais de pagamento, sendo em alguns casos, consideradas piores.

A recompensa monetária e a posse de ativos permanece uma das mais eficientes ferramentas para alinhar os interesses de executivos e acionistas. Até que diretores reconheçam a importância de incentivos – e adotem sistemas de compensação que verdadeiramente liguem pagamento com desempenho - muitas companhias e seus acionistas irão continuar a sofrer com o mau desempenho, defendem Jensen e Murphy (1990). Pelo exposto, percebe-se que a concessão de opções tende a ser um bom direcionador no sentido de aliar os interesses de executivos ao dos acionistas.

2.6 O Método de Black & Scholes (B&S)

Em 1973, Black e Scholes (e também Merton, no mesmo ano) estabeleceram as bases da moderna teoria das opções financeiras, ao desenvolverem um modelo de equilíbrio que não precisa fazer nenhuma premissa restritiva sobre as preferências individuais em relação ao risco ou sobre a formação dos preços de mercado em equilíbrio. Isso foi conseguido através da montagem de uma carteira “livre de risco”, cuja precificação advém de condições de não-arbitragem. O conjunto de restrições do modelo origina-se, segundo Dias (1996), da premissa de que os investidores preferem mais a menos (maximizador de riqueza).

Apesar de matematicamente sofisticado (envolve conceitos de cálculo estocástico e equação diferencial parcial) o modelo de Black e Scholes (B&S) ganhou uma rápida popularidade, sendo hoje largamente usado no mercado (através de tabelas, no início, e de softwares, mais recentemente) mesmo por operadores de nível médio de escolaridade. Black e Scholes também estenderam o conceito de opções para a estrutura de capital de uma empresa: o débito de uma empresa devia ser visto como uma opção. Aprimoramentos e extensões do modelo de B&S não tardaram, assim como as extensões dos conceitos de opções para investimentos em projetos industriais (Dias,1996).

Black e Scholes (1973) assumem que a distribuição de probabilidades do ativo básico é *log-normal*, que é completamente descrito pelo seu valor esperado (média) e pela *volatilidade* (desvio padrão da taxa de variação do ativo, por unidade de tempo, em % aa., por exemplo). No entanto a sua fórmula não depende da média dessa distribuição, apenas da volatilidade e de parâmetros que seriam usados se não houvesse incerteza, isto é, se a função lucro fosse linear. Assim, a precificação de opções sob incerteza independe das atitudes dos indivíduos em relação ao risco.

Normalmente o valor de uma opção diminui à medida que a data de maturação de aproxima, se o valor do ativo não muda. Uma dada mudança percentual no preço do ativo, mantendo-se a maturação constante, resultará em uma maior mudança percentual no valor da opção. A relativa volatilidade da opção, entretanto, não é constante. Ela depende do preço do ativo e da maturação (Black e Scholes, 1973).

As hipóteses para a derivação da fórmula para o valor de uma opção em termos do preço do ativo, assumindo-se “condições ideais” no mercado para o ativo e para a opção são:

- A taxa de desconto de curto prazo (*short-term interest rate*) é conhecida e constante através do tempo;
- O preço do ativo segue o modelo de “passeio ao acaso em tempo contínuo” (*random walk in continuous time*) com a medida da variância proporcional ao quadrado do preço do ativo. Desta forma a distribuição dos preços possíveis para o preço do ativo no final de um intervalo de tempo é log-normal. A medida da variância do retorno do ativo é constante, ou seja, a volatilidade do ativo subjacente é constante;
- O ativo não paga dividendo ou outras distribuições;
- A opção é “européia”, ou seja, só pode ser exercida na data de maturação;
- Não há custos de transação de vendas ou compras do ativo ou da opção;
- É possível emprestar uma parte do preço de uma *security* para comprá-la ou mantê-la, à taxa de desconto de curto-prazo;
- Não há penalidades para pequenas vendas. Um vendedor que não possua uma *security* irá simplesmente aceitar o preço de uma *security* de um comprador e concordar em pagar (fixar) como o comprador em uma data futura pagando-lhe uma quantia igual ao preço da *security* naquela data.

Sob estas hipóteses, o valor da opção vai depender somente do preço do ativo, do tempo e das variáveis que assume-se constantes. É importante salientar que o método de Black e Scholes é para opções européias.

As fórmulas são dadas a seguir:

Modelo de Precificação de Opção de Black & Scholes		
$C = S_0 N(d_1) - E e^{-rt} N(d_2)$	Notação	
	C (<i>Call</i>)	Valor da opção de compra
$P = E e^{-rt} N(-d_2) - S_0 N(-d_1)$	P (<i>Put</i>)	Valor da opção de venda
	E	Preço de Exercício
$d_1 = \frac{\ln(S_0/E) + (r + \frac{1}{2}\sigma^2)t}{\sigma\sqrt{t}}$	S	Valor presente bruto do ativo subjacente
	r	Taxa de desconto livre de risco
$d_2 = \frac{\ln(S_0/E) + (r - \frac{1}{2}\sigma^2)t}{\sigma\sqrt{t}} = d_1 - \sigma\sqrt{t}$	σ	Desvio-padrão do fluxo de caixa futuro
	t	Tempo até a data de vencimento
	N(.)	Função distribuição normal acumulada padronizada

Figura 2.5 – Fórmula de Black e Scholes para opção de compra e de venda (Fonte: Black e Scholes, 1973).

2.7 Modelo Binomial

Cox, Ross e Rubinstein (1979) derivaram uma fórmula de precificação baseada na abordagem binomial. A abordagem binomial é a mais simples das fórmulas de precificação de opções (Elton e Gruber *apud* Kallberg e Laurin, 1997). Com a abordagem binomial é possível avaliar outras opções além das européias, como as opções americanas, que, em contraste com as opções européias, podem ser exercidas a qualquer momento até a data de vencimento. Um exemplo da utilização do modelo binomial pode ser visto no item 4.6.

A fórmula de precificação binomial assume que o preço do ativo subjacente varia de forma discreta com saltos para cima (*up jumps*) e para baixo (*down jumps*). A ação pode, então, assumir somente dois valores diferentes a partir de um ponto no tempo. Como pode ser visto pela figura 2.6, o preço da ação é S no tempo t e pode subir para S_u ou cair para S_d no tempo $t + 1$. Estes movimentos para cima e para baixo têm as probabilidades correspondentes a q e $(1-q)$. A figura também mostra o valor de uma opção de compra, C , da ação, onde C_u e C_d são os valores da opção quando o preço da ação é S_u e S_d . E é o preço de exercício da opção de compra. O subscrito para o preço da ação e da opção de compra demonstra o caminho que o preço da ação tem tomado, por exemplo, S_u representa o preço da ação depois de um movimento de elevação do preço da ação (Cox, Ross e Rubinstein, 1979). A figura também mostra o valor da opção de venda, P , quando o preço da ação é S_u e S_d .

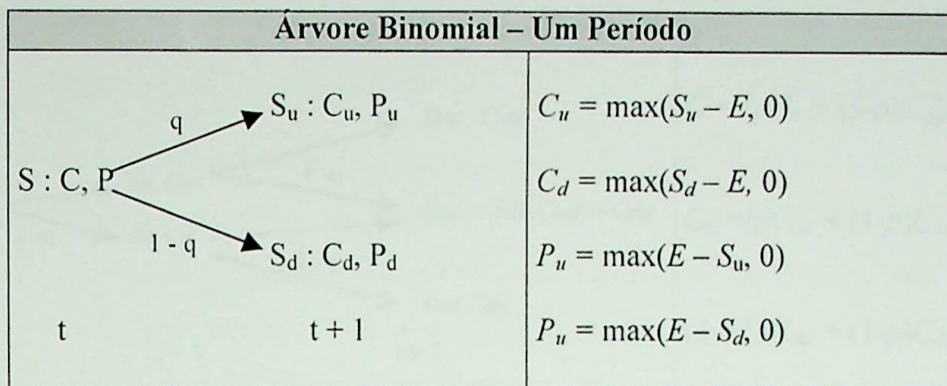


Figura 2.6 – Distribuição Binomial – Um período – (Fonte: Cox, Ross e Rubinstein, 1979)

A forma na qual o preço da ação muda na distribuição binomial pode seguir o processo de difusão aritmético ou logarítmico. Se o preço da ação segue um processo de difusão logarítmica S_u , S_d e S têm um fator geométrico multiplicativo, como o seguinte:

$$S_u = uS \tag{Eq. 2.5}$$

$$S_d = dS \tag{Eq. 2.6}$$

onde u e d são 1 (um) mais o percentual de mudança dos movimentos de subida e descida do preço da ação do tempo t para o tempo $t + 1$. No processo de difusão logarítmica a magnitude da variação do preço da ação é dependente do preço da ação em cada nó da árvore binomial.

Se o preço da ação segue o movimento de difusão aritmética, S_u , S_d e S têm a seguinte relação:

$$S_u = u + S \tag{Eq. 2.7}$$

$$S_d = d + S \tag{Eq. 2.8}$$

onde u e d são os movimentos absolutos de subida e descida do preço da ação do tempo t para o tempo $t + 1$. A figura 4.8 também apresenta as fórmulas do modelo binomial para precificação de opção de compra para um período.

A fórmula de precificação de uma opção de compra quando existe mais de um período até a data de vencimento é uma simples extensão da fórmula para um período, derivada anteriormente. A figura 2.7 mostra a árvore binomial para dois períodos e o valor da opção de compra no tempo t . Como anteriormente, o subscrito mostra o valor da ação ou da opção em diferentes estágios, por exemplo, C_{uu} representa o valor de uma opção de compra depois de dois movimentos de subida. Para se calcular o valor de uma opção de compra no tempo t o valor de C_u e C_d deve ser calculado no tempo $t + 1$. Estes valores dependem dos valores de C_{uu} , C_{ud} e C_{dd} do tempo $t + 2$. O procedimento é começar do fim da árvore no tempo $t + 2$ e calcular o valor da opção em $t + 1$ e, finalizar com o valor da opção de compra no tempo t .

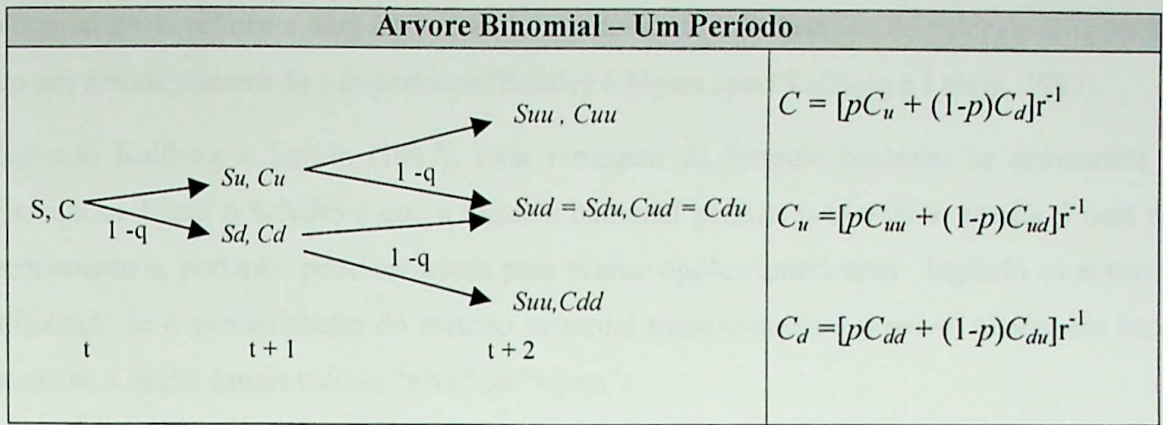


Figura 2.7 - Distribuição Binomial – Dois períodos – (Fonte: Cox, Ross e Rubinstein, 1979)

2.2.3 Considerações Finais

Estendendo o modelo binomial em mais períodos tornará os cálculos muito grandes e uma fórmula geral torna-se necessária. A fórmula geral é dada pela figura 2.8.

Fórmula Binomial Geral de Precificação de Opção		
$C = S_0 \Phi[a, n, p'] - E r^{-n} \Phi[a, n, p]$ <p>Onde $p' = (u/r)p$</p>	<u>Notação</u> C a p n S ₀ E r Φ[]	Valor da Opção de Compra; Núm. Mínimo de movimentos de subida que a ação deve ter nos próximos n períodos para a opção terminar <i>in-the-money</i> ; Probabilidade Neutra ao risco; Núm. de períodos até o vencimento; Preço atual da ação; Preço de exercício; Taxa de desconto livre de risco para um período; Distribuição Binomial Complementar.

Figura 2.8 – Fórmula Binomial Geral de Precificação de Opção – (Fonte: Cox, Ross e Rubinstein, 1979)

Dois dos importantes *inputs* da fórmula binomial são os valores *u* e *d*. Estes valores baseiam-se no desvio-padrão da taxa de retorno logarítmica da ação (σ) e no número *n* de intervalos até a expiração no período de tempo *t*. As fórmulas são:

$$u = e^{+\sigma \sqrt{t/n}} ; d = e^{-\sigma \sqrt{t/n}} \tag{Eq. 2.9}$$

Os valores de *u* e *d* representam as taxas de retorno se a ação move para cima ou para baixo. Os valores de *u* e *d* são requeridos em cada período para os *n* períodos terem uma distribuição binomial com o desvio-padrão dado.

O método da árvore binomial pode ser dividido em quantos períodos se desejar. Uma vez que os preços das ações poderiam tomar um número quase ilimitado de valores futuros, o método

binomial provavelmente dará um valor mais realístico e mais acurado do valor de uma opção em um grande número de sub-períodos (Brealey e Myers *apud* Kallberg e Laurin, 1997).

Segundo Kallberg e Laurin (1997), uma vantagem da fórmula binomial se comparada à fórmula de Black e Scholes é que a fórmula binomial permite o exercício anterior à data de vencimento e, portanto, pode ser usada para avaliar opções americanas. Segundo os autores, utilizando-se o procedimento do método binomial passo-a-passo é possível checar em cada ponto se a opção é mais valiosa “viva” ou “morta”.

2.8 Considerações Finais

Como pôde ser visto até o presente momento, as técnicas mais comumente utilizadas para avaliação de investimentos apresentam falhas que têm levantado duras críticas à sua utilização, como será visto com mais detalhes mais adiante. O presente capítulo também discorreu sobre importantes conceitos, fazendo-se introdução da teoria das opções financeiras, pedra fundamental de toda a análise das opções reais. No capítulo seguinte, far-se-á, entretanto, a dissertação sobre as opções reais.

CAPÍTULO 3

OPÇÕES REAIS

3.1 Considerações Iniciais

No atual mercado, caracterizado pela mudança, incerteza e interações competitivas, a realização dos fluxos de caixa previstos numa análise irá provavelmente diferir do que se esperava inicialmente pela administração. À medida que novas informações chegam e a incerteza sobre as condições do mercado e o futuro fluxo de caixa é gradualmente melhor compreendida, a administração pode ter uma flexibilidade valiosa para alterar sua estratégia operacional para capitalizar oportunidades futuras favoráveis ou diminuir perdas.

A flexibilidade da administração em adaptar suas futuras ações em resposta às futuras alterações do mercado expande o valor da oportunidade do investimento pela melhoria do potencial de ganhos, enquanto limita as perdas relativas às expectativas iniciais da administração sob uma administração passiva. Segundo Minardi (2000) e Trigeorgis (1993), a assimetria resultante criada pela adaptabilidade requer uma regra para um “VPL expandido” que reflita os dois valores componentes: o VPL tradicional (estático ou passivo) e o valor da opção de operação e adaptabilidade estratégica. Desta forma, tem-se:

$$\text{VPL}_{\text{expandido}} = \text{VPL}_{\text{estático (passivo)}} + \text{Valor da Opção de uma Administração Ativa}$$

Eq. 3.1

A abordagem das opções para o orçamento de capital tem o potencial de conceitualizar e ainda quantificar o valor das opções de uma administração ativa. Este valor é manifesto como uma coleção de opções reais (*call* ou *put*) embutidas nas oportunidades de investimento de capital, tendo como ativo subjacente o valor do fluxo de caixa esperado pela operação do projeto. Muitas destas opções ocorrem naturalmente (exemplo: por contratos, paradas ou abandono), enquanto outras podem ser planejadas ou construídas a um custo extra (exemplo: expandir novas capacidades ou construir opções de crescimento, escolha entre alternativos *inputs* e *outputs*).

Do exposto acima, partimos agora para uma revisão dos principais trabalhos da área de opções reais com suas possibilidades de aplicações. Isto será feito, entretanto, de forma mais abrangente, menos profunda, sendo que enfoque maior será dado à teoria das opções aplicada

a projetos de pesquisa e desenvolvimento (capítulo 4), objeto de estudo deste trabalho. Outros conceitos importantes também são abordados.

3.2 As Opções Reais

A Teoria das Opções Reais (TOR) é utilizada para a avaliação de *ativos reais*, ou seja, aqueles que não são negociados no mercado. Projetos de investimento de capital, avaliação de propriedades intelectuais, avaliação de terras, de fontes de recursos naturais (minas, poços de petróleo etc) e avaliação de projetos de pesquisa e desenvolvimento são exemplos de ativos reais que podem ser avaliados utilizando esta teoria.

A TOR utilizada como uma ferramenta para análise de investimentos é relativamente nova. O termo “opções reais” foi usado pela primeira vez por Myers (1977) e o primeiro trabalho de orçamento de capital utilizando a teoria foi do brasileiro O. Tourinho, em 1979, (*apud* Dias, 1996) em sua tese de PhD em Berkeley, onde pela primeira vez mostrou que reservas de recursos naturais (como o petróleo) podem ser entendidas e avaliadas como opções. Foi a aplicação pioneira da teoria das opções reais em projetos. Seu conceito principal está fundamentado na teoria das opções financeiras, uma vez que as decisões gerenciais ao longo da vida útil de um projeto de investimento podem ser consideradas análogas às opções, ou seja, existe um direito, mas não uma obrigação de se investir.

Uma *opção real* é a flexibilidade que um gerente tem para tomar decisões a respeito de ativos reais. Ao passo que novas informações vão surgindo e as incertezas sobre o fluxo de caixa vão se revelando, os administradores podem tomar decisões que venham a influenciar positivamente no valor final de um projeto (Dixit e Pindyck, 1994). As decisões com as quais os administradores freqüentemente se deparam são: qual o momento certo de investir, de abandonar ou parar temporariamente um projeto, de modificar as características operacionais do projeto ou ainda trocar um ativo por outro? Desta forma, um projeto de investimento de capital pode ser considerado como um conjunto de opções reais sobre um ativo real, o projeto.

O fator *tempo* influencia fortemente as decisões de investimento em ativos reais. Um investimento retorna um fluxo de caixa futuro que é afetado pelas incertezas do mercado (custos de matéria-prima, demanda, preço de venda etc) e pelas decisões a serem tomadas pelos concorrentes no futuro, o que pode alterar o panorama do mercado. Para se tomar uma decisão hoje, a empresa precisa levar em consideração estes fatores. As técnicas de avaliação de investimento que consideram as decisões gerenciais devem ser capazes de lidar com as contingências futuras. Qualquer decisão que venha a “matar” uma opção deve ser evitada,

dando maior preferência às decisões que aumentam a flexibilidade administrativa frente às incertezas do mercado (Luehrman, 1998; Quigg, 1993; Majd e Pindyck, 1987).

3.3 Criação de Capacidade, a Plataforma de Investimentos e as Opções Reais

Kogut e Kulatilaka (1994) reportam que nos últimos anos tem coexistido duas correntes de pensamento que procuram corrigir a *miopia* dos investimentos (as firmas estão procurando fazer investimentos dando uma maior importância ao longo prazo): uma é a formulação dos investimentos estratégicos como opções reais, e a outra é relacionada às capacidades organizacionais (qualidade, flexibilidade, rapidez de resposta ao mercado etc.) e competências fundamentais. Os autores ainda ligam estas duas correntes, mostrando que essas capacidades são opções porque são investimentos em oportunidades. Essas capacidades geram plataformas de investimentos para se expandir em novos, mas incertos mercados.

Ao analisar as fontes de *miopia* das empresas, os autores destacam, além da orçamentação de capital, como as regras tradicionais do FCD, que muitas vezes “dá a resposta errada na direção errada”, mais três aspectos: o *papel das instituições financeiras*: incentivando o desempenho de curto prazo das corporações; a *forma de planejamento estratégico*; as *unidades estratégicas de negócios*.

A criação de capacidades como opções de crescimento também é abordada por Baldwin e Clark (1992). Para os autores, as capacidades organizacionais são combinações de habilidades humanas, rotinas e procedimentos organizacionais, ativos físicos, e sistemas de informações e incentivos que aumentam o desempenho em dimensões particulares. Os autores apontam estudos empíricos, demonstrando que as empresas com desempenho operacional superior se destacaram por possuir essas capacidades organizacionais que permitiram explorar as oportunidades do mercado de forma mais eficaz do que os seus competidores.

Segundo Eccles, Lanes e Wilson (1999), o conceito de valor está estruturado em cinco fatores: o valor intrínseco (VPL), o valor de mercado, o preço de compra, o valor da sinergia e o valor do *gap* (diferença entre o valor intrínseco e o valor de compra). Os compradores geralmente baseiam seus cálculos em cinco fatores de sinergia: redução de custos, aumento de renda, melhoria do processo, engenharia financeira e vantagem nos tributos. A razão de se fundir ou de se adquirir companhias é, segundo os autores, alcançar uma posição competitiva

no mercado – com uma estrutura de menor custo, por exemplo, ou uma melhor plataforma para o crescimento.

A obtenção dessas capacidades demanda investimentos em informação especializada, educação e treinamento, ativos físicos, e sistemas de coordenação e integração, a fim de melhorar o desempenho em termos de velocidade, qualidade, eficiência, flexibilidade e inovação. Conforme constatam Baldwin e Clark (1992), infelizmente, os sistemas de orçamentação de capital em muitas empresas americanas são tendenciosas contra gastos em criação de capacidades, que não gera diretamente fluxos de caixa ou lucratividade visível. O retorno esperado de um investimento em capacidades não é facilmente traduzido em fluxos de caixa porque as capacidades afetam conjuntos de oportunidades, sugerindo a utilização de ferramentas como a teoria de opções para poder quantificar a flexibilidade, além de outras técnicas.

Os mesmos autores exemplificam que quando duas capacidades interagem, elas aumentam a competitividade da firma em diversas dimensões e o retorno do investimento aumenta extraordinariamente, citando o caso de firmas japonesas de automóveis, que combinam estreitas ligações com clientes (integração externa) com processos de projeto e fabricação (integração interna) altamente eficientes.

Dixit e Pindyck (1995) mostram que a aplicação da regra do VPL tem levado muitos empresários a erradamente rejeitar projetos que criam novas opções de investimento (*investimentos exploratório*), como projetos de P&D e de teste de mercado. Nem sempre se pode taxar de miopia a atitude de gerentes que usam a regra do VPL, mas com altas taxas de desconto (bem acima do custo de capital, as *hurdle rates*) de forma a adiar a realização de vários projetos. Em muitos casos, se o projeto não cria opções valiosas de crescimento e ele pode ser adiado, os gerentes preferem manter aberta a opção de investir (ou não) futuramente no projeto.

3.4 Alguns Trabalhos Importantes

A avaliação por opções reais tem sido aplicada em vários contextos, tais como investimentos em fontes de recursos naturais, desenvolvimento de terras, *leasing*, manufatura flexível, regulamento de subsídios governamentais, pesquisa e desenvolvimento (P&D), novos empreendimentos e aquisições, investimentos estrangeiros e estratégicos etc.. Além do

desenvolvimento teórico, as aplicações das opções reais estão recebendo uma atenção crescente por parte das corporações, como será visto.

As primeiras aplicações surgiram na área dos investimentos em recursos naturais devido à disponibilidade de recursos comercializados ou preços de *commodities*, alta volatilidade e longa duração, resultando em maior e melhor estimação do valor das opções. Brennan e Schwartz (1985) foram os primeiros a utilizar a teoria para avaliação de recursos naturais, avaliando as opções de parada temporária ou abandono de uma mina. Paddock, Siegel e Smith (1988) avaliaram as opções inseridas em reservas não-desenvolvidas de petróleo.

Na área do desenvolvimento de terras, Titman (1985), mostra que o valor de uma área desocupada deveria refletir não somente o valor básico de seu melhor uso imediato (construção imediata de um edifício, por exemplo), mas também o valor da opção de se esperar seu desenvolvimento para que a terra seja convertida nas suas melhores alternativas num futuro uso.

Na área da manufatura flexível, a flexibilidade conseguida pelos sistemas flexíveis de manufatura, tecnologia flexível de produção ou outro maquinário que tenha múltiplo uso tem sido analisado com a perspectiva das opções por Kulatilaka (1988), Triantis e Hodder (1990), entre outros.

Para investimentos estrangeiros, Baldwin (1987) discorre sobre a possibilidade de instalação de uma planta fabril em vários locais, a possibilidade de *timing* e a de construção seqüencial quando as empresas analisam o cenário do mercado global. Kogut e Kulatilaka (1994), Pennings e Lint (2000), entre outros, examinam as opções de entrada, capacidade e de adequação para empresas multinacionais sob operações em um ambiente de taxa de câmbio volátil. Alvarez (1999) usa a TOR para discorrer sobre a saída no momento ótimo (*optimal exit*) do mercado e a avaliação de projetos sob demanda incerta. Já Alvarez e Stenbacka (2001) desenvolvem uma abordagem matemática das opções reais para caracterizar o momento ótimo de adotar uma tecnologia incumbente (*incumbent technology*), incorporando como “opção embutida” o panorama incerto de oportunidades de atualização da tecnologia em resposta ao surgimento de versões futuras superiores da tecnologia.

Usando as ferramentas da teoria das opções reais, Farzin, Huisman e Kort (1998) investigaram o momento ótimo de adoção de uma tecnologia em um modelo no qual existe progresso tecnológico e a decisão de investimento da empresa é irreversível. Quando a empresa pode mudar a tecnologia $n < \infty$ vezes, Farzin *et al.* (1998) obtêm o surpreendente resultado de que o critério de adoção de uma nova tecnologia derivado da teoria das opções

reais coincide com o critério do valor presente líquido. Entretanto, o artigo de Doraszelski (2001) aponta um erro nas derivações de Farzin *et al.* (1998) que conduziu ao resultado acima. Doraszelski (2001) mostra que, comparada com a abordagem do valor presente líquido, uma empresa irá deferir a adoção de uma nova tecnologia quando esta leva em consideração o valor da espera em consideração.

Na área acadêmica, em uma dissertação de mestrado Kallberg e Laurin (1997) valem-se da TOR para orçamento de capital em um estudo de caso de uma empresa do setor farmacêutico. Dias (1996) em uma relevante dissertação de mestrado analisa investimentos sob incerteza em projetos de exploração e produção de petróleo, enquanto Castro (2000), também em uma dissertação de mestrado, utiliza a mesma TOR para avaliação de investimento de capital em projetos de geração termoeleétrica no setor elétrico brasileiro.

McDonald e Siegel (1985) desenvolvem e estudam uma metodologia para avaliar projetos de investimentos onde existe uma opção de parar a produção temporariamente sem custos, quando a variável custo excede os ganhos operacionais. Os mesmos autores também desenvolvem, em 1986, um modelo sobre o valor da espera por melhores condições. Projetos com investimentos seqüenciais são analisados por Roberts e Weitzman (1981) usando um modelo que realça o papel da coleta de informação. Em seu modelo cada estágio de investimento promove informação que reduz a incerteza do valor do projeto completado. Isto é mais aplicável a projetos de P&D para os quais o papel da aprendizagem é crítico.

Além de aplicações econômicas, a teoria das opções reais pode ser usada para a análise de problemas sócio-econômicos, tais como os problemas de casamento, suicídio e mudanças de opinião pública, conforme indicado no livro do Dixit e Pindyck (1994). Em um outro artigo (Dixit e Pindyck, 1995) são analisados os problemas de escolha de uma carreira profissional e do casamento. Nesta mesma linha existe um artigo sobre divórcio usando a teoria de opções reais (Muhtaseb *apud* Dias, 1996). Além do desenvolvimento teórico, a TOR vem sendo aplicada por várias empresas, como será visto a seguir.

3.5 Teoria das Opções Reais nas Empresas

Embora o tema “opções reais” venha recebendo, a cada dia, maior interesse por parte das empresas, não são muitos os artigos divulgados que apresentam sua utilização por parte das empresas, principalmente no Brasil. Em artigo recente, Saito *et al.* (2000) mostraram que a principal vantagem da metodologia da teoria das opções reais em relação à tradicional técnica

do fluxo de caixa descontado é que esta leva em conta as questões operacionais da indústria de petróleo. Os autores concluíram que a inclusão da flexibilidade gerencial (como técnicas de recuperação complementar de óleo) pode aumentar em até 25% o valor dos reservatórios, segundo a TOR. Outros trabalhos recentes incluem os de Medeiros (2001), que aplica a mesma teoria no mercado imobiliário residencial com enfoque na cidade do Rio de Janeiro, Teixeira *et al.* (2001), que avaliam as opções de expansão em projetos de petróleo utilizando a TOR e Brasil (2001), que faz uma avaliação de um negócio do setor de energia elétrica aplicando um modelo de opções reais.

Em entrevista à Nichols (1994), J. Lewent, CFO de uma das grandes empresas farmacêuticas dos EUA, a Merck & Co., Inc., declarou que a empresa usa a teoria das opções especialmente na análise de *joint ventures* para a pesquisa e desenvolvimento de novos produtos, afirmando inclusive que “*para mim, todos os tipos de decisões de negócios são opções*”. Em outro artigo, Kemma (1993) divide suas experiências na Shell ao analisar casos que envolviam as opções de *timing*, de crescimento e abandono em investimentos de extração de petróleo. A empresa internacional de consultoria administrativa, McKinsey Co, afirmou que tem usado modelos de precificação de opções em trabalhos para seus clientes, citando um exemplo de aplicação em P&D (Copeland *et al. apud* Newton e Pearson, 1994).

A experiência de Faulkner (1996) dentro da Eastman Kodak confirmou que o uso dos conceitos da teoria de precificação de opções (OPT – *option pricing theory*) traz valiosos discernimentos no processo de avaliação de P&D, descobrindo que a abordagem das opções frequentemente promove uma avaliação substancialmente mais elevada do que a abordagem do FCD. A experiência de Faulkner (1996) também revelou que o planejamento da tecnologia e a formulação da estratégia de P&D são aumentadas pela compreensão das implicações da teoria de precificação de opções.

Trigeorgis (1996) destaca outras empresas que têm considerado ou vêm adotando a teoria das opções na análise de seus projetos, como a RTZ Corporation e a Newmont Mining Corporation, na área de recursos naturais; a Digital Equipment Corporation e a Cray Research na área de informática; a Ford Motor Company e “diversas” empresas japonesas, na indústria automobilística.

Alguns exemplos de projetos que foram analisados com ajuda da moderna teoria das opções reais são destacados pelo mesmo autor: (a) a companhia de telecomunicações US West, em projetos de alta tecnologia como a fabricação de telefones celulares e *paggers* especiais; (b) a Digital Equipment Corporation usou essa teoria já no final dos anos 80 para construir uma

fábrica de semicondutores, o que mostrou que a fábrica valia mais do dobro do que era mostrado pelo FCD; e (c) apresenta detalhes de dois projetos da Merck and Co. que foram feitos com ajuda da teoria das opções, um deles sobre automação industrial, e o outro, mais interessante, sobre a aquisição, por US\$ 6 bilhões, da empresa Medco, que detinha registros detalhados de mais de 30 milhões de pacientes americanos, o que dava novas oportunidades (opções) para crescimento da empresa através do desenvolvimento de novos produtos para estes pacientes. Para Paula (2001) este foi o marco final no redesenho do negócio da empresa, levando a Merck a um novo ciclo de expansão e excelente desempenho.

A utilização da TOR não está ligada somente à busca por um número estático que reflita o valor de um investimento, mas, principalmente, à reformulação do pensamento estratégico por trás de muitas análises de investimento.

3.6 Os Vários Tipos de Opções Reais

Para que seja possível uma boa avaliação de um projeto de forma que possa maximizar seu retorno, faz-se necessário o conhecimento das oportunidades embutidas no mesmo, de tal forma que o administrador possa saber quando e qual será a melhor decisão a ser tomada. Passemos agora ao conhecimento dos vários tipos de opções possíveis para um dado projeto. As definições conceituais a serem apresentadas neste tópico foram extraídas de Trigeorgis (1993), entretanto, muitos outros artigos discorrem sobre as mesmas, alguns dando maior ênfase a certos tipos em relação a outros.

3.6.1 Opção de Deferir um Investimento

A posse de uma opção (*lease*) possibilita à administração deferir um investimento após um certo período, caso as condições sejam favoráveis. A administração poderia investir (I) (exercendo a opção de se extrair óleo de uma plataforma, por exemplo) somente se os preços do petróleo subirem suficientemente, mas poderia não comprometer o projeto, não realizando os investimentos, caso os preços caiam. A opção de deferimento é análoga a uma opção de compra americana no valor presente bruto do fluxo de caixa esperado do projeto completado (V), com preço de exercício sendo igual ao investimento requerido, I . Uma vez que investimentos iniciais implicam o sacrifício da opção de espera, o valor da perda desta opção é semelhante ao custo da oportunidade de um investimento adicional, justificando o investimento se o valor do fluxo de benefícios, V , atualmente supera o investimento inicial

por um prêmio substancial. Esta opção será considerada na aplicação do capítulo 5. A opção de “compra” do projeto, ou seja, opção de continuar com o projeto através da produção e comercialização, caso as condições sejam favoráveis, será comparada a uma opção de deferimento. No nosso caso, entretanto, esta opção será considerada europeia, uma vez que a decisão se dará no término no fim do período de pesquisas e testes.

3.6.2 Opção de Abandono Durante a Construção (*Time-to-build Option*)

Na maioria dos projetos reais, o investimento requerido não é incorrido de uma só vez. O atual estágio de investimento de capital como uma série de desembolsos (*outlays*) no tempo cria opções valiosas de abandono num dado estágio (ex.: não explorar uma reserva caso o preço do petróleo caia abaixo de um determinado valor). Assim, cada estágio (ex.: construção necessária de uma infraestrutura) pode ser visto como uma opção no valor dos custos de instalação (ex.: I) incorridos e que são requeridos para o prosseguimento dos estágios subsequentes, podendo, desta forma, ser avaliada similarmente às opções compostas. Esta opção é valiosa em todas indústrias intensivas de P&D, especialmente farmacêutica, de altíssima incerteza, indústrias de capital intensivo e de longo desenvolvimento, tais como as plantas geradoras de energia ou construções de larga escala etc. No capítulo 5 esta opção será importante na análise do valor que deverá ser adicionado ao projeto pelo fato deste possuir a possibilidade de abandonar o projeto caso os resultados não sejam promissores.

3.6.3 Opção de Expansão

Se os preços ou outras condições do mercado tornam-se mais favoráveis do que o esperado, os administradores podem acelerar a instalação do projeto ou expandir a escala de produção (em $x\%$) pelo investimento de um valor I_e . Isto é similar a uma opção de compra em que se adquire uma parte adicional ($x\%$) da escala básica do projeto, pagando I_e como preço de exercício. Dado um projeto inicial de escolha, a administração pode deliberadamente favorecer uma tecnologia mais cara para que se tenha a flexibilidade de se expandir a produção se, e quando for desejável. A opção de se expandir pode ser de importância estratégica, especialmente se isto capacita a empresa a capitalizar futuras opções de crescimento. Por exemplo, quando uma empresa compra uma terra não-desenvolvida, ou quando se constrói uma pequena planta numa nova localização geográfica (doméstica ou não) para se posicionar e se obter vantagem de um grande mercado, ela essencialmente instala uma opção de expansão/crescimento.

3.6.4 Opção de Contração

Se as condições do mercado estão mais fracas do que se esperava originalmente, a administração pode operar abaixo da capacidade ou ainda reduzir a escala de operações (em $c\%$), salvando parte do investimento planejado (Ic). Esta possibilidade de se diminuir as perdas é análoga a uma opção de venda de parte ($c\%$) da escala básica do projeto, com preço de exercício igual aos custos potenciais economizados (Ic). A opção de se contrair, assim como a de expandir, pode ser particularmente valiosa no caso da introdução de novos produtos em mercados incertos.

3.6.5 Opção de Parada das Operações (*Shut down*)

Na vida real, as empresas não têm que operar em cada e em todo período automaticamente. De fato, se os preços do produto são tais que os ganhos não são suficientes para cobrir os custos operacionais (ex.: manutenção), talvez seja melhor não operar temporariamente, especialmente se os custos de mudança (*switching*) entre os modos de operação e inatividade são relativamente pequenos. Se os preços aumentam suficientemente, as operações podem reiniciar. Assim, a operação em cada ano pode ser vista como uma opção de compra para se adquirir os ganhos daqueles anos (C) pelo pagamento da variável custos de operação Iv como preço de exercício.

3.6.6 Opção de Abandono

Se os preços declinam de forma sustentável ou a operação não é eficiente por alguma outra razão, a administração não tem que continuar incorrendo nos custos fixos. Pelo contrário, poderá ter uma opção valiosa de abandono permanente com economia de valor (ex.: valor de revenda de seus equipamentos ou outros ativos no mercado secundário). A opção de abandono pode ser avaliada como uma opção americana de venda no valor corrente do projeto (V) com preço de exercício igual à economia da venda dos ativos ou de sua melhor utilização (A). Naturalmente, ativos de propósitos mais gerais podem ter um valor de revenda (A) com opção de abandono mais valiosa do que aqueles ativos de propósitos especiais. Opções de abandono valiosas são geralmente encontradas em indústrias de capital intensivo, tais como aeronáutica, ferroviária, bem como na introdução de novos produtos em mercados incertos.

3.6.7 Opção de Mudança de Uso (ex.: *inputs* ou *outputs*)

Quando uma empresa tem a possibilidade de alterar seus *inputs* ou *outputs* em decorrência de alguma alteração, satisfatória ou não, do mercado devido à flutuação possível no tempo, a empresa tem uma opção valiosa de flexibilidade. Por esta tecnologia flexível a empresa deveria estar disposta a pagar um prêmio se comparado a uma alternativa rígida que não confere escolhas ou se estas são menores. Indubitavelmente, se a empresa pode, desta forma, desenvolver usos extras para seus ativos se comparado aos concorrentes, isto pode ser uma vantagem significativa. Geralmente, processos flexíveis podem ser alcançados não somente via tecnologia (ex.: construindo uma estrutura flexível que pode operar com vários tipos de energia), mas também pela manutenção de relacionamento com uma variedade de fornecedores, alterando o *mix* de mudança de seus preços. Políticas de subcontratação podem permitir flexibilidade adicional pela contração de escala de futuras operações a um menor custo no caso do desenvolvimento de condições não favoráveis do mercado. A flexibilidade de produto, que capacita a empresa a alterar seus *outputs* são mais valiosas em indústrias como a automobilística, eletrônica, de brinquedos ou farmacêuticas, onde a diferenciação e diversidade são importantes e/ou a demanda do produto é volátil. Em tais casos, pode ser mais valioso instalar uma capacidade mais flexível para se adquirir a habilidade de alterar o *mix* de produto ou escala de produção em resposta às mudanças de demanda do mercado.

3.6.8 Opções Corporativas de Crescimento

Geralmente muitos investimentos iniciais (ex: P&D, *leasing* de terras não aproveitadas ou uma região com reservas potenciais de petróleo, uma aquisição estratégica ou uma rede de informação tecnológica) podem ser vistos como pré-requisitos ou ligações em cadeia de projetos inter-relacionados. O valor destes projetos pode derivar não tanto pelo fluxo de caixa mensurável do projeto, mas pela abertura de futuras opções de crescimento (ex.: uma nova geração de produtos ou processos, reservas de petróleo, acesso a um novo mercado ou em expansão, fortalecimento das capacidades centrais ou posicionamento estratégico).

Uma oportunidade de investir em um novo produto de alta tecnologia, por exemplo, é análoga a uma opção de opções (uma composição de interprojetos). Apesar de um aparente valor presente líquido (VPL) negativo, a infraestrutura, a experiência e o potencial de produtos gerados durante o desenvolvimento da primeira geração de produtos podem servir como um impulso para o desenvolvimento de novos produtos a menores custos e maior qualidade, ou mesmo para a geração de novas aplicações em outras áreas. Entretanto, a menos que a

empresa faça o investimento inicial, gerações subsequentes ou outras aplicações não serão possíveis.

A apropriação de uma infraestrutura e da experiência ganha pode conceder à firma uma vantagem competitiva, que pode ainda ser reforçada se os efeitos da curva de aprendizagem estiverem presentes. Opções de crescimento são encontradas em toda infra-estrutura básica ou em indústrias estratégicas, especialmente de alta tecnologia, pesquisa e desenvolvimento, ou indústrias com produtos de múltiplas gerações ou aplicações (ex.: semi-condutores, computadores, farmacêutica), em operações multinacionais e aquisições estratégicas.

3.6.9 Interação Entre Opções

Esta dissertação não irá cobrir o efeito da interação entre opções, mas, para se compreender o conceito deste efeito, ele será descrito brevemente neste item.

Freqüentemente se reconhece e se avaliam diversos tipos de opções reais embutidas em um mesmo projeto. Geralmente seus valores são não aditivos e o cálculo do valor combinado pode ser complexo. Trigeorgis (1996) descreve este problema como “não trivial”. Kulatilaka (1993) afirma que o valor combinado da interação de opções pode ser maior ou menor do que a soma de seus valores individuais. O autor explica que o valor combinado é dependente dos tipos de opções, do grau de separação e do grau de estar *dentro do dinheiro*. Em alguns casos Trigeorgis (1996) descreve a interação entre opções como basicamente aditivas. Este é o caso quando as opções que estão interagindo são de tipos diferentes, por exemplo, de venda e de compra.

3.7 Opções Reais: Uma Decisão Estratégica

Uma importante área que merece mais atenção e onde as opções reais têm potencial de fazer uma diferença significativa é a competição e a estratégia. Vantagens competitivas sustentáveis resultantes de patentes, propriedade de tecnologias, posse de fontes de recursos naturais, capital administrativo, reputação ou nome da marca e poder de mercado, segundo Kester (1984), fortalecem as companhias com opções valiosas de crescimento através de futuros investimentos rentáveis e também a possibilitam responder efetivamente à adversidade inesperada ou oportunidades em um ambiente de mudanças tecnológicas e de extrema competição.

Um investimento estratégico requer uma seqüência de investimentos táticos em projetos que, caso fossem considerados de maneira isolada, produziriam um baixo retorno. Frequentemente o valor de tais projetos consiste de uma opção de se investir no futuro crescimento da firma. Por exemplo, o valor de um projeto piloto ou de um projeto de P&D não deriva tanto do fluxo de caixa esperado, mas da opção de se investir numa futura exploração comercial. Desta forma o método tradicional do FCD tem sérias dificuldades em analisar projetos quando as informações concernentes às decisões futuras de investimento não são conhecidas. A aplicação da teoria das opções, conforme retratam Smit e Ankum (1993), pode ser usada como uma ferramenta analítica para analisar tais projetos e dar suporte à operação global e investimentos estratégicos.

A melhor forma de se abordar uma avaliação, de acordo com Eccles, Lanes e Wilson (1999), é olhar a oportunidade como uma sucessão de opções de crescimento. Ao se fazer uma avaliação a questão correta a ser feita não é qual retorno vamos obter de nosso investimento nesta companhia, mas, quão valiosa é a opção de crescimento que será criada pelo investimento sucessivo na companhia. Respondendo a estas questões, naturalmente se conduzirá à questão estratégica chave: Qual estratégia de crescimento criará o maior valor? Quando administradores começam a pensar em termos de opções, eles vêem, segundo os autores, que o investimento é um sistema *atualizável*, devendo ser considerado como uma série de investimentos feitos em estágios.

Quando executivos criam uma certa estratégia eles projetam a si próprios e suas organizações no futuro, criando um caminho que vai de onde eles estão até onde eles querem estar alguns anos mais tarde. Entretanto, assim que se inicia neste caminho, começa-se a aprender as condições do negócio, as ações dos competidores, a qualidade do preparo da empresa, etc, sendo necessário se responder com flexibilidade ao que foi aprendido. Infelizmente, as ferramentas comumente utilizadas na análise de investimentos assumem que um predeterminado plano será seguido, sem considerar o desdobramento dos eventos, como é o caso do FCD. Para Luehrman (1998a), a melhor abordagem de avaliação deveria incorporar tanto a incerteza inerente no negócio quanto uma tomada de decisão ativa requerida para uma estratégia de sucesso.

As decisões estratégicas lidam com a “saúde” de longo prazo de uma empresa. Devido à sua importância, decisões estratégicas devem ser claramente ligadas entre si para se formar um padrão consistente, unificando e direcionando a organização. Este padrão de decisão, segundo Harrison e Pelletier (2000), reflete a estratégia da organização que, por definição, busca

efetivamente igualar ou alinhar a capacidade da organização com as oportunidades e ameaças do ambiente. Efetivamente os executivos não tomam muitas *grandes decisões*, eles se concentram nas mais importantes.

Em termos financeiros, “*uma estratégia de negócios é muito mais semelhante a uma série de opções do que a uma série de fluxos de caixa estático*”, ressaltam Harrison e Pelletier (2000). A execução de uma estratégia quase sempre envolve a tomada de uma seqüência de decisões maiores. Algumas decisões são tomadas imediatamente, enquanto outras são deliberadamente indeferidas, desta forma os administradores podem otimizar as circunstâncias envolvidas. Segundo Day e Fahey (1990), para que uma estratégia possa ser considerada vencedora esta deve criar “vantagem sustentável”. A atuação de uma administração estratégica que procure criar opções para a empresa, ao invés de “matá-las” (*kill option*), tende a criar esta “vantagem sustentável”, o que é muito valioso num ambiente de incertezas econômicas, políticas e técnicas, uma vez que torna a empresa mais flexível e capaz de atender às constantes mudanças do mercado.

Se um executivo se sente compelido em ir adiante em uma aquisição quando os números das análises tradicionais dizem para parar, Eccles, Lanes e Wilson (1999) recomendam que sejam analisadas as razões estratégicas tão rigorosamente quanto se puder. Pergunte: O que poderá dar errado? O que ocorrerá se minhas hipóteses sobre a tecnologia e preços estiverem erradas? Quais as mudanças regulatórias poderiam fazer com que o negócio falhasse e qual é esta possibilidade? Como os competidores poderiam reagir de tal forma a me prejudicar, ainda que se prejudiquem? Neste ponto, recomendam os autores, talvez seja necessário a introdução de uma técnica analítica mais sofisticada, como a *avaliação das opções reais*, que auxilia os administradores a quantificar o potencial não definido de benefícios futuros, contribuindo também na identificação das decisões a serem feitas no futuro, seu melhor caminho e o momento de fazê-las.

Um método qualitativo baseado no raciocínio das opções reais que pode ajudar a responder a perguntas deste tipo é proposto por McGrath e MacMillan (2000). Tal método é denominado STAR[®] (*Strategic Technology Assess Review*), devendo ser utilizado para avaliar projetos incertos que aproximam o valor da opção através de julgamentos por *scores* a uma série de afirmações. As variáveis analisadas são: o tamanho e sustentabilidade do fluxo de ganhos potenciais, acelerar ou adiar a adoção no mercado, custos de desenvolvimento, custos de comercialização e de acesso ao mercado, pontos fortes da empresa, respostas prováveis da concorrência, dependência de padrões e o grau de incerteza. Cada variável é medida

levantando-se questões que podem ser usadas para avaliar os riscos confrontando-se um projeto proposto com as soluções sugeridas, mesmo que isto exija o abandono ou reconfiguração do projeto. Para os autores, a maior vantagem desta abordagem é que “integra considerações estratégicas e tecnológicas”.

Os mesmos autores continuam dizendo que há, por parte dos administradores, um enorme desejo de ligar estes valores a um número específico. Eles encorajam aquelas pessoas com as quais trabalham a evitar esta “tentação”, por duas razões: primeiro, aquelas oportunidades que podem ser quantificadas com algum grau de segurança não são, por definição, incertas, podendo-se usar as abordagens tradicionais; segundo, e de alguma forma mais sutil, o valor real de um investimento em opções reais é idiossincrático, ou seja, depende grandemente da configuração das competências e recursos já pertencentes à empresa. Em outras palavras, o valor de uma empresa é uma função dos investimentos que uma empresa específica faz em suas capacidades.

Um exemplo interessante sobre o contraste entre o que os números revelam e a intuição da administração é apontado por Day e Fahey (1990). Em 1984, a Cone Drive Operations, um fabricante de engrenagens deparou-se com vários problemas: a pressão por ganhos era severa, os custos de inventários estavam em ascensão e os clientes estavam infelizes por causa dos freqüentes atrasos na entrega. A administração acreditava que um investimento de US\$ 2 milhões num sistema de manufatura integrada por computador poderia resolver o problema, mas a análise pelo fluxo de caixa mostrou que o investimento era inviável. Devido ao fato da companhia ter apenas US\$ 26 milhões em volume, seria difícil justificar um investimento de US\$ 2 milhões. A análise financeira falhou em refletir os ganhos intangíveis como melhor qualidade, menor *time-to-market*, processamento de uma ordem mais veloz e maior satisfação do cliente. Os administradores resolveram fazer o investimento de qualquer forma. Em consequência, novos negócios e a economia de trabalho pagaram o investimento em apenas um ano, e o mais importante, foi mantida a base de clientes.

Em uma interessante metáfora Luehrman (1998a) apresenta o seguinte: “administrar um portfólio de opções estratégicas é semelhante ao cultivo de uma plantação de tomates em um clima imprevisível. No começo da estação de colheita nenhum dos frutos cai na categoria ‘agora ou nunca’, mas, no último dia, todos caem nesta categoria porque o tempo de colheita expirou”. Uma interessante questão a ser levantada, segundo o mesmo autor, seria: “O que pode ser feito pelo agricultor, durante a estação, enquanto as condições climáticas estão mudando semana a semana?”. Um agricultor passivo visita a plantação apenas no último dia,

pega os tomates maduros e vai embora. Um agricultor ativo iria tomar outras medidas como a irrigação, fertilização e a capina para fazer com que os tomates intermediários crescessem e amadurecessem antes do término do tempo de colheita. É claro, o tempo é sempre uma questão, e nem todos os tomates irão chegar ao melhor estado. No entanto, espera-se que o administrador ativo obtenha muito mais rendimento do que o passivo.

Na terminologia de opções, agricultores ativos estão fazendo mais do que meramente tomar decisões (colher ou não colher), eles estão monitorando as opções e procurando maneiras de influenciar as variáveis subjacentes que determinam o valor de uma opção e, conseqüentemente, os resultados. Para Luehrman (1998a), a precificação de opções permite se estimar o valor de “toda a colheita”, ou até mesmo o valor de apenas um tomate.

Como pôde ser observado, muitas vezes as técnicas ditas “tradicionais” não são capazes de captar o valor dos efeitos “intangíveis”, o que pode alterar significativamente o valor de um projeto. O valor das flexibilidades (opções) com as quais as empresas estão lidando também são mais bem tratadas pela TOR. As decisões da empresa devem visar a sobrevivência a longo prazo através da criação de capacidades em um sistema sustentável. A análise estratégica dos investimentos pode ser melhor refletida através do uso da teoria das opções, uma vez que esta é capaz de lidar com a incerteza, irreversibilidade e possibilidade de adiamento de um projeto, captando o valor do aprendizado à medida em que novas informações são reveladas.

3.8 Opções Reais: Uma Decisão Disciplinada

Numa pesquisa feita com 75 executivos de 40 companhias diferentes, buscando-se responder às seguintes perguntas – “Como se deve pensar acerca de quanto se pagar por uma aquisição? E como saber quando abandoná-la?”, os pesquisadores Eccles, Lanes e Wilson (1999) concluíram que a combinação de um rigor analítico a um processo disciplinado rigoroso pode auxiliar os executivos a guiar a companhia na direção das aquisições corretas a um preço correto. Tal resultado aponta a TOR como uma solução viável na busca das respostas a estas perguntas, uma vez que, valendo-se de técnicas de precificação de opções financeiras, modelos matemáticos e também da correta avaliação de todas as opções embutidas no negócio, busca-se incorporar o valor da flexibilidade gerencial quando é feita uma análise de investimento.

Segundo Eccles, Lanes e Wilson (1999), mais da metade dos negócios realizados atualmente irá destruir valor para os acionistas da companhia compradora. Para eles isto se deve ao fato de muitas empresas “*negligenciarem a necessidade de um processo analítico disciplinado que garanta o triunfo do negócio, superando a emoção e o ego*”. Os autores continuam dizendo que tal disciplina é responsabilidade dos executivos e do corpo de diretores. Se as aquisições ou fusões, nos próximos dez anos, não criarem valores maiores para os acionistas se comparado aos últimos cem anos, é porque as companhias não criaram um processo sistemático que ponha estas simples lições em prática.

Neste sentido, Amram e Kulatilaka (1999) propõem que uma *decisão disciplinada* deve estar baseada em três componentes:

- A decisão é estruturada em termos das opções criadas;
- Todas as informações relevantes do valor e risco disponíveis no mercado financeiro são levadas em consideração;
- As transações do mercado financeiro são usadas para se adquirir opções ou, de outra forma, aliviar o risco quando for economicamente justificável.

A aplicação da disciplina de mercado muda a maneira dos administradores tomarem decisões, mudando a decisão em si. As opções aumentam o valor de se continuar um projeto porque protegem o ganho potencial total do investimento enquanto reduz a possibilidade de perdas. As companhias podem tirar as informações do mercado financeiro para medir o valor de suas opções (Amram e Kulatilaka, 1999).

Ainda que as decisões pareçam distantes do mercado financeiro, estas podem ser disciplinadas. Elas dependem da complexidade das decisões e da distância do mercado. Para Amram e Kulatilaka (1999), quando uma decisão está próxima ao mercado, ou seja, quando existe um paralelo entre as opções reais e as opções financeiras, estas avaliações podem ser feitas usando fórmulas padronizadas de precificação de opções como a equação do modelo de Black e Scholes (1973), por exemplo.

De sua experiência, Kemna (1993) também conceitualiza alguns passos que considera importantes e que devem ser levados em consideração no processo de tomada de decisões. São eles:

- Convencer a administração de que alguns propósitos contêm flexibilidade e que não podem ser avaliados pelo uso do FCD, mas sim pela TOR;

- Fazer uma distinção clara entre alternativas de investimentos e opções inseridas nestas alternativas, porque os administradores freqüentemente consideram opções como alternativas, o que conduz a más interpretações;
- Restringir o número de opções às mais importantes; mais opções conduzem a mais complexidade sem necessidade;
- Redefinir o problema de investimento no seguinte sentido: podem os custos de flexibilidade ser justificados pelos benefícios quando a flexibilidade alternativa é comparada à alternativa sem flexibilidade?;
- Focar o valor do projeto incluindo a(s) opção (ões) e apresentar uma análise de sensibilidade, especialmente para volatilidade.

O uso de uma disciplina para análise de investimentos tende a promover avaliações com menores distorções. A visão de um projeto de investimento como uma opção carrega esta disciplina, sendo capaz, portanto, de produzir resultados em cujos números estejam embutidos os valores das opções. A administração deve estar, portanto, atenta a tal fato, passando a enxergar os projetos com características de incerteza, irreversibilidade e *timing*, com a disciplina das opções.

Embora a TOR possa ser vista como uma decisão estratégica e disciplinada, apresenta algumas limitações.

3.9 Opções Reais: Suas Limitações

As ferramentas para se avaliar opções existem há cerca de apenas trinta anos e o conceito de opções reais é ainda mais novo. Não seria surpresa que a determinação do valor de uma opção real permaneça como uma ciência inexata. A aplicação da disciplina do mercado tem seus limites, os quais precisam ser cuidadosamente considerados ao se tomar uma decisão.

As limitações à aplicação da *decisão disciplinada*, conforme apontam Amran e Kulatilaka (1999), estão principalmente no:

- **Modelo do risco:** refere-se à diferença entre as respostas do modelo de avaliação e o modelo teoricamente correto;
- **Aproximações imperfeitas:** quando não se tem o preço do produto comercializado, aproxima-o pelo preço de um similar, a *twin security*;

- **Ausência de preços observáveis:** quando os preços não estão disponíveis no mercado, como é o caso da P&D;
- **Ausência de liquidez:** o volume comercializado é tão baixo que qualquer quantia comercializada pode alterar o preço;
- **Risco privado:** é o risco peculiar a uma companhia.

Por causa destas limitações, as respostas obtidas através da abordagem das opções reais podem divergir das melhores respostas teóricas. Apesar destas distorções, Amran e Kulatilaka (1999) crêem que a abordagem das opções reais conduz a melhores decisões do que as abordagens tradicionais. Além disto, a fronteira das opções reais continua a avançar rapidamente. Estes modelos estão se tornando mais sofisticados e as informações provenientes do mercado estão se tornando mais robustas. Estes limites, de outra forma, crescem pouco.

Por que mais companhias não têm adotado a abordagem das opções reais na tomada de decisões estratégicas? Amram e Kulatilaka (1999) acreditam que a abordagem tem sido lenta em se difundir no mundo dos negócios porque muito da discussão tem se centrado nas equações e modelos. A complexidade das ferramentas tem obscurecido o poder da idéia subjacente. O real valor das opções reais está não nos resultados de Black e Scholes ou outras fórmulas, mas na reformulação do pensamento dos executivos a respeito de investimento estratégico. Por prover uma introspecção objetiva da incerteza presente em todos os mercados, as opções reais capacitam os executivos a pensar mais clara e mais realisticamente acerca da complexidade e risco das decisões estratégicas.

Como afirma Dias (1996), *“tudo indica que a teoria das opções reais ainda será bastante desenvolvida, com novos métodos e modelos mais abrangentes, que deverão se beneficiar dos avanços de ferramentas matemáticas, como o cálculo estocástico e a teoria das equações diferenciais, já que as mesmas são usadas em áreas de interesse de vários ramos da ciência”*.

As opções reais existem em quase toda decisão de negócio e tendem a aparecer em várias formas. *“A maior parte do desafio de se considerar a abordagem das opções nas estratégias repousa na identificação da gama total de opções que se possui, separando-as umas das outras e decidindo-se qual é a de maior valor”* (Amram e Kulatilaka, 1999).

Segundo Kallberg e Laurin (1997), o interesse pelas opções reais tem sido principalmente acadêmico e implementações práticas têm sido limitadas. As razões, segundo os autores,

devem-se principalmente à complexidade matemática dos cálculos envolvidos e limitada compreensão de como usar as técnicas de avaliação e os resultados obtidos.

A matemática por trás das fórmulas de precificação de opções é complexa e é difícil se obter uma profunda compreensão das técnicas de avaliação. Esta é uma das maiores desvantagens comparada à técnica tradicional mais intuitiva. Também encontrar as corretas variáveis de entrada nas fórmulas de precificação pode ser difícil e especialmente encontrar a volatilidade apropriada para o projeto subjacente. Por exemplo, qual é a adequada *twin security* para um projeto específico? Pode ser conhecido que um projeto específico é arriscado, mas encontrar um ativo ou portfólio de ativos que seja correlacionado com o projeto e que seja negociado no mercado financeiro poderia ser bem difícil. Um outro problema com as técnicas de avaliação de opções é que a variabilidade passada de um ativo não é necessariamente um guia para a variabilidade futura, o que significa que técnicas de avaliação de opções podem falhar com mudanças repentinas e dramáticas (The Economist, *apud* Kallberg e Laurin, 1997).

Muitos administradores vêem os resultados provenientes da avaliação de opções como algo que surge de uma “caixa preta” (Faulkner, 1996). Judy Lewent, da companhia farmacêutica Merck, diz que é vital para o uso da abordagem das opções que os gerentes não vejam os modelos de avaliação de opções como uma “caixa preta” que ignora completamente a grande sabedoria da administração e que tenta mecanizar o processo de tomada de decisão. Esta visão da teoria das opções reais como sendo uma “estranha caixa preta” de difícil compreensão tem sido uma das maiores barreiras para aceitação da nova teoria de avaliação por opções (Nichols, 1994).

Hotchin e Dentskevich (*apud* Kallberg e Laurin, 1997) argumentam que embora haja modelos de avaliação de valores estratégicos (tais como opções de crescimento), elas são quase impossíveis de aplicar na prática uma vez que opções reais realmente estratégicas são muito vagas, dependendo em muitos casos da visão do administrador a respeito do que deve acontecer no futuro.

Uma conclusão importante, segundo Kallberg e Laurin (1997), com respeito à abordagem das opções reais é que é importante compreender que a “abordagem do pensamento das opções” é tão vulnerável a um mau uso quanto o é o tradicional VPL. A característica-chave da abordagem das opções são, segundo os autores, os futuros pontos de decisão, como por exemplo, os futuros pontos de decisão de abandono na opção de escalonamento (*time-to-build*) ou a decisão de lançar um produto melhorado na opção de crescimento. Estes futuros pontos devem ser considerados seriamente e administradores devem estar preparados para

abandonar um investimento se a resolução das incertezas indicar que o projeto não é promissor, dizem Kallberg e Laurin (1997). Isto parece ser uma difícil tarefa, uma vez que projetos tendem a desenvolver uma certa inércia (Faulkner, 1996). É importante, desta forma, que administradores compreendam tanto o potencial quanto as limitações ao usarem as técnicas de avaliação de opções.

Em um ambiente comercial instável e tão competitivo como o atual, as empresas devem se sofisticar na maneira como avaliam seus investimentos. Embora a TOR apresente certas limitações, ela deve ser encarada como uma opção promissora, capaz de auxiliar a administração a guiar o processo de tomada de decisão.

3.10 Considerações Finais

Como foi observado anteriormente, as “opções” (flexibilidades) estão presentes em quase toda decisão de investimento, sendo, portanto, de crucial importância uma cuidadosa análise destas opções, pois estas possuem valor que podem alterar a decisão de investimento.

Embora a TOR apresente limitações e ainda encontre barreiras à sua adoção, uma vez que muitas vezes a atenção tem sido focada na modelagem matemática dos métodos de precificação, esta pode ser vista como uma interessante “opção” no processo de análise da viabilidade de investimentos, uma vez que pode ser encarada como uma abordagem estratégica e disciplinada na análise de projetos.

No próximo capítulo será focada a TOR aplicada à análise de investimentos em projetos de P&D, buscando-se, no quinto capítulo, apresentar uma aplicação a um projeto real de forma a demonstrar a aplicabilidade em investimentos reais.

CAPÍTULO 4

A TEORIA DAS OPÇÕES REAIS APLICADA À ANÁLISE DE INVESTIMENTOS EM PROJETOS DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO (P&D)

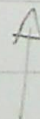
4.1 Considerações Iniciais

Como foi visto no item 3.4, muitas são as aplicações possíveis para a teoria das opções reais, indo desde a escolha de uma profissão até a transferência de uma planta fabril de um país para outro. Neste capítulo será feito, em particular, um estudo sobre a teoria das opções reais aplicada à análise de investimentos em projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D). Sua utilização para este tipo de análise foi apontada pela primeira vez por Stewart Myers (1984), do MIT Sloan School, observando o autor que “o FCD não auxilia a todas as pesquisas e desenvolvimentos puros. O valor de projetos de P&D são quase todos opções”. A partir de então têm surgido vários artigos enfocando o assunto.

Tendo em vista a crescente demanda pela teoria das opções reais, procurar-se-á, neste capítulo, fazer uma revisão bibliográfica de alguns dos principais trabalhos que têm encarado um investimento em P&D como uma opção, apresentando-se alguns modelos abordados pela literatura. Será abordado também como funciona o processo de pesquisa e desenvolvimento (P&D) e o efeito do risco e da incerteza neste tipo de investimento. A partir desta revisão da literatura, far-se-á, no próximo capítulo, a análise de um investimento real em P&D, utilizando-se um modelo proposto pela literatura, procurando-se diminuir, desta forma, a distância entre a teoria e a prática. Passemos agora a abordar como está funcionando o panorama para as decisões de investimentos.

4.2 Um Novo Cenário Para as Decisões

Segundo Amran e Kulatilaka (2000), “numa *era anterior*, a maioria das decisões de investimentos corporativos era feita usando a análise do fluxo de caixa descontado (FCD), a ferramenta correta para um problema em questão”. Os autores continuam dizendo que “os analistas tinham um razoável grau de confiança em suas previsões para o futuro e, mais do



que isto, eles podiam operar com um certo grau de segurança, pois, uma vez que o projeto fosse aceito, a empresa iria tentar fazer com que tudo ocorresse de acordo com o planejado”. Segundo os mesmos autores, “isto não significava que o mundo estava sem incertezas, de outra forma, a maioria dos mercados era estável e previsível e havia rara necessidade para uma mudança repentina na estratégia da corporação. Quando os riscos em um projeto eram maiores do que aqueles incorridos no curso normal do negócio, a prática mais comum era elevar a taxa de desconto”.

Entretanto, as mudanças que estão se processando na natureza da competição e a pressão crescente da globalização tem feito do investimento o fator mais importante da vantagem competitiva. O objetivo de uma empresa deve ser sempre a criação de um sistema no qual os gerentes irão fazer investimentos que maximizem o valor a longo prazo de suas companhias (Porter, 1992), sendo que as vantagens competitivas podem se apresentar em dois tipos básicos: menores custos que os rivais e habilidade de diferenciação (Porter, 1991). Esta habilidade de diferenciação pode ser conseguida através da busca de um sistema eficaz e flexível que possa ser capaz de atender à demanda freqüente por inovações. Desta forma uma empresa terá mais chances de sobreviver no mercado, uma vez que a flexibilidade cria opções e, num ambiente de incertezas (econômicas, políticas e técnicas) estas são muito valiosas.

Para aplicação da teoria é necessário, entretanto, o conhecimento de algumas das premissas básicas para sua utilização. Ela não pode ser aplicada na análise de todo e qualquer investimento. Segundo Vonnegut (2000), na ausência destas premissas, os resultados da TOR reverterem-se àqueles da teoria do Valor Presente Líquido Esperado. São elas: a irreversibilidade do investimento; a opção de esperar ao invés de ser forçado a investir no momento ou jamais investir; e a incerteza. As duas primeiras são os parâmetros principais da TOR. A incerteza é assumida existir no contexto de qualquer tomada de decisão de investimento real, mas quanto maior é a incerteza, os resultados da TOR serão mais acentuados.

O ambiente de extrema competição em que as empresas estão inseridas faz com estas busquem rápida adaptação às mudanças, procurando investir em projetos que venham a criar opções para as corporações, ao invés de “matá-las”, tornando-as mais flexíveis. O uso estático das técnicas tradicionais de avaliação de investimentos, principalmente o Fluxo de Caixa Descontado (FCD) e suas técnicas, têm sofrido duras críticas, uma vez que não têm sido capazes de captar o valor real de muitos projetos. Tal fato tem levado muitos práticos e acadêmicos a apontarem a procura por métodos mais sofisticados de avaliação de

investimentos que sejam capazes de lidar com a incerteza, a irreversibilidade e com a aprendizagem. A Teoria das Opções Reais (TOR), embora em seu estado de desenvolvimento e consolidação, surge como uma “opção” promissora para lidar com estes fatores, podendo ser utilizada em vários setores. Neste capítulo será abordado, entretanto, especificamente a TOR aplicada à P&D.

4.3 Opções Reais: Uma Tendência

Da perspectiva financeira, análise de cenários e análise por árvore de decisão ainda são os métodos mais freqüentemente utilizados para avaliação de projetos de P&D. Ambos os métodos permitem uma estimação do risco na avaliação de projetos pela simplificação do problema complexo de retornos de projetos arriscados, destacam Perlitz, Peske e Schrank (1999).

Nos anos recentes, entretanto, o tão falado método das “Opções Reais” tem ganhado crescente atenção na teoria financeira e administração da inovação. Segundo Perlitz, Peske e Schrank (1999), a aplicação da abordagem das opções reais no campo da P&D tem freqüentemente sido muito pragmática, o que tem permitido várias aplicações práticas da técnica em consultorias e negócios, como no caso da empresa internacional de consultoria administrativa, McKinsey Co, afirmando esta que tem usado modelos de precificação de opções em trabalhos para seus clientes, citando um exemplo de aplicação em P&D (Copeland *et al. apud* Newton e Pearson, 1994).

A regra do valor presente líquido (VPL) é agora amplamente reconhecida como um método que conduz a uma decisão de investimento sub-ótima quando parte dos custos de investimento são “afundados” (*sunk costs*) e a empresa tem alguma ponderação acerca do momento certo de investimento (*timing*). Em contraste, a teoria das opções reais é explicitamente baseada na idéia de que a maioria dos projetos de investimentos carrega uma séria de ações alternativas. Estas ações alternativas são similares a opções financeiras no sentido de que poderão ser exercidas caso administração creia ser adequado. Desta forma, conforme ressaltam Dixit e Pindyck (1994), “a habilidade de adiar um investimento irreversível pode afetar profundamente a decisão de investir”.

Os extraordinários prêmios que estão sendo pagos por ações de tecnologia têm, por exemplo, levado muitos a perguntarem se os métodos tradicionais de avaliação não estão obsoletos. Coincidentemente, ao mesmo tempo pensadores de negócios estão dando muito mais atenção

ao que tem sido chamado de “opções reais” (Amram e Kulatilaka; Trigeorgis *apud* Boer, 2000). O método das opções reais é freqüentemente referido como o método que irá revolucionar a análise de investimentos (Ekern, 1988) e existe evidência substancial de que P&D e administração da inovação são áreas-chave para a aplicação da abordagem (Perlitz, Peske e Schrank, 1999).

Uma tendência emergente na avaliação de projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) é o uso da abordagem de opções, a qual permite uma avaliação mais flexível de futuras oportunidades de crescimento em todo o processo. A abordagem das opções é mais apropriada num mundo de incerteza porque vê o projeto como um investimento inicial que cria oportunidades comerciais futuras que serão empreendidas somente se a fase inicial do projeto de P&D obtiver sucesso. A avaliação de projetos de P&D é freqüentemente complexa devido às incertezas substanciais em diferentes fases do projeto, incluindo a fase de P&D e de comercialização (Herath e Park, 1999).

Para Perlitz, Peske e Schrank (1999), deveria ficar obvio que a abordagem da TOR representa um caminho para avaliar P&D que irá ganhar mais importância no futuro, embora seja um caminho difícil para pessoas trabalhando na prática. Os autores continuam dizendo que o método das Opções Reais possui enorme potencial para aplicação em avaliação de projetos de P&D e ainda mais para a avaliação de aquisições relacionadas à tecnologia. Entretanto, um processo de padronização e trabalhos empíricos adicionais devem ser buscados para garantir sua aplicabilidade prática.

A falta de evidência empírica que mostre a aplicabilidade prática parece efetivamente inibir sua adoção na prática. A avaliação das opções reais tem sido testada empiricamente em poucos artigos publicados (Seppä e Laamanen, 2000). Para os autores, mais evidências empíricas são claramente necessárias para promover a validação da utilização da metodologia das opções financeiras para a análise das oportunidades de investimentos.

Newton e Pearson, ainda no ano de 1994, disseram que “infelizmente não existem publicações com dados numéricos verificando a utilidade da OPT aplicada a projetos de P&D”. Os mesmos autores apontam em seu artigo a superioridade da OPT (*Option Pricing Theory*) em relação às técnicas convencionais de avaliação de P&D e demonstram a possibilidade de adotar a OPT como uma extensão das técnicas atuais, particularmente onde tentativas estejam sendo feitas para se determinar mais acuradamente os resultados possíveis de programas de P&D.

Geralmente é difícil justificar projetos de P&D através do simples uso de métodos tradicionais, conseqüentemente, as empresas tendem a sub-investir em P&D. A abordagem das opções supre as falhas do critério do VPL quando aplicado a projetos que têm altos níveis de incerteza, dizem Herath e Park (1999). Os autores sugerem que pesquisas futuras deveriam ser dirigidas para a aplicação das idéias da abordagem das opções para avaliar projetos reais em P&D do tipo de engenharia, para auxiliar a preencher a lacuna que existe entre a teoria e a prática.

A experiência de Faulkner (1996) dentro da Eastman Kodak, por exemplo, confirmou que o uso dos conceitos da teoria de precificação de opções (OPT) traz valiosos discernimentos no processo de avaliação de P&D, descobrindo que a abordagem das opções freqüentemente promove uma avaliação substancialmente mais elevada do que a abordagem do FCD. O pessoal da Eastman Kodak aprendeu que o planejamento da tecnologia e a formulação da estratégia de P&D são aumentadas pela compreensão das implicações da teoria de precificação de opções.

É claro que os administradores sempre compreenderam suas opções sob a mudança das circunstâncias e concordam que uma grande porção de sua habilidade tática era reconhecer e avaliar as opções disponíveis, mas eles faziam isto intuitivamente, baseados na experiência e conhecimento de mercados e da tecnologia (Trigeorgis *apud* Boer, 2000). A teoria das opções reais está ganhando atenção porque capta o valor da *flexibilidade administrativa* de maneira que o modelo do FCD, sozinho, não pode.

A avaliação de investimentos em P&D é um tópico crucial na administração de P&D. Alta incerteza e enorme pressão por inovação na indústria de P&D forçam o uso de instrumentos sofisticados que auxiliam a avaliar as chances e riscos dos projetos de P&D, tanto como escolher os melhores (Perlitz, Peske e Schrank, 1999). Uma vez que as incertezas do mercado e tecnológicas mudam as expectativas com relação à viabilidade de muitos novos produtos, o valor dos projetos é freqüentemente ajustado durante os estágios de P&D. A captação dos ajustes das expectativas tem uma opção valiosa que pode diferir significativamente do valor presente líquido para projetos de P&D, dizem Perlitz, Peske e Schrank (1999).

É evidente, entretanto, que a rica discussão da aplicação das opções reais que tem lugar na economia financeira não tem sido completamente transferida para os problemas relacionados a P&D. Perlitz, Peske e Schrank (1999) continuam dizendo que os benefícios potenciais, bem como os problemas metodológicos da aplicação da teoria de precificação de opções para avaliação de projetos de P&D, precisam de considerações adicionais.

Vejamos agora as críticas sofridas pelas técnicas tradicionais quando aplicadas na análise da viabilidade de projetos de P&D.

4.4 As Críticas às Técnicas Convencionais Aplicadas à P&D

Apesar do primeiro trabalho a sugerir o uso da TOR aplicada a P&D ter surgido somente em 1984 (Myers, 1984), já no começo da década de oitenta surgiram vários artigos atacando o uso estático do fluxo de caixa descontado (FCD) e suas variantes, como veremos a seguir.

Mechlin e Berg (1980) observaram que algumas pessoas ligadas à pesquisa referiam-se ao ROI (*Return on Investment*) como significando na verdade “*Restraint On Innovation*”, ou seja, Restrição à Inovação. Os autores citam exemplos onde as análises do ROI/FCD não lidavam adequadamente com a incerteza e falhavam em captar o valor de reviravoltas inesperadas. Naj (*apud* Faulkner, 1996) chega a afirmar que foi esta a causa das empresas americanas estarem em desvantagem em relação às empresas japonesas.

Em 1980 Hayes e Abernathy documentaram um declínio nos gastos em P&D nos EUA, culpando as análises do ROI/FCD como o um fator contribuinte no que eles viam como uma falha da administração que ameaçava a saúde de longo-prazo da indústria dos EUA.

Os argumentos de Hayes e Abernathy foram estendidos e reforçados por Hayes e Garvin (1982). Eles observaram que a proporção de companhias que usava o FCD aumentara de 19% em 1959 para 94% em 1975 e que, no mesmo período, os gastos em P&D e investimento de capital diminuíram. Os autores sugerem que esta diminuição foi uma consequência do mau uso das técnicas do FCD. Exemplos deste mau uso incluem: altas taxas de vedação (*hurdle rates*), falhas ao tratar uma série de investimentos separadamente, assumem que investimentos podem ser adiados sem outras penalidades além daquela embutida pela taxa de desconto.

A avaliação do risco onde uma única taxa de desconto é tipicamente aplicada para todo negócio, mas cujo real nível de risco pode variar significativamente nas diferentes fases (pesquisa, desenvolvimento, comercialização), foi focada por Hodder e Riggs (1985). Os autores usaram um exemplo para demonstrar como isto pode resultar numa tendência contra investimentos em P&D.

Um exemplo de investimentos em CIM (*Computer Integrated Manufacturing*) foi usado por Kaplan (1986), observando que técnicas do FCD tipicamente falham em captar o valor dos “benefícios intangíveis” como maior flexibilidade e aprendizagem mais rápida. Kaplan

assinala que uma decisão de negligenciar os “intangíveis” é, realmente, uma decisão de avaliá-los com valor nulo.

Mitchell e Hamilton (1988) dizem que o uso de critérios tais como o FCD e ROI está freqüentemente aborrecendo profundamente a comunidade de pesquisa. Não porque seja difícil gerar “pesados” números para os retornos, mas porque o amplo senso da maioria das análises de investimento discrimina, sem razão, programas mais arriscados e de longo-prazo, muitos dos quais poderiam trazer os maiores benefícios para a corporação.

As críticas à utilização dos métodos tradicionais na avaliação de projetos de P&D não se restringiram somente à década de 80. No decênio seguinte outros trabalhos abordaram o assunto, como o de Lint e Pennings (1998), dizendo inclusive que “os métodos do fluxo de caixa descontado (FCD) para a tomada de decisões de investimentos em projetos de P&D não podem captar corretamente o valor da opção de P&D”. Segundo os autores, uma vez que as incertezas do mercado e tecnológicas mudam as expectativas com relação à viabilidade de muitos novos produtos, o valor dos projetos é freqüentemente ajustado durante os estágios de P&D. A captação dos ajustes das expectativas tem uma opção valorosa que pode diferir significativamente do Valor Presente Líquido para projetos de P&D.

“A abordagem do pensamento das opções para projetos de P&D está conceitualmente muito mais próxima da abordagem usada por muitas companhias de sucesso japonesas do que o pensamento do FCD”, diz Faulkner (1996). O *Wall Street Journal* observou que o uso de “rígidas equações e modelos”, que são características da abordagem do FCD, colocou os EUA em desvantagem em relação aos japoneses no início dos processos de inovação (Naj *apud* Faulkner, 1996). As companhias japonesas são freqüentemente descritas como vendo crescimento e ganho de mercado como fatores mais importantes do que o retorno do investimento. Existe um senso comum dentro da comunidade de P&D de que quaisquer que sejam os méritos do ROI ou estruturas de orçamento de capital similares para outros negócios, sua aplicação para um grande número de importantes situações de P&D é aparentemente inexpugnável, apesar de não ser um critério de seleção adequado (Faulkner, 1996).

Métodos financeiros convencionais, usando estimativas de fluxo de caixa futuro, falham em dar um valor numérico a uma escolha, mantida aberta por programas de P&D, investir (ou não) mais tarde em novas áreas de tecnologia. Apesar da Administração estar atenta a esta falha de se dar um valor monetário à flexibilidade conseguida, poderia existir uma clara vantagem de uma nova abordagem financeira que pudesse adequadamente captar o valor das

opções criadas pelos programas. Uma forte candidata para esta consideração é, segundo Newton e Pearson (1994), a Teoria de Precificação de Opções.

Trabalhos como os citados anteriormente despertaram ainda mais a curiosidade e o interesse por esta “nova visão”, levando acadêmicos e empresas a buscarem ou aperfeiçoarem modelos para avaliação de projetos de pesquisa e desenvolvimento, vistos como opções. Este desenvolvimento teve passos mais largos na década de noventa, com a divulgação de trabalhos ressaltando o “poder” da TOR em relação à teoria tradicional. Alguns destes trabalhos chegaram a propor alguns métodos, muitos dos quais são, na realidade, variações e adaptações dos consolidados métodos de Black e Scholes (1973) e do método Binomial, proposto por Cox, Ross e Rubinstein (1979).

Como um dos objetivos do presente trabalho é a aplicação da teoria das opções reais em um caso prático de P&D, torna-se necessário, todavia, entender-se porque um projeto de P&D pode ser visto como uma opção e, então, avaliá-lo com as ferramentas das opções financeiras ou adaptações. Isto é feito a seguir.

4.5 A Organização da P&D

Neste item será abordado: como é a estrutura do processo de P&D; os objetivos da P&D; o motivo de um processo de P&D poder ser encarado como uma opção; a comparação entre investimento, opções e opções de P&D e o investimento em capacidade como criação de valor.

4.5.1 A Estrutura do Processo de P&D

Investimentos em P&D não são feitos na expectativa de resultados imediatos, mas sim, têm a esperança de criar oportunidades de investimentos futuros que serão rentáveis. Desta forma, os projetos de P&D deveriam ser vistos como séries de decisões seqüenciais envolvendo a fase de P&D e a fase de comercialização com diferentes riscos e incertezas (Morris, Teisberg e Kolbe, 1991), riscos e incertezas que venham a ser diminuídos na medida em que o projeto prossegue.

Desta forma, projetos de P&D devem ser vistos como decisões seqüenciais, com a pesquisa no primeiro estágio e a futura comercialização ou decisões de implementação como estágios subseqüentes (ver figura 4.1).

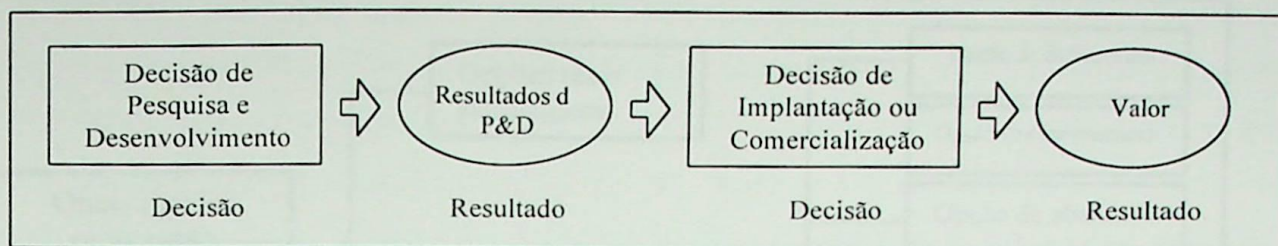


Fig. 4.1 – Projeto de P&D visto como uma sequência de decisões e resultados
(Fonte: Morris, Teisberg e Kolbe, 1991).

A partir da perspectiva das opções, a seqüência da avaliação tem uma estrutura muito específica (Amran e Kulatilaka, 2000). O primeiro estágio da exploração do investimento adquire a opção de continuar com o segundo estágio de desenvolvimento, e assim por diante. Isto é conhecido como uma estrutura de “opção composta”. Quando visto como parte de uma seqüência de opções, cada estágio pode ser visto como uma opção de compra no valor da continuação com a exploração, um valor que inclui o valor de todas as opções futuras. Existe uma solução quantitativa para avaliar opções compostas que administradores podem usar para responder duas questões:

- Valor: depois de se considerar o exercício ótimo de todas as opções, o valor desta propriedade é maior do que o montante necessário para adquirí-las?
- Exercício ótimo: dado o que conhecemos agora, a melhor estratégia é continuar, abandonar ou adiar?

Segundo Perlitz, Peske e Schrank (1999), se os resultados da fase de pesquisa não correspondem às expectativas, o projeto pode, por exemplo, simplesmente parar, evitando perdas que se realizariam pela continuação do investimento no projeto. Existe, entretanto, um número de outras possibilidades de reagir às mudanças circunstanciais. O projeto pode ser aprimorado até o ponto de preocupação de seu escopo (Kemna, 1993), parar e esperar pela chegada de novas informações (McDonald e Siegel, 1986; Kester, 1984) ou o escopo do projeto pode ser alterado (Trigeorgis, 1993). Existem várias maneiras de se reagir à chegada de novas informações (ver fig. 4.2 – opções reais operacionais).

A categorização e o tratamento quantitativo rígido destas diferentes possibilidades de reação, segundo Perlitz, Peske e Schrank (1999), são a preocupação central da pesquisa das opções reais.

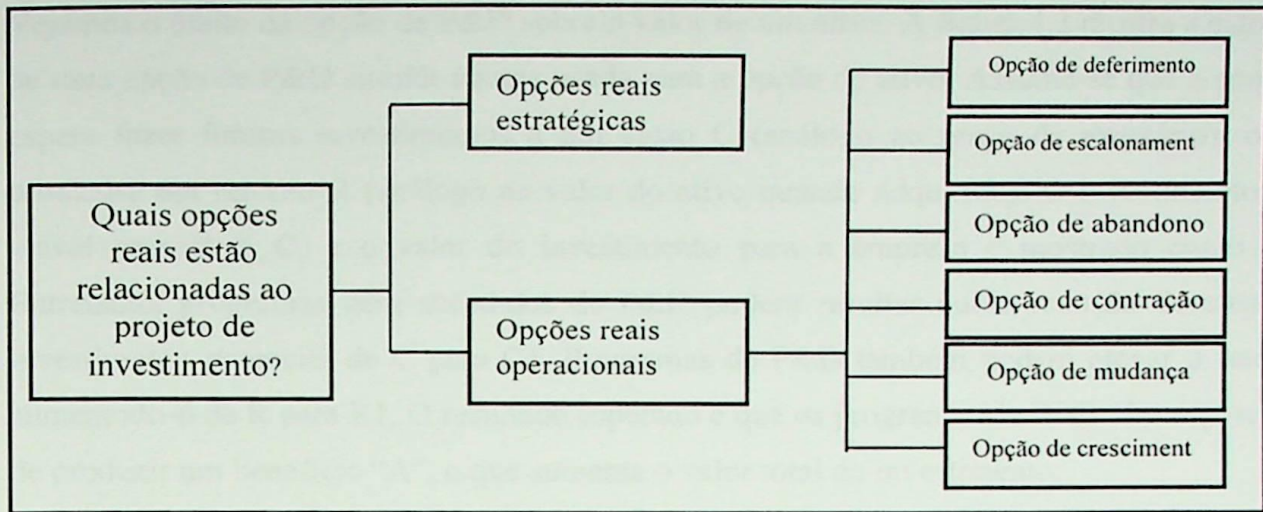


Figura. 4.2 – Quais opções estão relacionadas a um projeto de investimento
Fonte: (Perlitz, Peske e Schrank, 1999).

Desta forma, a primeira questão a ser levantada na análise de um investimento é: quais são as opções relacionadas a um projeto de investimento? Um projeto de investimento pode incluir várias opções ao mesmo tempo, as quais podem ter efeito umas sobre as outras. Caberá à administração, portanto, estar atenta às opções presentes nos projetos, sabendo tirar proveito de cada uma delas da melhor forma possível. É importante também que se saiba distinguir alternativas de investimentos de opções embutidas. As primeiras são, por exemplo, a escolha entre escolher um produto A ou B, a segunda, são as opções presentes em cada alternativa.

4.5.2 O Objetivo da P&D

Segundo Morris, Teisberg e Kolbe (1991), o propósito de projetos de P&D é aumentar as receitas futuras ou diminuir custos futuros. Desta forma, esforços de P&D deveriam ser considerados como parte da estratégia de longo-prazo da empresa, ao invés de projetos isolados. Os ganhos potenciais de projetos subseqüentes que sejam possíveis pela pesquisa devem ser avaliados ao se determinar o valor da pesquisa empreendida.

Opções de P&D têm uma vantagem muito importante sobre as opções de ativos. Segundo Mitchell e Hamilton (1988), a compra de uma opção de ativo não tem efeito direto no preço de exercício ou no preço futuro do ativo, enquanto “o maior propósito da opção de P&D é influenciar favoravelmente o investimento futuro, quer pela diminuição de custos ou pela elevação dos retornos”, desta forma, poderíamos dizer que uma opção de P&D é mais valiosa do que uma opção de ativos, uma vez que é possível atuar em seu valor futuro.

Vejamos o efeito da opção de P&D sobre o valor de um ativo. A figura 4.3 mostra a estrutura de uma opção de P&D similar àquela usada para a opção de ativo. Assume-se que a empresa espera fazer futuros investimentos a um custo C (análogo ao preço de exercício), o que produzirá um retorno R (análogo ao valor do ativo quando adquirido). O investimento será viável para $R > C$, e o valor do investimento para a empresa é mostrado como “B”. Entretanto, programas bem sucedidos de P&D podem resultar numa redução de custo do investimento potencial de C para $C1$. Programas de P&D também podem elevar o retorno, aumentado-o de R para $R1$. O resultado esperado é que os programas de P&D têm o potencial de produzir um benefício “A”, o que aumenta o valor total do investimento.

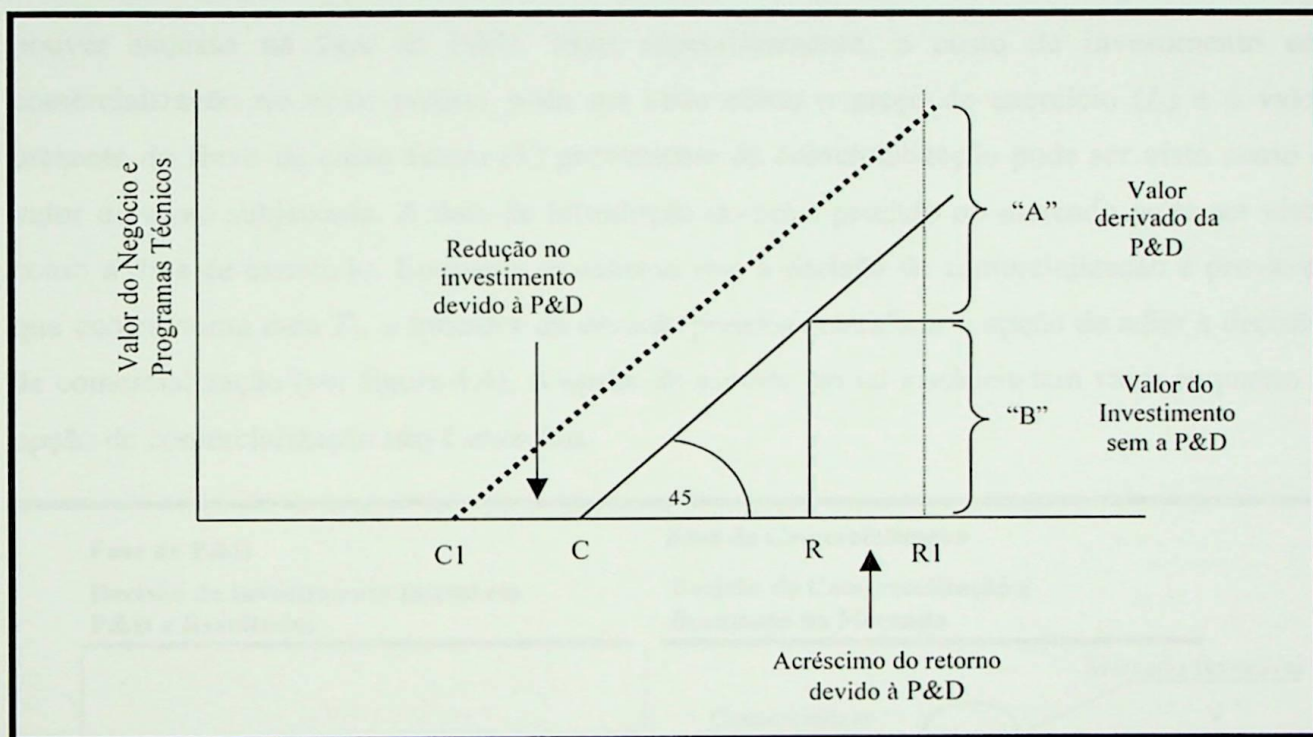


Fig. 4.3 – Impacto da opção de P&D em futuros investimentos (Fonte: Mitchell e Hamilton, 1988)

Quando se decide investir certa quantia em P&D, o que realmente procura-se avaliar são as oportunidades (Luehrman, 1997). Para o autor, oportunidades são diferentes de *assets-in-place* porque quem toma a decisão age depois de estar resolvida a incerteza, ao invés de tomar a decisão e então entender o que acontece. Luehrman conclui que a abordagem das opções é mais adequada para avaliar oportunidades.

4.5.3 O Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento Como Uma Opção

A avaliação de um projeto através da teoria das opções reais vê o projeto como uma opção que pode ser exercida ou não, no futuro, dependendo das condições serem favoráveis ou não.

Por exemplo, no caso de uma opção financeira paga-se um prêmio para se ter o direito, mas não a obrigação, de exercê-la até a data de vencimento (opção americana) ou na data de vencimento (opção européia). Já no caso de um projeto de pesquisa e desenvolvimento, por exemplo, este é visto como uma opção, para a qual foi pago um certo prêmio (o investimento em pesquisa) numa fase inicial. Caso o projeto pareça promissor ao final desta fase (data de vencimento), ele será exercido pagando-se o valor do investimento em produção e comercialização.

Baseado nesta analogia, segundo Herath e Park (1999), um investimento em P&D pode ser visto como um custo (I_0) de uma opção real na qual o projeto comercial prossegue somente se houver sucesso na fase de P&D. Mais especificamente, o custo de investimento em comercialização no novo projeto pode ser visto como o preço de exercício (I_c) e o valor presente do fluxo de caixa futuro (V) proveniente da comercialização pode ser visto como o valor do ativo subjacente. A data de introdução do novo produto no mercado pode ser vista como a data de exercício. Enquanto assume-se que a decisão de comercialização é provável que ocorra numa data T_1 , o tomador da decisão poderia considerar a opção de adiar a decisão de comercialização (ver figura 4.4). A opção de esperar em tal instância tem valor enquanto a opção de comercialização não é exercida.

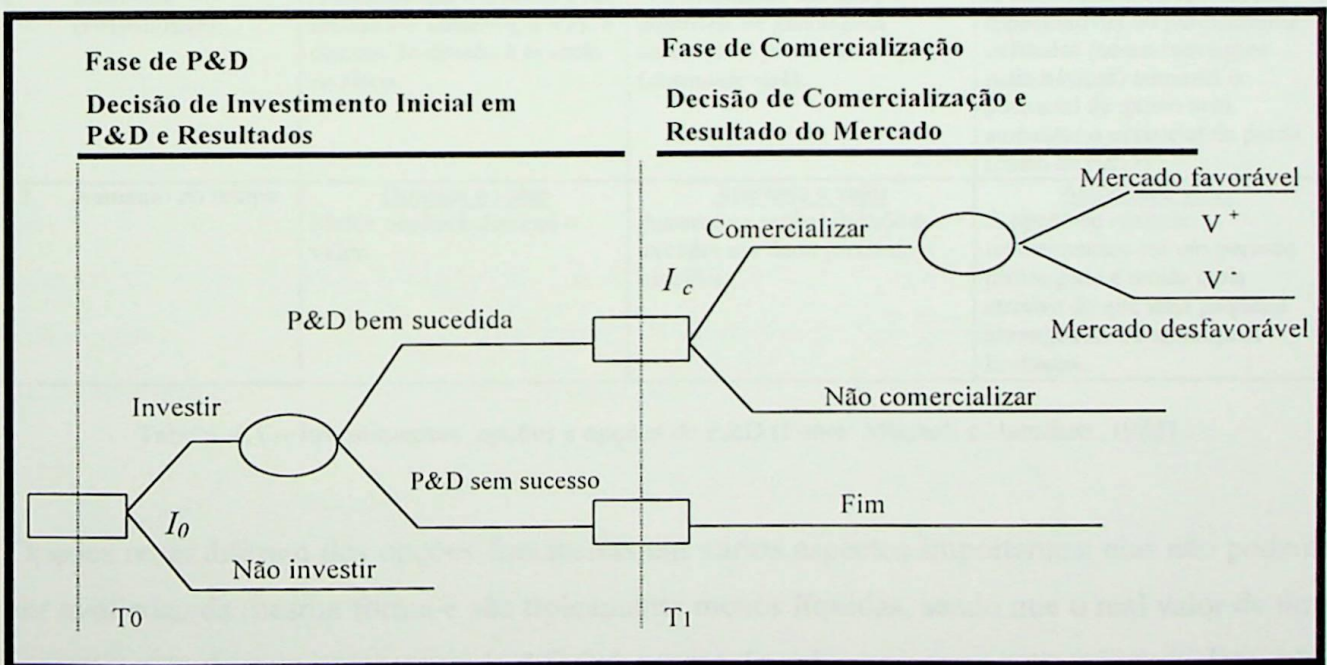


Fig. 4.4 – Árvore de decisão típica para processos de investimentos seqüenciais em P&D (Fonte: Herath e Park, 1999)

Kester (1984) já argumentava que investimentos que criam possibilidades de crescimento para a empresa são análogos à opções de compra. Esta idéia também foi compartilhada por Morris *et al* (1991), Dixit e Pindyck (1995), entre outros, no sentido de que uma opção de compra

cria oportunidades futuras (tais como desenvolvimento de novas linhas de produtos ou melhoria da eficiência) sem comprometer a empresa com o investimento total. É este ponto que causa as diferenças entre as abordagens tradicionais e a da teoria das opções reais, uma vez que a perda fica limitada ao montante investido, o potencial de ganho é ilimitado, e quanto maior for a incerteza comercial, maior será o valor do projeto.

Passemos agora à compreensão do funcionamento do processo de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D).

4.5.4 Comparação entre Investimento, Opções e Opções de P&D

A tabela 4.1 ilustra as diferenças entre opções e investimentos e sugere alguns dos paralelos diretos entre opções de P&D e opções de ativos.

FATOR	INVESTIMENTO	OPÇÃO DE COMPRA (<i>call option</i>)	OPÇÃO DE P&D
1. <i>Downside risk</i>	Risco substancial. Pode perder todo o investimento.	A <i>call</i> expira fora-do-dinheiro, Não exercer a opção e perder o custo da opção.	A empresa não faz o maior investimento – perde o custo do projeto de P&D (pode ter ganhado valiosos discernimentos para futuras P&D e outras oportunidades).
2. Aumento da Incerteza (volatilidade)	<u>Diminui o valor</u> À medida que a incerteza dos resultados aumenta, o VPL é diminuído devido à aversão ao risco.	<u>Aumenta o valor</u> A volatilidade aumenta o potencial de ganho sem aumentar o potencial de perda (<i>downside risk</i>).	<u>Aumenta o valor</u> A ampla gama de aplicações especulativas ou parcialmente definidas (como inovações mais básicas) aumenta o potencial de ganho sem aumentar o potencial de perda (custo de P&D).
3. Aumento do tempo	<u>Diminui o valor</u> Maior <i>payback</i> diminui o valor.	<u>Aumenta o valor</u> Aumenta a probabilidade de exceder um dado preço de exercício.	<u>Aumenta o valor</u> A opção de realizar investimentos em um período prolongado é muito mais atrativa do que uma pequena abrangência ou aplicações limitadas.

Tabela 4.1 – Investimentos, opções e opções de P&D (Fonte: Mitchell e Hamilton, 1988)

Opções reais diferem das opções financeiras em vários aspectos importantes: elas não podem ser avaliadas da mesma forma e são tipicamente menos líquidas, sendo que o real valor de um investimento de uma empresa pode diferir bastante do valor para uma outra empresa. Isto cria um desafio significativo para a avaliação de uma opção real. A abordagem de McGrath e MacMillan (2000), por exemplo, usa medidas qualitativas para se obter uma indicação prévia do valor provável de uma opção. Isto será visto com mais detalhes mais adiante (item 4.12.2).

A tabela 4.2 apresenta uma comparação entre os tipos de incertezas com as quais se depara um investidor em uma opção de ação e em uma opção de P&D, segundo Angelis (2000).

Tipo de Investidor	O que é conhecido	Tipos de Incertezas
Opção de ação	Preço de exercício (fixado pelo contrato de compra)	Preço futuro da ação
Opção de P&D	Nada	Benefícios esperados (entradas) = preço futuro da opção de ação; Custos esperados (gastos) = preço de exercício da opção de ação.

Tabela 4.2 - Comparação das incertezas entre a opção de ação e a opção de P&D.

4.5.5 As Variáveis de Entrada

As informações requeridas na aplicação da OPT (*Option Pricing Theory*) são, segundo Newton e Pearson (1994), a taxa de desconto livre de risco (que é praticamente a taxa de *bonds* do governo no período entre o início do programa de P&D e a decisão de investimento) e a volatilidade do valor presente líquido esperado dos futuros fluxos de entrada menos o investimento. O desvio-padrão é referido na OPT como ‘volatilidade’. O “número chave” que deve estar disponível se a OPT for aplicada é a volatilidade. Na prática, ela é difícil de se estimar, embora não seja necessariamente mais difícil de se determinar do que as probabilidades empregadas nas análises tradicionais (Newton e Pearson, 1994).

A maioria dos modelos de precificação de opções usa seis diferentes variáveis de entrada: o ativo subjacente (*underlying*), o risco, o pagamento de dividendos, o preço de exercício, a taxa de desconto livre de risco e o tempo de maturação. A tabela 4.3 mostra uma visão geral das variáveis de entrada para uma opção de compra de um projeto de investimento em comparação a uma opção de compra de uma ação.

	Opção de compra de uma ação	Opção de compra de um investimento
Valor do ativo subjacente (<i>underlying</i>)	Valor atual da ação	Valor presente bruto do fluxo de caixa esperado
Preço de exercício	Preço fixo da ação	Valor presente do custo de investimento
Tempo de maturação	Data fixa para o exercício	Tempo até que a oportunidade desapareça
Risco	Valor da incerteza da ação	Valor da incerteza do projeto
Pagamento de dividendo(s)	Pagamentos ao possuidor da ação	Perda de pagamentos pela espera de se investir
Taxa de desconto	Taxa de desconto livre de risco	Taxa de desconto livre de risco

Tabela 4.3 – Comparação de uma opção de compra de ação com uma opção de compra em um projeto de investimento (Fonte: Trigeorgis, 1997, *apud* Perlitz, Peske e Schrank, 1999).

A figura 4.5 mostra aquelas variáveis de entrada que devem ser analisadas na análise das opções reais. A abordagem pode, segundo Perlitz, Peske e Schrank (1999), ser usada como um método estruturado para a análise das opções de um projeto de investimento em P&D ou qualquer tipo de projeto de investimento com opções embutidas. Desta forma, o modelo contém as variáveis de entrada necessárias para a avaliação das opções reais.

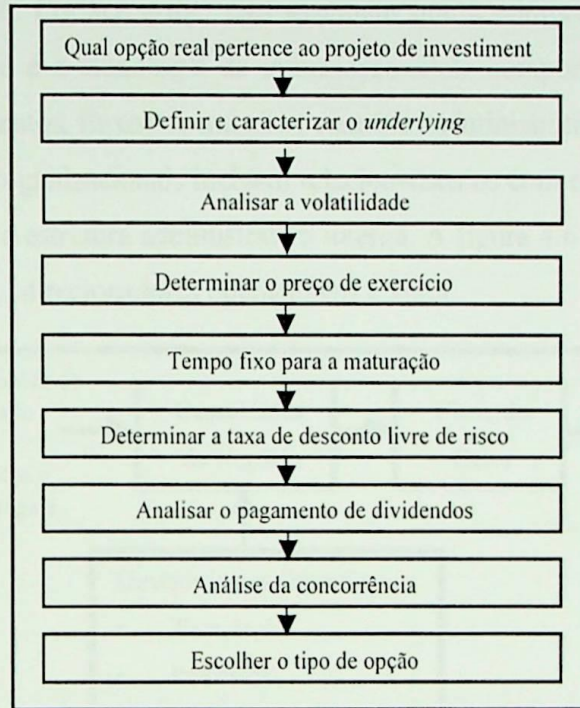


Figura. 4.5 – Estrutura de um modelo para analisar as variáveis de entrada para avaliação de opções (Fonte: Perlitz, Peske e Schrank, 1999)

Muitas destas variáveis são analisadas e utilizadas no cálculo do valor do projeto através dos modelos a serem definidos, como veremos no capítulo 5. As variáveis, entretanto, podem ser vistas na figura 1.1 (Metodologia de Pesquisa da Dissertação).

4.5.6 Investimento em Capacidade Como Criação de Valor

A capacidade do negócio é um atributo distintivo de uma unidade de negócio que cria valor para seus clientes (Balasubramanian, Kulatilaka e Storck, 2000). Capacidades são medidas pelo valor gerado para a organização através de uma série de fluxos de caixa identificáveis. Desta forma, capacidades diferenciam uma organização de outras e afetam diretamente seu desempenho.

Segundo Balasubramanian, Kulatilaka e Storck (2000), é importante notar que as decisões de investimento têm lugar no nível dos direcionadores operacionais. Duas firmas podem obter a

mesma capacidade de negócio através do investimento em diferentes tipos de direcionadores operacionais, que incluem não somente infraestrutura tangível, mas também processos e componentes organizacionais.

Os direcionadores operacionais são, segundo os mesmos autores, uma série de tecnologias, processos e elementos organizacionais que são necessários para a empresa alcançar uma capacidade de negócio. Em seu artigo eles assumem que a componente tecnologia de uma capacidade de negócio é a tecnologia da informação. Pelo componente processo, assumem como sendo procedimentos, fluxos de trabalho, controles administrativos e práticas de recursos humanos. Elementos organizacionais incluem relacionamentos com outras empresas na cadeia de valor tanto quanto a estrutura administrativa interna. A figura 4.6 apresenta a relação entre capacidade do negócio, direcionadores operacionais e valor.

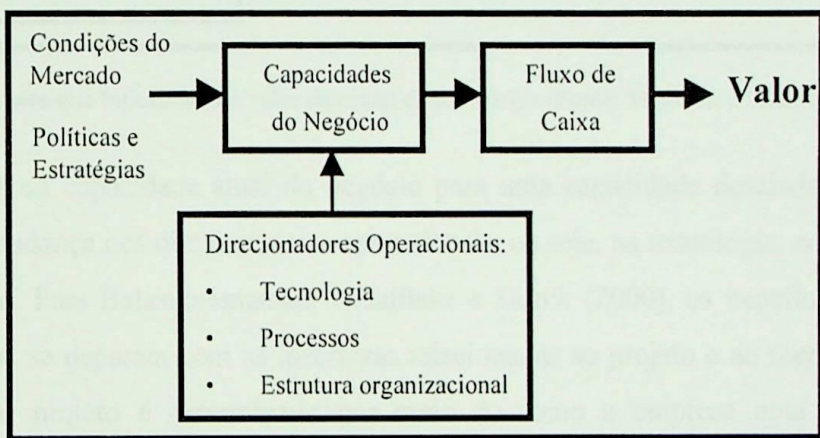


Figura 4.6 – Transformação de capacidades em valor (Fonte: Balasubramanian, Kulatilaka e Storck, 2000).

Balasubramanian, Kulatilaka e Storck (2000) argumentam que existe uma necessidade de se ter uma visão holística da empresa para analisar o impacto de uma tecnologia, incorporando considerações de investimento em pessoas, processos e políticas. Eles acreditam ainda que não é suficiente considerar o impacto da tecnologia da informação no momento da introdução, ao invés disto, é necessário olhar como ela penetra através da organização. Uma vez que a penetração leva tempo, o valor derivado da capacidade altera-se através do tempo.

Através da lógica do diagrama da figura 4.7, McGrath e MacMillan (2000) mostram que o valor proposto de uma opção é uma função dos ganhos potenciais menos os custos de desenvolvimento. O valor do potencial superior é o valor de fluxos de ganhos acumulados menos os custos de comercialização. Se o valor do potencial de ganhos excede os custos de investimento em desenvolvimento, faz sentido realizar o investimento.

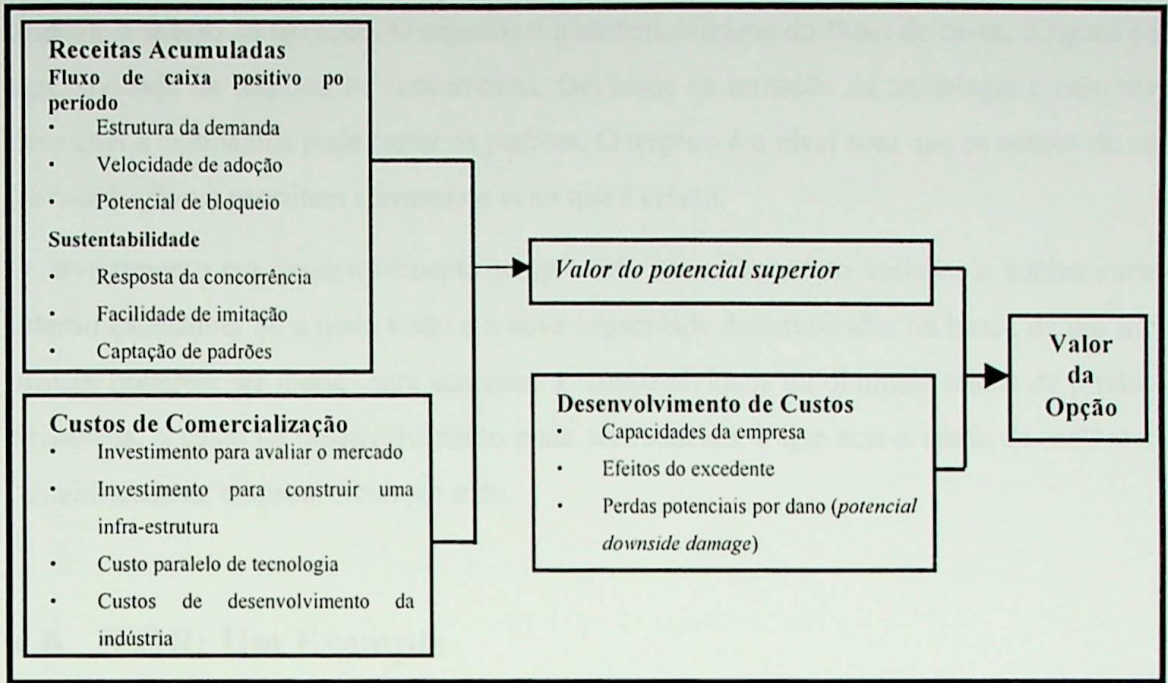


Fig. 4.7 – Fatores que influenciam o valor da opção de tecnologia (Fonte: McGrath e MacMillan, 2000).

Para se mover da capacidade atual do negócio para uma capacidade desejada as empresas devem fazer mudança nos direcionadores operacionais, ou seja, na tecnologia, nos processos e na organização. Para Balasubramanian, Kulatilaka e Storck (2000), os benefícios devidos a estas mudanças se deparam com as incertezas relacionadas ao projeto e ao mercado. O risco relacionado ao projeto é determinado por meio de como a empresa opta por projetar, implementar e gerir os direcionadores operacionais.

Há, por parte dos administradores, um enorme desejo de ligar estes valores a um número específico (McGrath e MacMillan, 2000). Os autores, entretanto, encorajam aquelas pessoas com as quais trabalham a evitar esta “tentação”, por duas razões: primeiro, aquelas oportunidades que podem ser quantificadas com algum grau de segurança não são, por definição, incertas, podendo-se usar as abordagens tradicionais; segundo, e de alguma forma mais sutil, o valor real de um investimento em opções reais é idiossincrático, ou seja, depende grandemente da configuração das competências e recursos já pertencentes à empresa. Em outras palavras, o valor de uma empresa é uma função dos investimentos que uma empresa específica faz em suas capacidades.

Diferentes configurações da demanda para as características de um produto ou serviço criam um potencial de ganhos radicalmente diferente. Segundo a lógica das opções do diagrama, McGrath e MacMillan (2000) avaliam a demanda pela estimativa de três componentes críticos da estrutura de receitas. O primeiro é o fluxo de caixa por período, guiado pelo tamanho do fluxo de ganhos, pela rapidez com que ocorre a adoção e pela ausência de fatores que podem

impedir o acesso ao mercado. O segundo é a sustentabilidade do fluxo de caixa, dirigido pela agressividade da resposta de concorrentes, facilidade de imitação da tecnologia e pelo nível pelo qual a companhia pode captar os padrões. O terceiro é o nível com que os efeitos de rede (*network effects*) permitem alavancar o valor que é criado.

O investimento em desenvolvimento sempre cria um sub-produto valioso: o conhecimento interno excedente. Se a nova visão e a nova capacidade desenvolvidas na busca de um novo projeto puderem ser usadas para aumentar a competitividade ou diminuir custos de produtos existentes, o custo de desenvolvimento pode ser reduzido, o que tem o efeito de melhorar a rentabilidade da empresa como um todo.

4.6 TOR: Um Exemplo

Visto que o investimento em P&D tem o potencial de diminuir os custos e/ou elevar as receitas, é importante que qualquer empresa que trabalhe neste ramo esteja apta a avaliá-lo adequadamente. Como foi abordado no item 4.4, a utilização do fluxo de caixa descontado e suas técnicas têm sofrido duras críticas do pessoal ligado à área da inovação. Como uma possível solução para as falhas das abordagens convencionais, tem sido crescente o interesse pela Teoria das Opções Reais. Para se ter uma idéia dos erros que podem estar sendo cometidos, voltaremos a abordar o exemplo do item 2.3, analisando-o, desta vez, com um modelo de precificação de opções, o modelo binomial, que foi proposto por Cox, Ross e Rubinstein, em 1979.

Usando-se uma fórmula para precificação de opção binomial passo-a-passo, é possível se calcular o valor do projeto, ou seja, assume-se que o valor do projeto move-se para cima ou para baixo em pontos discretos no tempo. Isto é feito usando a fórmula para opção de compra em um período. Para o projeto analisado, a taxa ajustada ao risco e a taxa livre de risco são, respectivamente, 15% e 10%. A principal opção embutida no projeto é a *time-to-build* (investimento escalonamento). As fórmulas são dadas na figura 4.8.

Modelo binomial para precificação de opção de compra para um projeto (para um período)		
$F = \frac{pFu + (1 - p)Fd}{r}$ $F_u = \text{Max}(uV - I, 0)$ $F_d = \text{Max}(dV - I, 0)$ $p = \frac{r - d}{u - d}$	Notação	
	F	FCD estendido – incluindo a opção de flexibilidade em cada período
	F _u	Valor do projeto se o valor bruto aumenta em valor
	F _d	Valor do projeto se o valor bruto diminui em valor
	V	Valor bruto do projeto
	P	Probabilidade neutra ao risco
	r	1 + taxa livre de risco
	u	1 + mudança percentual no valor bruto entre períodos, se o valor bruto aumenta.
	d	1 + mudança percentual no valor bruto entre períodos, se o valor bruto diminui.

Figura 4.8 – Modelo de precificação de opção binomial para um período (Fonte: Kallberg e Laurin, 1997).

A distribuição do fluxo de caixa e suas probabilidades reais correspondentes podem ser replicadas em uma árvore binomial. Aqui, as probabilidades reais q e $1 - q$ em cada ramo são iguais a 0.5 (adotadas).

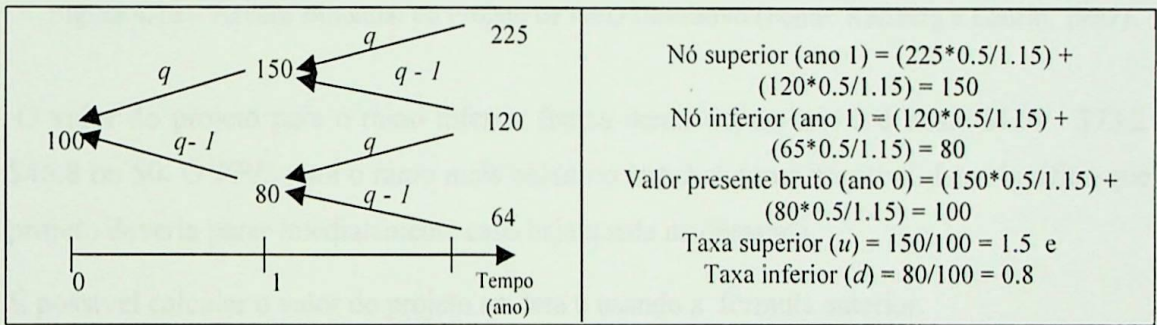


Figura 4.9 - Árvore Binomial (adaptado de Kallberg e Laurin, 1997)

Todos os parâmetros agora estão disponíveis para a probabilidade neutra ao risco e podem ser inseridas na equação. Assim:

$$p = (1.1 - 0.8) / (1.5 - 0.8) = 0.428$$

Quando inclui-se os investimentos na árvore binomial estes devem ser seus equivalentes certos (ver tabela 4.4). Isto desde que todos os fluxos na árvore sejam descontados à taxa ajustada ao risco. É importante observar que o investimento de \$80 no ano 2 é igual a um investimento de um equivalente certo de \$73.2 quando são descontados usando suas taxas de desconto correspondentes, por 15% e 10% $[(80 \times (1.15)^{-2}) = \60.5 o que é igual ao equivalente certo $60,5 \times (1,1)^2 = 73.2$, quando descontado à data zero].

Fluxo de caixa esperado	Equivalente certo do fluxo de caixa
\$30	\$28.7
\$80	\$73.2

Tabela 4.4 – Equivalente certo do fluxo de caixa

Por exemplo, o VPL estendido para o nó superior, calculado voltando-se um período, do ano 2 para o ano 1, usando as fórmulas da figura 4.8, tem-se:

$$F = \frac{0.428 * 151.8 + (1 - 0.428) * 46.8}{1.1} = 83.5$$

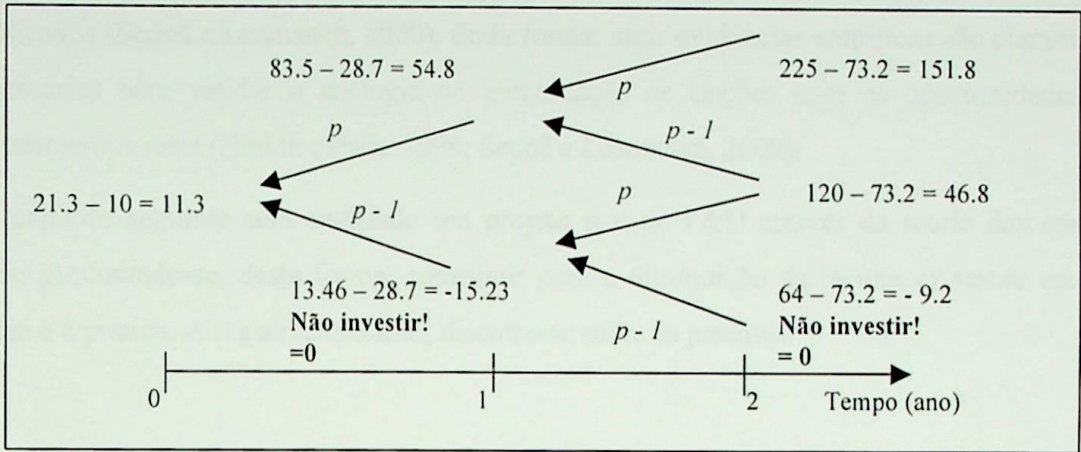


Figura 4.10 – Árvore Binomial do Projeto de P&D Ilustrativo (Fonte: Kallberg e Laurin, 1997).

O valor do projeto para o ramo inferior (baixa demanda) no ano 2 é então \$120 - \$73.2 = \$46.8 ou \$0. O VPL_e para o ramo mais baixo no ano 2 se torna negativo. Isto significa que o projeto deveria parar imediatamente caso haja queda na demanda.

É possível calcular o valor do projeto na data 0 usando a fórmula anterior.

$$F = \frac{0.428 * 54.8 + (1 - .428) * 0}{1.1} = 21.3$$

Como visto na figura 4.10, o VPL_e (Valor Presente Líquido Expandido) para o projeto de P&D na data zero é:

$$VPL_e = \$21.3 - \$10 = \$11.3$$

Comparando este valor com aquele obtido pelo tradicional VPL, que forneceu um valor de \$ 3.42, revela-se que a inclusão da flexibilidade presente no projeto, a *time-to-build option*, tem um valor de:

$$\text{Valor da opção} = VPL_e - VP_t = \$ 11.3 - \$ 3.4 = \$7.9$$

Os métodos tradicionais de desconto de fluxos esperados falham em captar o total valor do projeto. Tal fato ocorre porque assume-se que a decisão de fazer todos os três investimentos tivessem que ser feitas no início do projeto, o que claramente é uma falsa hipótese.

O exemplo abordado foi apenas ilustrativo, servindo para mostrar que a utilização de um método de precificação de opções adequado pode conduzir a valores que se distanciam significativamente daqueles obtidos pelas abordagens convencionais. A falta de evidência empírica que mostre a aplicação prática parece que está efetivamente inibindo a adoção e, casos reais. A avaliação das opções reais tem sido testada empiricamente em poucos trabalhos publicados (Seppä e Laamanen, 2000), desta forma, mais evidências empíricas são claramente necessárias para validar a analogia de precificação de opções com as oportunidades de investimentos reais (Herath e Park, 1999; Seppä e Laamanen, 2000).

No capítulo seguinte será analisado um projeto real de P&D através da teoria das opções reais, procurando-se, desta forma, contribuir para a diminuição da lacuna existente entre a teoria e a prática. A seguir, entretanto, discorre-se sobre as patentes.

4.7 Patentes

Segundo Takalo e Kanninen (2000), é de conhecimento na teoria da inovação que patentes promovem progresso técnico. O artigo dos autores, entretanto, desafia esta visão. Eles introduzem o argumento de que pela redução de perdas provenientes da entrada de concorrentes, as patentes também aumentam a habilidade de esperar pela comercialização e podem realmente conduzir ao atraso da introdução da inovação no mercado. A razão para tal resultado, dizem Takalo e Kanninen (2000), é que através do patenteamento o inventor estará menos preocupado com introduções competitivas. Sem o patenteamento, uma inovação tem propriedades de bem público.

Os autores consideram a patente como um contrato entre o inventor e a sociedade. Pelo patenteamento, o proprietário da patente revela informações de sua inovação aos concorrentes. A revelação tem valor social, pois reduz a duplicação, em troca, a sociedade escolhe o escopo da proteção. Segundo os autores, mesmo se o *lead-time* demonstrar ser um instrumento apelativo contra a concorrência, tal barreira cria uma opção valiosa pelo adiamento antes da comercialização.

Este fenômeno não tem passado despercebido. Van Leuven (1996), disse: “Nos casos onde o requerente não está certo acerca do uso concreto da inovação, ele pode decidir manter suas opções abertas para o futuro e pode pedir por direito de exclusividade”. Isto tem indubitavelmente sido observado na prática, especialmente nas empresas de novos mercados que adquirem patentes para estarem aptas a esperarem para descobrir como a incerteza da

demanda do mercado irá desenvolver (Takalo e Kanninen, 2000). Esta observação aponta para a interpretação de patentes como opções a serem comercializadas. Uma discussão informal deste assunto pode ser encontrada em Pitkethley (1997).

A patente eleva os custos de imitação, como indicado pela pesquisa de Mansfield *et al.* (1981), em adição ao que Levin *et al.* (1987) indica, mas não pode evitar a imitação. Gallini (1992) provê uma análise extensiva do sistema de patentes na qual o período da patente eleva os custos de imitação. O fato do patenteamento envolver os “custos afundados” em termos de pagamento de taxas levou Pakes (1986) a tratar o patenteamento de uma nova maneira, como um problema de renovação ótima: um inventor se depara com o problema de pagar o taxa anual de renovação ou não. Pelo pagamento da taxa o possuidor da patente recebe os retornos a partir da inovação patenteada para o próximo ano e a opção de manter a opção pelos próximos anos.

Uma patente dá, ao inventor, tempo para processar informações da tendência das condições do mercado e incertezas exógenas associadas com a demanda, bem como, no final das contas, fazer a correta decisão para introdução do novo produto (Takalo e Kanninen, 2000). Dependendo do subsequente valor econômico da idéia patenteada, o inventor pode manter a opção “viva” no produto no mercado por algum tempo. Especificamente, sabendo que a proteção da patente reduz as perdas provenientes da entrada de concorrentes, o inventor pode escolher esperar mais tempo. Se for este o caso, dizem os autores, as patentes poderiam realmente retardar o progresso tecnológico.

Passemos a abordar agora um dos aspectos mais importantes na análise de investimento: o papel do risco e da incerteza. A seguir serão vistos seus efeitos na análise de P&D, utilizando a TOR.

4.8 O Risco e a Incerteza: Seus Efeitos

Como em quase todo projeto, uma decisão de investimento em pesquisa e desenvolvimento também é afetada pela incerteza e risco, ou seja, o valor esperado pode ser afetado pela variabilidade destes fatores. Como será visto, a presença da incerteza e do risco na abordagem das opções tem efeito contrário àqueles obtidos pela aplicação da abordagem tradicional.

4.8.1 O Risco em P&D

Uma definição intuitiva de risco que é muito conhecida na literatura das opções, a *downside risk*, é apresentada por Morris, Teisberg e Kolbe (1991) como sendo a perda esperada se o projeto não obtiver sucesso. Em suma, *downside risk* é a medida dos resultados que são *incertos e indesejáveis*. Assim:

$$\text{Downside risk} = \text{resultados (incertos + indesejáveis)}$$

Rothkopf (*apud* Morris, Teisberg e Kolbe, 1991) também diz que “homens de negócio usam a palavra ‘risco’ de forma que o risco da empresa aumenta se a probabilidade de perda aumenta ou se a magnitude de possíveis perdas também aumenta”. Assim:

$$\text{Downside risk} = f(\text{aumento da probabilidade de perdas, aumento da magnitude de perdas possíveis})$$

A importância de se separar as características dos riscos é abordada no artigo de Boer (2000), no qual é focada a necessidade de se separar o risco único (*unique risk*) do risco de mercado (*market risk*) na aplicação da teoria de opções para projetos de P&D, uma vez que o primeiro impacta negativamente, enquanto o último aumenta o valor. O autor também ilustra como as “opções escondidas” em um novo empreendimento podem contribuir enormemente para o valor, especialmente nas indústrias de rápido crescimento e em mercados que exibem alta volatilidade.

De acordo com a pesquisa de Ruhnka e Young (1987), investidores de risco (*venture capitalist*) esperam que o risco de perdas associadas com investimentos de capital arriscados diminuam constantemente na medida em que o empreendimento alcança estágios mais elevados de desenvolvimento. Seus resultados indicaram que o risco agregado de perda é cerca de 66% para os investimentos originais (*seed investments*) e de 20% para investimentos de ligação (*bridge financing*). Todos estes resultados indicam que é mais provável que um investimento venha a falhar nos estágios iniciais de desenvolvimento do que nos estágios terminais. Além disto, na medida em que o empreendimento avança do primeiro estágio de desenvolvimento para o segundo, o risco de perda diminui mais do que o avanço do quarto para o quinto estágio, por exemplo. Segundo Seppä e Laamanen (2000), maiores aumentos no valor do investimento são típicos dos estágios iniciais do desenvolvimento de um empreendimento.

Passemos agora a analisar os tipos de riscos e seus diferentes efeitos no valor de um investimento.

4.8.1.1 Risco interno, único, não-sistemático, privado, diversificável ou endógeno

Em um projeto de exploração de petróleo que, segundo Boer (2000), pode ser comparado a um projeto de investimento em P&D, existem dois elementos do risco. O primeiro é o risco único (*unique risk*), de que o poço de petróleo esteja seco ou que o reservatório seja menor do que as melhores estimativas feitas pelos geologistas. O risco único pode ser estimado a partir da base de dados da corporação, dados do governo, publicações técnicas ou *benchmarkings* industriais para se determinar as chances de um poço seco, ou até mesmo a distribuição de probabilidade do tamanho do reservatório.

Estas considerações são aplicáveis diretamente ao preço de exercício (custos de introdução do produto do mercado - custos de comercialização) e ao valor da *security* subjacente (por exemplo, se a possibilidade de se encontrar um poço seco é de 75%, o *probability-weighted investment* é 25% do custo de produção e comercialização, como é o *probability-weighted value* das receitas do petróleo), diz Boer (2000). A qualidade das estimativas dos gerentes irá afetar grandemente seu desempenho financeiro. Obviamente, quanto maior o risco único, menor o valor do empreendimento. Para Boer (2000), a obtenção deste risco único para o caso de projetos de P&D é o ponto crítico da avaliação, uma vez que não existe uma base de dados histórica que revele o comportamento de projetos similares.

Existe uma maneira, entretanto, de se reduzir o risco único. Isto pode ser feito através da *diversificação*. A administração pode investir em dezenas ou centenas de poços de exploração (Boer, 2000). Este tipo de risco pode ser comparado ao risco não-sistemático das aplicações financeiras, o qual também pode ser evitado pela construção de um portfólio. O risco não sistemático é eliminado, em sua essência, pelo processo de diversificação, de modo que uma carteira relativamente ampla acaba não tendo risco sistemático (Ross, Westerfield e Jordan, 1998). Da mesma forma, poderíamos dizer que o risco único para opções reais de P&D poderia também ser diminuído, ou até mesmo eliminado, pela construção de um portfólio de projetos de P&D.

Em suma, destaca Boer (2000), o risco único pode ser analisado com o uso de probabilidades e o risco de mercado pode ser analisado pelas ferramentas bem conhecidas de finanças corporativas: a fórmula de Black e Scholes ou a aproximação binomial. Elas têm características diametralmente opostas – risco único diminui o valor e o risco de mercado eleva o valor.

A analogia de um ativo físico, como o petróleo, com um ativo intelectual, como tecnologia, é muito forte porque a seqüência de investimentos é similar. O primeiro investimento é a busca por conhecimento. O segundo investimento tipicamente capitaliza uma nova oportunidade de negócio, e é muito maior. A recompensa é uma seqüência de fluxos de caixa até que o ativo esteja esgotado ou marginalizado.

O elemento do risco único é captado em probabilidades de sucesso estimadas. Muitas companhias têm uma base de dados da história de projetos que dão uma diretriz para tais probabilidades (Boer *apud* Boer, 2000). Outros usam a intuição. Ambas as abordagens são defensáveis porque cada projeto cada projeto é *único* de alguma forma. A cada momento novos dados são coletados e o elemento de risco único muda de alguma forma, mas, de maneira geral, um projeto de P&D bem sucedido tem a redução sistemática do risco único.

Os riscos que não são captados através da flutuação dos preços de *securities* negociadas são conhecidos como riscos privados (Amran e Kulatilaka, 2000). Ativos com riscos precificados pelo mercado são associados a uma ampla gama de oportunidades porque alguém poderia adquirir, reduzir ou remodelar o risco através de uma posição de *securities* negociadas. Para Amran e Kulatilaka (2000), o que é risco privado hoje pode muito bem ser *securitizado* no futuro. Os autores continuam dizendo que “para aplicações com um componente de risco precificado pelo mercado, as opções reais provêm uma estrutura quantitativa completa, mas, quando a aplicação é amplamente dirigida pelo risco privado, as opções reais não podem adicionar uma percepção além daquelas obtidas por outras ferramentas de decisão”.

Em suma, o risco único ou interno é uma função ou característica de um determinado projeto. A solução possível, assim como no caso das opções financeiras, é a diversificação, uma vez que pode-se recuperar através de um projeto aquilo que é perdido em outro. Este risco diminui o valor da opção.

4.8.1.2 Risco de mercado, externo, sistemático, não-diversificável ou exógeno

O segundo tipo de risco é o risco de mercado. Este é o risco, por exemplo, do preço do petróleo (ou de qualquer outro produto) subir ou descer. Se você está no mercado de petróleo não há como evitar este risco, mas pode-se avaliá-lo usando análise de opções. O risco baseado no mercado (volatilidade) sempre aumenta o valor de uma opção. Desta forma, não há como interferir no risco de mercado (Boer, 2000).

O risco de mercado também está presente em cada projeto. Os projetos de exploração de petróleo estão, por exemplo, sempre com os olhos em direção ao Oriente Médio. O gestor de

P&D deve, da mesma forma, manter os olhos fitos em sua indústria. O recente caso da queda da oferta de energia elétrica no Brasil é um bom exemplo do risco de mercado, o que acabou, por exemplo, favorecendo as empresas fabricantes de lâmpadas fluorescentes, prejudicando, por outro lado, os fabricantes de chuveiros. O atentado terrorista ao World Trade Center em Nova York e ao Pentágono, em Washington, em setembro deste ano (2001) também representa um risco de mercado que pode afetar quase todo o mundo, pois as consequências econômicas são de ordem mundial.

Para Balasubramanian, Kulatilaka e Storck (2000), a metodologia das opções reais provê um meio de medir o sucesso de forma retrospectiva. Em particular, a metodologia considera risco externo do negócio e risco interno do projeto separadamente. A separação dos riscos, segundo os mesmos autores, concede à organização uma oportunidade de determinar a responsabilidade da administração.

Gerentes de projetos não podem controlar as condições externas, mas têm a responsabilidade pela identificação dos riscos internos e implementação de resultados possíveis. Além disto, pedindo-se aos gestores de negócios a especificação de cenários de mercados e outras mudanças na dinâmica da concorrência, eles tomam responsabilidade pela monitoração dos fatores externos. Pela separação da análise retrospectiva dos resultados em fatores internos e externos, o planejamento e a tomada de decisão devem melhorar (Balasubramanian, Kulatilaka e Storck, 2000).

O risco de mercado, portanto, afeta a todas as empresas, não sendo possível tomar alguma providência para alterá-lo. Desta forma, é necessário que os administradores estejam atentos às mudanças do mercado, estimando cenários possíveis e ações contingenciais.

4.8.2 A Incerteza

Como retrata Faulkner (1996), “a abordagem do pensamento das opções traz uma visão dramaticamente nova da incerteza”. Ela permite reconhecer situações onde a incerteza é um bom fator e ajuda a compreender que “quanto maior for a incerteza, maior a possibilidade de criação de valor”. Para o autor, “o pensamento das opções enfatiza a incerteza futura e encoraja uma abordagem adaptativa que monitore a resolução de incertezas futuras e antecipe os ajustes necessários no percurso”.

Duas interessantes características da uma opção de compra são que o valor potencial é uma função da incerteza e que o risco de perda (*downside risk*) ao qual o possuidor da opção está

exposto é limitado ao montante investido. Devido à existência de um *downside risk* limitado, o aumento da incerteza com relação ao preço futuro do ativo *umenta* o valor da opção (Faulkner, 1996).

Uma combinação de técnicas de precificação de opções e ferramentas de análise de decisão, segundo Perdue, McAllister, King e Berkey (1999), formam um processo prático para avaliação de projetos de P&D de tal maneira que avalia corretamente o impacto da decisão de flexibilidade e as inevitáveis incertezas técnica e comercial.

Na análise de investimentos tradicional, maior incerteza requer maior taxa de desconto via um alto prêmio de risco e, conseqüentemente, um menor VPL. Para Perdue *et al.* (1999), o “ingênuo” modelo de desconto ajustado ao risco estabelece uma correlação negativa entre a incerteza e o valor da pesquisa que parece ter um erro de 180 graus. Somente pelo fato do *downside risk* ser eliminado por uma opção de compra de uma ação do ativo, é estabelecida uma correlação positiva entre a volatilidade do preço do ativo e o valor atual da opção de compra. O fato de que o valor esperado depois da fase de pesquisa irá incorporar somente os caminhos do sucesso da pesquisa implica numa correlação positiva entre a incerteza e a amplitude dos resultados da incerteza técnica e comercial e o valor atual da oportunidade de desempenhar aquela pesquisa. A influência da incerteza no investimento nas abordagens convencional e da TOR é apresentada na figura 4.11.

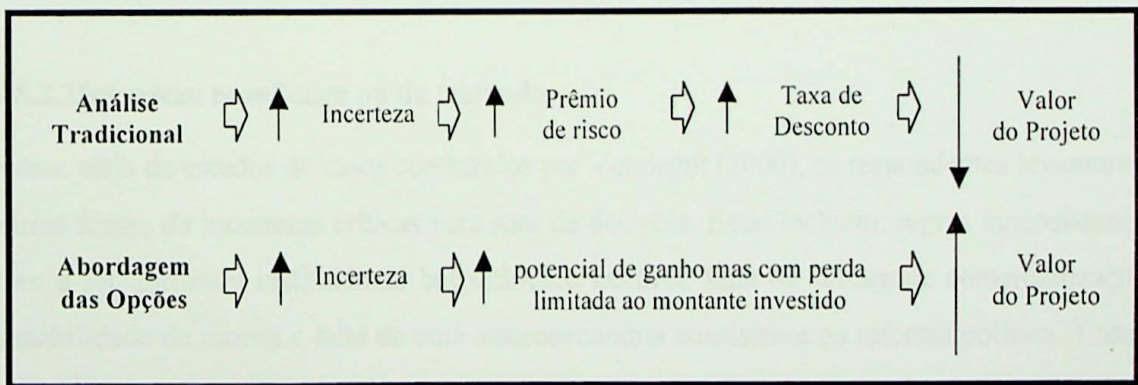


Figura 4.11 – O efeito da incerteza no valor do projeto

Alvarez e Stenbacka (2001) também caracterizam como o valor das opções reais depende da incerteza subjacente do mercado, tanto quanto da incerteza tecnológica associada com futuras melhorias possíveis na tecnologia. Duas fontes de incerteza também foram identificadas por Balasubramanian, Kulatilaka e Storck (2000), as relacionadas ao mercado (preço e demanda) e a relacionada à incerteza do projeto, que pode induzir a empresa a alcançar capacidades diferentes daquelas previstas. A natureza possível das decisões futuras, entretanto, torna as técnicas tradicionais insuficientes. O fluxo de caixa futuro depende da reação da

administração a uma concretização particular da incerteza. Desta forma, é necessário se abrir a incerteza e considerar todas condições futuras de negócio possíveis e avaliar a decisão de investimento ótima.

4.8.2.1 Incerteza técnica ou interna

É importante distinguir entre estes dois tipos de incerteza porque têm diferentes implicações para o momento de entrada. Alta incerteza interna (técnica) sugere urgência, uma vez que quanto mais se adia, mais tempo levará para se descobrir o que é necessário. A incerteza externa (econômica, de mercado), por outro lado, sugere que obtenha-se benefício mantendo-se fora do investimento, desde que a incerteza não seja reduzida não importando o que a empresa faça (McGrath e MacMillan, 1999).

Desta forma, a incerteza técnica só será resolvida com o prosseguimento do projeto, uma vez que somente através do investimento em pesquisa, por exemplo, é que poderão ser defrontadas as dificuldades com busca por possíveis soluções. Conseqüentemente, a incerteza técnica tende a incentivar o investimento.

A futura escolha de implementar ou não os resultados da P&D capacita a empresa a evitar perdas futuras. Conseqüentemente, o pior resultado possível para o estágio de implementação será zero se a nova tecnologia não for usada.

4.8.2.2 Incerteza econômica ou de mercado

Numa série de estudos de casos conduzidos por Vonnegut (2000), os respondentes levantaram várias fontes de incertezas críticas para suas de decisões. Estas incluem: regras inconsistentes com a lei, estrutura institucional burocrática e instável, falta de cultura de comercialização, instabilidade da moeda e falta de uma macroeconomia consistente ou reforma política. Todas, segundo Vonnegut (2000), podem ser resolvidas, em grande extensão, por uma política de reforma dedicada e por confiança. Este parece ser também o caso do Brasil. O atual nível de incerteza econômica e política no qual o Brasil se encontra parece estar inibindo um maior aporte de investimentos. A reforma fiscal, tão almejada e necessária também representa uma incerteza de mercado que inibe os investimentos.

4.9 O Pensamento das Opções

O pensamento das opções, segundo Faulkner (1996), “expande nossa compreensão e nos auxilia a identificar as características daquelas oportunidades onde a incerteza representa um potencial para futuros ganhos ao invés de risco de perdas. Nestas situações, a abordagem das opções pode demonstrar um valor positivo substancial quando a análise tradicional do FCD diz que o projeto irá gerar perdas”.

Para o mesmo autor, “as implicações para a seleção de projetos de P&D são enormes”. Entretanto, o pensamento das opções nem sempre produz uma maior avaliação do que a análise do FCD. Uma análise de sensibilidade conduzida por Faulkner revelou que uma análise de opções provavelmente produzirá um valor maior do que o FCD quando:

- Investimento futuro em comercialização (o preço de exercício) é alto em relação ao investimento inicial em P&D;
- Existe uma significativa incerteza acerca dos futuros ganhos (o valor do ativo);
- A duração da fase de pesquisa é longa e existe alguma incerteza com relação aos futuros ganhos;
- Pode-se antecipar a disponibilidade de informações futuras que resolverão algumas incertezas (demanda de mercado, movimentação dos concorrentes, etc).

Segundo Faulkner (1996), “a cultura dentro da maioria das companhias ocidentais permanece substancialmente ligada ao tradicional FCD. Não será fácil quebrar o velho paradigma e abraçar um novo. Mas é importante a adoção de uma nova forma de pensar se esperamos ter sucesso sobre nossos concorrentes que já estão alavancando estas formas de pensar”.

O pensamento das opções pode identificar importantes fontes de valor que seriam esquecidas pela abordagem tradicional do FCD (Faulkner, 1996). É claro que a adoção destas novas abordagens resultará em estratégia e técnicas e de negócio que diferem de forma significativa daquelas formuladas usando o FCD. É essencial reconhecer que não é simplesmente uma escolha entre dois diferentes procedimentos para computar o VPL. As duas abordagens trazem diferentes atitudes, diferentes formas de estabelecer um problema e diferentes maneiras de ver o futuro.

4.9.1 Estratégia e P&D

Vivemos num período de grandes incertezas. Para Amran e Kulatilaka (2000), o ambiente de negócios está sendo modelado por uma tendência de larga escala e de longo prazo, tais como desregularização e crescente competição global, tanto como a recente chegada da internet. A convergência destes fatores, segundo os autores, tem lançado faíscas pela busca de estruturas estratégicas e ferramentas de orçamento de capital que possam auxiliar os administradores a avaliar e encarar oportunidades incertas.

Ao mesmo tempo, uma nova e promissora ferramenta conhecida como “opções reais” tem atraído a atenção de práticos e acadêmicos. Vista de perto, a abordagem das opções reais é a extensão de modelos de precificação de opções financeiras para a avaliação de opções reais de ativos não-financeiros. De forma mais ampla, destacam Amran e Kulatilaka (2000), a abordagem das opções reais é uma maneira de pensar que auxilia os administradores a formular suas opções estratégicas, as oportunidades futuras que são criadas pelos investimentos de hoje.

Para Faulkner (1996), o pensamento das opções enfatiza a incerteza futura e encoraja uma abordagem adaptativa que monitore a resolução de incertezas futuras e antecipe os ajustes necessários no percurso. Uma lista das implicações de uma abordagem de pensamento das opções para uma formulação estratégica de P&D, segundo Faulkner (1996), inclui, entre outros fatores:

- Reconhecer explicitamente a incerteza a respeito do futuro, considerando cenários otimistas e pessimistas e identificando as futuras incertezas críticas que podem ser monitoradas no tempo e auxiliar a entender qual cenário está se revelando;
- Identificar as decisões que podem ser feitas depois que tenha sido aprendido a respeito das incertezas futuras e explicitamente reconhecê-las como oportunidades de ajuste de percurso;
- Distinção entre investimentos em projetos (tendem a ter um risco menor e têm um comprometimento em um tempo fixo) e investimentos em opções (tendem a ser exploratórios e mais arriscados);
- Na revisão dos investimentos planejados, usar a “flexibilidade” como um dos critérios e considerar como estes investimentos podem posicionar a empresa de uma ou outra forma (dentro dos limites da incerteza) à medida que a incerteza é resolvida no tempo;

- Construir uma “abordagem em fases” na estratégia que faça dos investimentos futuros condicionais às decisões anteriores. Deve-se reconhecer que mudanças futuras no curso são prováveis e planejar para uma “administração ativa” que permita rápidas adaptações;
- Manter o foco de longo-prazo. Uma das formas de se pensar desta maneira é a cadeia de opções, onde cada opção compra o direito de adquirir futuras opções;
- Usar a estrutura do pensamento das opções como uma ferramenta conceitual para explicar o valor estratégico de “intangíveis”, tais como: administração ativa, flexibilidade, aprendizagem, etc.

A pesquisa e desenvolvimento (P&D) é dividida em três categorias por Mitchell e Hamilton (1988). Eles sugerem o uso do FCD para investimentos em negócios de curto prazo, devendo os projetos de longo prazo serem tratados como construção do conhecimento (*knowledge building*), não devendo estar sujeita a nenhuma avaliação formal. A categoria média de P&D é chamada de posicionamento estratégico (*strategic positioning*) e é descrita como sendo análoga a uma opção de compra (ver figura 4.12).

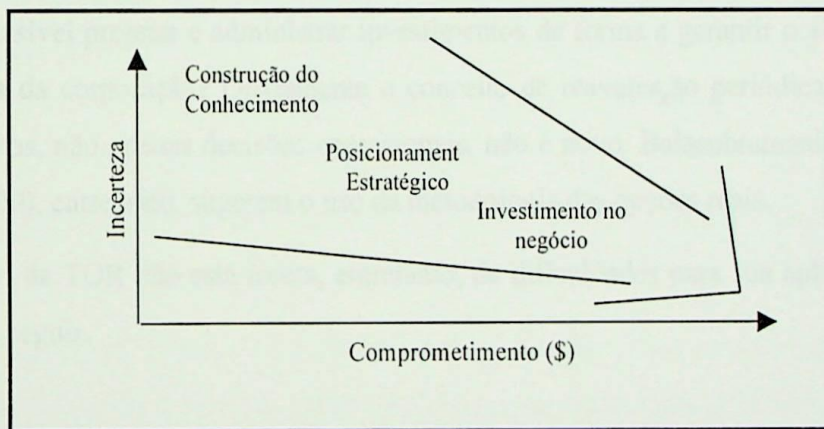


Fig. 4.12 – Progressão dos programas estratégicos de P&D (Fonte: Mitchell e Hamilton, 1988).

As implicações da teoria das opções para a formulação estratégica são discutidas por Bowman e Hurry (1993). Investimentos estratégicos são descritos como sendo um posicionamento da organização com respeito à incerteza futura de tal forma que a proveja com flexibilidade para responder apropriadamente às mudanças circunstanciais. Empiricamente os modelos baseados em opções provêm um primeiro passo em direção à integração entre finanças e estratégia, à medida em que seus resultados coincidem com o pré-julgamento da experiência de uma administração sênior refletiva (Lint e Pennings, 1998).

No ambiente atual existe uma grande necessidade de se entender como a estratégia da corporação e a execução interagem entre si, e como isto afeta o valor das oportunidades do negócio. As decisões de investimento de hoje, segundo Amran e Kulatilaka (2000), freqüentemente requerem que os analistas aceitem que:

- Eles não podem, com confiança, entender um futuro muito distante;
- A empresa fará o primeiro investimento com a clara expectativa de que o investimento necessitará ser expandido ou modificado caso o projeto siga adiante, ou abandonado, caso a idéia não pareça promissora;
- A administração deve comunicar ao público novidades sobre o sucesso do projeto ou desapontamentos, mesmo que o projeto tenha gerado fluxo de caixa positivo.

Em suma, o cerne da demanda atual pelas opções reais é a necessidade da administração posicionar a empresa para obter benefício da incerteza e comunicar, para o interior da firma e para o mercado financeiro, a flexibilidade estratégica da empresa, concluem Amran e Kulatilaka (2000).

Como é possível projetar e administrar investimentos de forma a garantir o alinhamento com a estratégia da corporação? Obviamente o conceito de reavaliação periódica de decisões de investimentos, não apenas decisões operacionais, não é novo. Balasubramanian, Kulatilaka e Storck (2000), entretanto, sugerem o uso da metodologia das opções reais.

A aplicação da TOR não está isenta, entretanto, de dificuldades para sua aplicação. Isto será discutido a seguir.

4.9.2 Problemas Para Aplicação da TOR

Na prática, a aplicação de métodos de opções para a avaliação de investimentos em P&D levantam alguns problemas (Lint e Pennings, 1998). Para os mesmos autores surgem questões como o momento de exercício (opção européia versus americana), com o conceito de avaliação neutra ao risco e com a comercialização de ativos subjacentes e estimação da volatilidade de projetos.

Quando tentam aplicar os modelos de opções financeiras para ativos reais, acadêmicos e práticos imediatamente se deparam com um problema: algumas das maiores fontes de incerteza que afetam o valor das opções estratégicas não são “precificadas” no mercado financeiro (Amran e Kulatilaka, 2000). Para muitos, dizem os autores, a confusão ligada a

esta questão às vezes dá a aparência de que as opções reais são nada mais do que uma “janela vestida com conceitos já explorados em outros campos”.

Luehrman (1998b) nota que, enquanto os especialistas têm feito um bom trabalho em apontar que a perspectiva das opções reais capta o que a análise do VPL não é capaz de captar, eles não têm trabalhado tão bem em prover ferramentas práticas para a implementação da abordagem das opções reais. Perdue *et al.* (1999) também dizem que os analistas de decisão diagnosticaram o problema bem antes que pesquisadores financeiros tivessem descoberto as opções reais e, mais importante, eles proviram uma solução prática na forma de árvore de decisão (Howard e Matheson *apud* Perdue *et al.*, 1999).

Desta forma, conforme ressaltam Perdue *et al.* (1999), analistas de decisão poderiam questionar se a abordagem das opções reais aplicada a P&D não são apenas “vinhos antigos em novos frascos” (*old wine in new bottles*). Para o mesmo autor, entretanto, os analistas de decisão encarregados de avaliar um portfólio de pesquisas podem obter vantagens conceituais e práticas pelo aumento de sua abordagem através das perspectivas e ferramentas das opções.

Um outro problema que surge da observação do ativo subjacente da opção real é a estimação da volatilidade de um ativo não comercializado. Em contraste com as opções financeiras, não existe uma série histórica que possa ser usada para estimar a incerteza do ativo subjacente. Entretanto, é um fato estabelecido que o valor da opção é sensível à incerteza do ativo subjacente. Desta forma, ficam requeridas estimativas razoáveis da volatilidade do ativo subjacente.

Qualquer abordagem usando a fórmula de Black e Scholes implica numa chegada contínua de informação que muda a variável subjacente. Na teoria financeira, os ativos subjacentes são negociados e a chegada de novas informações é refletida diretamente no preço. Considerando as opções de P&D, a informação que leva a ajustes no preço do projeto irá chegar somente em pontos discretos no tempo. De entrevistas com a administração sênior, Lint e Pennings (1998) descobriram que o *status* financeiro de projetos de pesquisa, uma vez empreendidos, será somente revisado esporadicamente no caso de chegada de nova informação.

Segundo Perlitz, Peske e Schrank (1999), na teoria de precificação de opções e no princípio de duplicação, é importante que o ativo subjacente seja negociado para transmitir uma avaliação livre de arbitragem (*to carry out an arbitrage free evaluation*). Se o ativo não é negociado e se, além disto, não tem preço de mercado, é praticamente impossível determinar o valor da opção (Trigeorgis, 1993). Se um investimento em P&D é negociado (ex: um novo empreendimento é listado em uma troca), existirá um preço de mercado que serve como o

underlying. O problema com que se depara quando se olha para opções relacionadas à P&D é que o investimento subjacente freqüentemente não é negociado, conseqüentemente, o valor de mercado não pode ser determinado. Uma solução para o problema é o método da ‘*spanning*’.

Pode-se aplicar a tão conhecida ‘*spanning*’ para duplicar um ativo não negociado (Brennan e Schwartz, 1985; Pindyck, 1993; Trigeorgis, 1993). Na aplicação da ‘*spanning*’ a um projeto de P&D deve-se duplicar o fluxo de caixa de um portfólio projetado de ativos comercializados (replicar o fluxo de caixa com um ativo similar – *twin security*). O último é chamado ‘*twin security*’. O valor deste portfólio iguala o valor do projeto e, conseqüentemente, serve como o *underlying*. O problema é que alguns projetos de P&D não estão relacionados a nenhum ativo negociado e assim, *spanning* é impossível (Pindyck, 1991). No caso da ‘*spanning*’ não ser possível, o valor de um projeto de P&D tem que ser obtido usando outros métodos (Dixit e Pindyck, 1993).

Olhando para exemplos práticos e artigos teóricos, na maioria dos casos o fluxo de caixa futuro é admitido como sendo o *underlying*. O problema que surge desta linha de procedimentos é que o *underlying* pode se tornar negativo (Sick, *apud* Perlitz, Peske e Schrank, 1999; Trigeorgis, 1993). Nos modelos padrões de precificação de opções o *underlying* não pode se tornar negativo. Assim, o uso do valor presente líquido do fluxo de caixa futuro como *underlying* não funcionará para todo investimento.

4.9.3 Questões sobre a TOR

Para Perlitz, Peske e Schrank (1999), a questão se a teoria de precificação de opção pode ser usada ou não para avaliar projetos de investimentos talvez não seja crucial. Pelo contrário, a questão deveria ser até que ponto os modelos padrões de precificação podem ser usados ou se modelos mais sofisticados e complexos são necessários (por exemplo, métodos numéricos como o de diferenças finitas poderia ser usado para avaliação de opções).

Dado o esforço substancial requerido para se obter um modelo para um caso específico, a aplicação de métodos padrões de avaliação parece ser mais apropriada para análise de investimento envolvendo opções reais. Existe, entretanto, um número de diferentes abordagens para precificação de opções que lidam com diferentes fórmulas. Os modelos mais importantes são a fórmula de Black e Scholes (1973) e o Modelo Binomial (Cox, Ross e Rubinstein, 1979).

Enquanto que a fórmula de Black e Scholes é usada para avaliar opções de compra e venda, o modelo binomial é bastante flexível e permite ser aplicado a uma ampla gama de categoria de opções. Para aplicações em opções reais, opções compostas como *calls de calls* e *puts de puts* têm um papel essencial, conseqüentemente, o modelo de Geske, que permite avaliar opções compostas é altamente relevante (Perlitz, Peske e Schrank, 1999).

Sob a definição para opções reais de Amran e Kulatilaka (2000), que dizem que esta é baseada naqueles riscos da corporação que podem ser rastreados por um portfólio de *securities* negociadas, a aplicabilidade das opções reais é determinada pelas características da indústria e do projeto que permitem o rastreamento. Quando as características de um projeto ou indústria por si só conduzem ao rastreamento dos riscos, tais como na exploração de petróleo, a abordagem das opções reais é capaz de ligar o valor e o exercício da opção real à criação de valor para o acionista, dizem os autores.

Por outro lado, continuam dizendo Amram e Kulatilaka (2000), quando o valor e o exercício das opções de investimento não puderem ser ligados a riscos precificados no mercado financeiro, tais como no desenvolvimento de uma droga farmacêutica, o valor da opção estratégica é melhor captado por outras estruturas tais como análise de decisão. Entre estes dois casos extremos estão as aplicações que requerem estruturas “híbridas”, uma mistura de opções reais e outras ferramentas, ressaltam os autores. Eles argumentam que na medida em que o mercado continua a *securitizar* vários riscos e “pacotes de riscos” (*bundles os risks*), haverá crescente oportunidade de rastrear o risco e então ligar o exercício da opção real da companhia por parte da administração ao valor para o acionista.

A abordagem das opções também está vulnerável a um mau uso. Administradores devem estar preparados para desistir de um investimento de P&D (decidir *não* exercer a opção de comercialização) quando a resolução de incertezas indica que as oportunidades futuras não são muito promissoras. A experiência de Faulkner (1996) sugere que está não é uma tarefa fácil, uma vez que projetos desenvolvem uma inércia própria, tornando difícil sua parada.

Também existe a tendência do uso do termo opções de forma casual para justificar investimentos em uma variedade de projetos sem uma avaliação independente. A noção de que a teoria de precificação de opções automaticamente justifica o investimento de fundos disponíveis em uma ampla gama de projetos (fazendo uma pequena aposta em tudo) é completamente falsa, retrata Faulkner (1996).

4.10 A Volatilidade

O “número chave” que deve estar disponível se a OPT (*Option Pricing Theory*) for aplicada é a volatilidade. Na prática, ela é difícil de se estimar, embora não seja necessariamente mais difícil de se determinar do que as probabilidades empregadas nas análises tradicionais (Newton e Pearson, 1994). A propriedade da volatilidade está contida dentro das fórmulas de OPT e resulta numa opção tendo um maior valor quanto maior for o tempo antes do investimento.

Segundo Perlitz, Peske e Schrank (1999), o parâmetro *volatilidade*, σ , sempre exerce um papel-chave em qualquer modelo de opções. A literatura de aplicação das opções reais mostra que os analistas tipicamente inferem o valor de σ do comportamento histórico da *commodity* ou *security*, assumindo-se ser altamente correlacionada com o ativo real de interesse ou, outros, simplesmente fazem sua avaliação usando o valor da volatilidade de índices de *benchmarks* de amplos mercados financeiros. Na abordagem de Perdue *et al.* (1999), o parâmetro *volatilidade* é modelado como uma função da incerteza do fluxo de caixa especificamente anexado à cada projeto, de tal maneira a usar o julgamento do cliente a respeito daquilo que eles são mais qualificados a julgar – a receita incremental – como fator de diferenciação.

A alternativa mais comum na literatura de opções reais para se calcular o valor da taxa de desconto do ativo de interesse, no caso de projeto de pesquisa, pode ser entendido no sentido de que seu valor é perfeitamente correlacionado a uma construção linear de ativos comercializados, e então usar a abordagem dos ativos contingenciais (*contingent-claims*) para obter uma fórmula de avaliação para a opção (Perdue *et al.*, 1999).

Conforme ressaltam Newton e Pearson (1994), não existem volatilidades publicadas para projetos de P&D, entretanto seria possível que companhias baseadas em P&D obtivessem tais dados. Segundo Lint e Pennings (1998), no caso de se usar os dados históricos para estimar a volatilidade, duas considerações devem ser feitas. São elas:

- Os dados deveriam ser classificados em classes separadas dentro das quais as distribuições possíveis dos resultados financeiros finais expressos como o VPL do projeto, foram estimados por serem suficientemente similares para os dados a serem usados para se calcular um número comum para a variância;
- Se a administração notar que selecionou mais “maus projetos” do que “bons projetos”, então poderia ser razoável argumentar que os dados do passado e projetos atuais poderiam

ser influenciados em favor de projetos bem sucedidos. Desta forma, a matemática das distribuições normais não se aplicaria e cálculos da volatilidade também seriam influenciados.

Um outro problema que surge da observação do ativo subjacente da opção real é a estimação da volatilidade de um ativo não comercializado. Em contraste com as opções financeiras, não existe uma séria histórica que possa ser usada para estimar a incerteza do ativo subjacente. Entretanto é um fato estabelecido que o valor da opção é sensível à incerteza do ativo subjacente. Desta forma, ressaltam Lint e Pennings (1998), ficam requeridas estimativas razoáveis da volatilidade do ativo subjacente.

A volatilidade a ser usada deveria ser calculada a partir de dados históricos de projetos com o mesmo tipo de risco. Entretanto, mesmo por grandes empresas com funções financeiras sofisticadas, sempre é utilizada a mesma taxa de desconto para projetos com diferentes riscos. Desta forma, será difícil obter uma volatilidade histórica que possa refletir fielmente os riscos envolvidos na análise do projeto de P&D a ser considerado (Lint e Pennings, 1998).

Opções de P&D requerem uma abordagem alternativa para estimar a volatilidade. Por exemplo, na Merck é usada a volatilidade da ação para aproximar a volatilidade do VPL dos futuros fluxos de caixa resultantes do processo farmacêutico de P&D (Nichols, 1994). Para Lint e Pennings (1998) esta pode ser uma abordagem viável quando as características de risco de um projeto singular são compatíveis com as características da ação. Tal abordagem é chamada de *twin security*.

Entretanto, o mesmo ponto de vista não é defendido por Amram e Kulatilaka (2000), dizendo que “a abordagem da *twin security* (*security* idêntica) parece muito artificial para práticos de corporações que, freqüentemente, assumem que se eles não puderem prontamente identificar esta *twin security*, toda a análise das opções reais vem abaixo”.

De outra forma Merton (*apud* Amram e Kulatilaka, 2000) mostra que “mesmo que não haja uma *security* do ativo, seu valor pode freqüentemente ser refletido por um portfólio de *securities* comercializadas”. O mesmo autor revê os efeitos das imperfeições em se “rastrear” as opções e ativos subjacentes. Estas imperfeições, que incluem comercialização não freqüente, infreqüente observabilidade de negociações ou preços e liquidez existem em abundância no mercado de ativos reais.

Amram e Kulatilaka (2000) apontam que, para práticos, existem duas percepções do discurso Nobel de Merton. Primeiro, mesmo com imperfeições do mercado, é muito provável que algum tipo de “rastreamento” possa ser estabelecido para o ativo subjacente. Segundo, o

argumento de Merton provê uma definição rigorosa de risco privado. Em sua estrutura, o risco privado é objetivamente definido e medido como o tamanho do erro de rastreamento do ativo subjacente. Ou seja, tanto maior será o risco privado do projeto quanto maior for a dificuldade de se encontrar uma *twin security*. Desta forma, ressaltam Amran e Kulatilaka (2000), a identificação do erro privado é uma questão que pode ser resolvida pelos dados, sendo que o montante de risco privado será reduzido com o tempo, através da *securitização*.

Existem cinco diferentes tipos de volatilidade: a futura, a histórica, a de previsão, a implícita e a sazonal. Normalmente a volatilidade futura não é conhecida, mas determina o eventual valor da opção. A volatilidade histórica é derivada de dados históricos. A volatilidade de previsão é obtida por empresas especializadas ou especialistas. A volatilidade implícita pode ser calculada pelo uso de preços de opções de mercado e certos modelos de precificação de opções. A volatilidade sazonal pode ser obtida olhando-se para preços de certos produtos tais como trigo ou feijão de soja. Finalmente, também é necessário distinguir entre volatilidade constante ou estocástica durante a vida da opção (Sheldon *apud* Perlitz, Peske e Schrank, 1999).

4.11 Qual Tipo de Opção? Européia ou Americana?

Como foi visto anteriormente, existem, principalmente, dois tipos de opções: as americanas, que podem ser exercidas até a data de vencimento e a européia, que pode ou não ser exercida somente na data de vencimento. Além destas, existe um terceiro tipo de opção que pode ser distinguido: a opção composta. Esta última cria opções de opções, ou seja, *calls* de *calls* ou *puts* de *puts*. Neste sentido, poderia ser levantada a seguinte questão: Qual o melhor modelo para ser aplicado na análise de investimentos de P&D? A resposta parece não ser tão trivial, como será visto. A seguir serão tecidos alguns comentários a este respeito, demonstrando também quais os problemas dos dois modelos mais amplamente empregados, o modelo de Black e Scholes e o modelo Binomial.

4.11.1 Questionamento Sobre Qual Tipo de Opção a Empregar

A avaliação de opções americanas é mais difícil do que as opções européias (Perlitz, Teisberg e Kolbe, 1999). Segundo os autores, opções reais são, em sua maior parte, opções americanas, o que complica a avaliação das opções reais. A avaliação de opções de compra e de venda é uma questão difícil por si só e a avaliação da maioria das opções compostas requer matemática avançada e modelos.

Um projeto de investimento freqüentemente contém mais de uma opção, conseqüentemente, não pode-se avaliar simplesmente cada opção separadamente e então somar seus valores, uma vez que a maioria das opções reais são correlacionadas e devem, desta forma, ser analisadas como opções compostas (Trigeorgis, 1997). Todos estes problemas na avaliação de projetos de investimentos tornam a avaliação de opções reais mais difícil do que a precificação padrão de opções financeiras.

Segundo Lint e Pennings (1998), os projetos de P&D podem ser considerados como opção européia quando duas condições se mantêm. Primeiro, a introdução do novo produto no mercado antes do término com sucesso dos estágios de P&D tem graves implicações para a futura fatia do mercado a ser conquistado (*market share*); segundo, a espera pela introdução do novo produto leva às perdas das vantagens conseguidas por aquele que é pioneiro. Especialmente nos mercados que são caracterizados pela diminuição do ciclo de vida dos produtos e crescente concorrência, a vantagem competitiva existe nos estágios iniciais do ciclo de vida do produto. Uma vez que a espera é inútil devido à evaporação das vantagens do pioneiro, estas opções de P&D são européias.

Para os mesmos autores, a menos que as empresas tenham as competências requeridas para explorar as vantagens do pioneiro e superar ações dos futuros concorrentes, ser o primeiro a entrar no mercado não trará vantagem competitiva sustentável ou resultados de desempenho desejados.

Por outro lado, segundo Newton e Pearson (1994), a generalização dos argumentos de P&D para cobrir opções americanas adiciona pouca utilidade. Para os autores, isto se deve a duas razões:

- A diferença em valor entre os dois tipos de opções é insignificante comparada à incerteza atual devido à ausência de dados empíricos das companhias de P&D;
- Não há fórmulas analíticas compreensíveis para opções americanas.

4.11.20 Método de Black e Scholes Aplicado à P&D

O modelo amplamente aceito para opção financeira é o modelo de Black e Scholes (1973) e vários autores o têm aplicado para projetos de P&D (Newton e Pearson, 1994; Sender, 1994). Brealey e Myers (*apud* Faulkner, 1996) também recomendam o uso da fórmula de Black e Scholes para a avaliação de propostas de investimentos em P&D. Muitas técnicas alternativas têm sido sugeridas por outros autores, entretanto, a maior vantagem do uso do método de

Black e Scholes é a rápida e fácil computação do valor da opção. A fórmula em si é complexa, mas pode ser facilmente programada em um computador.

Os problemas para o uso da formulação de Black e Scholes, segundo Faulkner (1996), são dois:

- A complexidade significa que Black e Scholes irá parecer uma “caixa preta” para a maioria dos administradores. As manipulações matemáticas que ocorrem não são facilmente compreendidas e o resultado é freqüentemente contra-intuitivo. Tal fato provavelmente representará uma barreira à aceitação das variações de Black e Scholes;
- As hipóteses simplificadoras. A mais importante para a avaliação os casos de P&D é que a incerteza futura pode ser descrita por uma distribuição log-normal. Esta parece ser uma hipótese razoável para descrever a volatilidade do preço dos ativos, mas pode não ser apropriada para descrever a incerteza associada com os resultados das atividades de pesquisa, desenvolvimento e comercialização.

Angelis (2000) também argumenta que as hipóteses requeridas por tal modelo podem se apresentar aos práticos com alguns problemas difíceis como, por exemplo, a hipótese de que o valor futuro do ativo, ou no caso de P&D – o fluxo de caixa recebido caso os resultados da P&D sejam implementados – segue uma distribuição log-normal e não pode ser negativo, o que pode não ocorrer com todos os projetos de P&D.

As mudanças possíveis de ocorrerem na fase de P&D são uma função do desdobramento dos acontecimentos. Alguns podem influenciar positivamente o fluxo de caixa previsto, enquanto outros, negativamente. Desta forma, um processo de Poisson com *jump* seria capaz de descrever estes movimentos. Assim, a variância do ativo subjacente pode ser decomposta no número de chegadas de informações esperadas e o tamanho do *jump* (salto) esperado muda para cima ou para baixo (Lint e Pennings, 1998).

Trigeorgis (1993) discute o problema de se determinar o valor do ativo subjacente para uma opção real (um parâmetro requerido pelo modelo de Black e Scholes). Essencialmente, se o ativo subjacente não é comercializado no mercado (como é o caso de projetos de P&D), é difícil, se não impossível, estabelecer este valor. Finalmente, reconhece que a volatilidade no modelo de B&S é derivada do “preço relativo” (preço final da ação dividido pelo preço inicial) obtido a partir de dados históricos, o que, geralmente, não existe para projetos de P&D.

4.11.3O Método Binomial Aplicado à P&D

O método binomial de avaliação de opções pode ser visto como uma abordagem de árvore de decisões. Faulkner (1996) realizou análise de sensibilidade que demonstrou que a avaliação por árvore de decisões pode produzir o mesmo valor de Black e Scholes. Para o autor, a abordagem da árvore de decisões oferece duas vantagens sobre Black e Scholes:

- A análise pode ser feita de forma mais visível e compreensível, de tal forma que os resultados contra-intuitivos podem ser menos surpreendentes;
- Não requer o uso de uma distribuição log-normal para descrever a incerteza. De fato, a incerteza pode ser modelada da forma que parecer mais apropriada para o caso em questão.

A maior desvantagem da árvore de decisões, segundo Faulkner (1996) é que é muito demorada. Tal fato pode ser uma desvantagem substancial quando o problema requer grandes árvores para adequadamente captar as opções e incertezas. Morris, Teisberg e Kolbe (1991) também reconhecem o valor do uso da metodologia da árvore de decisões para aplicar os conceitos de avaliação de opções para investimentos de P&D.

Árvores de decisão muito grandes e complexas devem ser evitadas. Requer-se uma abordagem mais flexível para trazer a teoria de precificação de opções na avaliação de P&D. Existem situações onde uma estrutura semi-quantitativa é apropriada, conforme é definido por Sharp (1991). Podem existir casos onde a fórmula de Black e Scholes é a melhor abordagem. Em outras situações o uso da análise do FCD modificado é a solução mais prática, mas, para Faulkner (1996), a questão central é que “nós deveríamos trazer a forma de agir (*mindset*) da teoria de precificação de opções para todos problemas de avaliação de investimentos em P&D”.

Para Perlitz, Peske e Schrank (1999), pode ser facilmente visto que o modelo binomial geralmente permite as mais amplas aplicações e é muito robusto sob condições diferentes. O método oferece a maior possibilidade de aplicações, mas tem alguns problemas metodológicos. A razão para isto é que a contemplação do ativo subjacente é baseada em tempo discreto ao invés de tempo contínuo. A hipótese de tempo contínuo do modelo de Black e Scholes (1973) e do modelo de Geske (1979) permite soluções que tornam o manuseio mais fácil.

Desta forma, um dos dois últimos modelos deveria ser usado (Black e Scholes ou Geske), se aplicável, às opções em consideração (P&D), dizem Perlitz, Peske e Schrank (1999).

Entretanto, como projetos de P&D frequentemente envolvem opções compostas, a metodologia de Black e Scholes, embora sendo a mais aplicada nos casos publicados (Nichols, 1994; Newton e Pearson, 1994; Sender, 1994) não parece ser a solução ótima porque não pode lidar com o efeito da composição. O modelo de Geske é muito mais apropriado, defendem Perlitz, Peske e Schrank (1999).

4.12 Alguns Trabalhos Importantes: Uma Revisão

Myers (1984) foi o primeiro a enfatizar que os métodos tradicionais do fluxo de caixa descontado (FCD) não são adequados para avaliar projetos de P&D porque o valor econômico total de tais investimentos inclui uma opção associada com as oportunidades futuras de comercializar ou alteração do curso. Kester (1984) também compara projetos de P&D com opções que possibilitam o empreendimento e novas oportunidades de investimentos que criam valor.

Uma classe especial de projetos de P&D na qual o valor presente líquido esperado (VPL) é o mesmo para todos os projetos, mas existem diferentes níveis de incerteza e risco, é analisada por Morris, Teisberg e Kolbe (1991). Os autores mostram, baseado numa abordagem de opções e com *capital rationing*, que empreender um projeto mais arriscado é preferível. A razão é que um maior investimento posterior só é realizado na condição de sucesso da P&D, assim, as perdas seriam limitadas ao custo de investimento “afundado” se o investimento em P&D falhar. Os autores usam simples exemplos e aplicam uma análise do tipo “árvore de decisões” para ilustrar e dar suporte à proposição.

Um levantamento de pesquisas que aplicaram a abordagem das opções para avaliação de investimentos em P&D é realizado por Faulkner (1996). Baseado em uma análise do tipo “árvore de decisões” o autor ilustra porquê a estrutura de opções ao invés da técnica tradicional do FCD é mais adequada para avaliações. Ele dá a isto o nome de “avaliação através do pensamento das opções” (*options thinking valuation*). Diferencia entre FCD *mindset* e opções *mindset*, enfatizando que se as empresas do leste desejarem imitar o sucesso japonês elas deveriam se “libertar da abordagem tradicional do FCD” e adotar a abordagem das opções. Em seu artigo, entretanto, Faulkner foca mais a abordagem das opções e estratégia ao invés da avaliação.

Nichols (1994) discute o uso da teoria de precificação por opções para avaliar estratégias de P&D na empresa farmacêutica Merck. Dixit e Pindyck (1994, 1995) apontam que

investimentos em P&D devem ser visto como oportunidades e recomendam o uso da abordagem das opções para avaliá-los. Mitchell e Hamilton (1988) também dividem esta visão.

Embora muitos dos autores mencionados anteriormente tenham discutido ou mencionado a importância da resolução da incerteza através da aprendizagem e adaptação, na abordagem sugerida das opções, este aspecto particular tem, segundo Herath e Park (1999), raramente sido incorporado na avaliação de opções reais. Sem dúvida, Myers (1996) já salientava o fato da comunidade financeira estar negligenciando a avaliação de investimentos em P&D como opções.

4.12.1 Alguns Trabalhos Práticos

Artigos recentes em opções reais têm indicado que a avaliação de projetos de P&D baseada na abordagem das opções tem sido negligenciada pela comunidade financeira. Abordaremos agora alguns dos artigos que procuraram corrigir esta deficiência propondo ou aplicando modelos para avaliação de projetos de P&D.

Herath e Park (1999) desenvolveram um modelo de avaliação que incorpora as características de *risk-free arbitrage* do modelo binomial de precificação numa estrutura de árvore de decisão. Os autores aplicaram o modelo para avaliar o projeto MACH3 da Gillette, para ilustrar como é possível usar a abordagem das opções ao invés do método convencional do FCD ao se avaliar um investimento de P&D envolvendo o lançamento de um novo produto. A abordagem dos autores amplia os métodos de análise econômica tradicionais, ligando as decisões de orçamento de capital a preço de ações dentro de uma estrutura de opções. O propósito dos autores é demonstrar o valor das futuras oportunidades das companhias que se esforçam em manter o crescimento no preço das ações. Desta forma os autores desafiam a típica análise de engenharia econômica que vê projetos de engenharia de forma isolada, conseqüentemente, criando uma lacuna entre a teoria e a prática.

A Gillette poderia, segundo Herath e Park (1999), em 1987, ter usado a abordagem baseada em opções ao invés da abordagem tradicional do FCD para avaliar o investimento em P&D para o desenvolvimento do sistema de barbear MACH3. A análise do investimento em P&D para o sistema de barbear MACH3, usando a abordagem tradicional, obteria um valor de -\$55 milhões para o projeto, e o investimento não seria realizado. Segundo o modelo proposto pelos autores, valendo-se da abordagem das opções, o valor para o projeto seria de \$85 milhões e a decisão seria empreender o investimento. Na análise feita pelos autores, quando

não existe incerteza o valor obtido para o projeto é o mesmo usando as duas abordagens, o que indica que o critério do VPL pode ser usado.

Sharp (*apud* Faulkner, 1996) sugere que a avaliação das opções é preferível ao FCD para investimentos de alto risco. Ele aconselha contra o uso de Black e Scholes para calcular o valor das opções e propõe uma abordagem crítica e estruturada. Ele começa computando o valor do VPL da maneira usual do FCD e então estima o valor adicional das opções em um processo de três passos: (1) identificar opções potenciais específicas e categorizá-las, (2) analisar a incerteza do ambiente para identificar as circunstâncias sob as quais estas opções podem ser exercidas, (3) estimar o valor agregado destas opções usando o julgamento informal dos administradores. Este terceiro passo poderia se valer do método qualitativo a ser visto mais adiante, o STAR[©].

Lint e Pennings (1998) têm três objetivos em seu artigo. Primeiro, definem um modelo para estimar a incerteza do valor de projetos de P&D; segundo, tentam diminuir a lacuna entre a teoria e o empirismo na análise de opções reais, relativo a projetos de P&D, através da apresentação de um exemplo prático; terceiro, procuram, através da abordagem desenvolvida, aumentar a comunicação entre os diferentes departamentos funcionais envolvidos no desenvolvimento de novos produtos baseado em P&D pelo desenvolvimento transparente de uma abordagem para avaliação das opções de P&D.

A abordagem das opções baseada em *jumps* ou mudanças tecnológicas no negócio ou nas circunstâncias do negócio contribuem, segundo Lint e Pennings (1998), para a análise da prática das opções reais em P&D. Segundo os autores, o valor da opção serve como um instrumento prático para a gerência da pesquisa porque: primeiro, o valor calculado indica o tamanho máximo do orçamento de P&D de um ponto de vista econômico; segundo, o valor da opção dos benefícios potenciais para a entrada de novos produtos baseada em P&D é estimada de uma forma apropriada que vai muito além do uso míope de métodos convencionais como o *payback*, VPL, ROI ou métodos percentuais; terceiro, a abordagem das opções pode ser usada na prática para comunicação transparente e abertura de discussões com relevantes divisões de produtos ou unidades de negócio.

No modelo desenvolvido por Perdue *et al.* (1999), a regra do VPL pode ser considerada um caso especial da regra ótima de decisão desenvolvida pelos autores, sendo que esta última dá sempre um valor maior do que a primeira. Na abordagem de Perdue *et al.* (1999), o parâmetro *volatilidade* é modelado como uma função da incerteza do fluxo de caixa especificamente

anexado à cada projeto, de tal maneira a usar o julgamento do cliente a respeito daquilo que eles são mais qualificados a julgar – a receita incremental – como fator de diferenciação.

Uma metodologia formal e prática para avaliar investimentos em infraestrutura de tecnologia da informação é desenvolvido por Balasubramanian, Kulatilaka e Storck (2000). A experiência dos autores em usar a abordagem tem mostrado que ela não somente impacta os resultados, mas também melhora a compreensão de como alinhar os direcionadores operacionais (tecnologias, processos e elementos organizacionais) com as capacidades do negócio e as decisões de investimento. Desta forma, o real valor da abordagem das opções reais está em como ela informa o processo de administração de investimentos de tecnologia da informação.

A metodologia para avaliação de projetos de tecnologia proposta por Balasubramanian, Kulatilaka e Storck (2000) consiste de quatro passos: identificação das capacidades atuais do negócio e das desejadas, projeto de um programa de investimento contingencial para alcançar as capacidades desejadas, estimação dos custos e benefícios da realização das capacidades em termos de fluxo de caixa e avaliação do fluxo de caixa para obter o valor para o investimento.

Balasubramanian, Kulatilaka e Storck (2000) modelaram um programa de investimento usando uma planilha e estimaram o valor do projeto imaginário em \$2.1 milhões. Este resultado foi muito diferente daquele obtido a partir do VPL, o qual promoveu um valor negativo para o projeto (\$380,000). A avaliação das opções reais não inclui somente o valor do VPL obtido seguindo-se o caminho otimista do sucesso assumido, mas também adiciona o valor contingente do projeto a cada ponto de decisão de todos os caminhos possíveis.

Para Balasubramanian, Kulatilaka e Storck (2000), práticos poderão se deparar com desafios na aplicação desta metodologia. O primeiro desafio é superar a tendência executiva em direção às ferramentas analíticas tradicionais e conseguir “vender” a idéia da abordagem das opções. Depois que isto for feito, a difícil tarefa de identificar as capacidades chaves de uma organização tem que ser feita. Mais tarde, os práticos têm que estabelecer a ligação entre a capacidade e a mudança no *market share*. Outro desafio, dizem os autores, é estimar probabilidades para cada ramo da árvore de decisões e o correspondente fluxo de caixa. Finalmente, o desafio-chave é manter rigor na metodologia pela manutenção de um processo disciplinado.

O modelo de Black e Scholes tem sido usado extensivamente para opções financeiras, mas pode ser de difícil aplicação para projetos de P&D, como é apontado por Angelis (2000). Ao invés de usar Black e Scholes, Angelis (2000) sugere que os fluxos de custo e receita

associados com a implementação do projeto sejam usados para medir o valor da opção de P&D. Este modelo capta a incerteza associada com as projeções do fluxo de caixa enquanto simplifica algumas das hipóteses e dados requeridos pelo modelo de Black e Scholes.

A vantagem do modelo proposto por Angelis (2000) é que elimina a necessidade de se fazer algumas hipóteses requeridas pelo modelo de Black e Scholes. Entretanto, o modelo ainda requer que a administração estime a distribuição do fluxo de caixa líquido. Enquanto isto pode ser possível, é mais provável que a administração tenha acesso a duas estimativas separadas: custos de produção e de *marketing* e receitas antecipadas. Por esta razão Angelis (2000) propõe um modelo baseado nas distribuições subjacentes de custos e receitas ao invés do fluxo de caixa líquido. O autor estende o modelo de Morris, Teisberg e Kolbe (1991) para a distribuição normal e ilustra o modelo com um exemplo simples.

Para Angelis (2000) para se tomar uma decisão a respeito de um projeto de P&D, o administrador deve usar dois modelos de incerteza, um para as receitas esperadas e outro para os custos esperados, utilizando funções densidades de probabilidade. Benefícios e custos futuros são incertos e devem ser modelados a amplitude e probabilidade através de uma função densidade de probabilidade.

4.12.2 Um Modelo Qualitativo Para Avaliação de Opções Reais

O artigo de McGrath e MacMillan (2000) descreve um método para avaliar projetos incertos que aproximam o valor da opção através de julgamentos por *scores* a uma série afirmações. As variáveis são: o tamanho e sustentabilidade do fluxo de ganhos potenciais, acelerar ou adiar a adoção no mercado, custos de desenvolvimento, custos de comercialização e de acesso ao mercado, pontos fortes da empresa, respostas prováveis da concorrência, dependência de padrões e o grau de incerteza. Cada variável é medida levantando-se questões que podem ser usadas para avaliar os riscos confrontando-se um projeto proposto com as soluções sugeridas, mesmo que isto exija o abandono ou reconfiguração do projeto. Para os autores, a maior vantagem desta abordagem é que “integra considerações estratégicas e tecnológicas”.

Um administrador de P&D não pode ir colocando certo orçamento ou, em outras palavras, apostando em uma “idéia mirabolante” sem ter o senso de sua importância estratégica (McGrath e MacMillan, 2000). Para tanto, os autores desenvolveram um método qualitativo para avaliação de projetos, baseado no raciocínio das opções reais, denominado STAR[®] (*Strategic Technology Assess Review*), que pode auxiliar a simplificar a decisão e garantir que

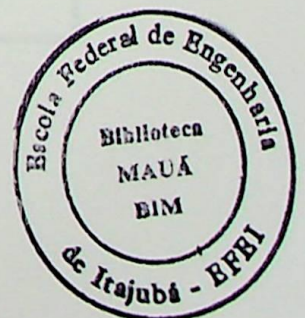
a equipe não tenha se esquecido das variáveis mais importantes. No Japão, em 1998, a Nikkei Shimbun, uma publicadora líder da área de negócios, elegeu o STAR como uma das inovações administrativas mais significativas naquele ano.

À medida que novos marcos são atingidos, tem-se a oportunidade de parar o desenvolvimento adicional ou vender, comercializar, licenciar ou tentar obter algum retorno de outra forma para o investimento em P&D naquele momento. A idéia é manter cada etapa sucessiva do investimento em um mínimo absoluto e freqüentemente reavaliar o projeto. McGrath e MacMillan (2000) chamam a isto “*stepping-stone option*” e as distinguem das “*scouting options*” porque representam créditos, se não, grandes aplicações no mercado. Fluxos de ganhos gerados por “*stepping-stone options*” tornam um programa tecnológico mais valioso e posicionam a empresa a mover agressivamente à medida em que novas oportunidades surgirem.

A tentativa de se aplicar metodologias complicadas a situações incertas é, freqüentemente, fútil. Quanto maior a incerteza, maior a necessidade de se manter as coisas simples; de outra forma, corre-se o risco de se ter alguém fazendo soar um conceito “derretido” (*fuse*) tentando-se tratar ambas as incertezas da situação e a incerteza introduzida pela insistência da administração em se usar metodologias complicadas. Desta forma, McGrath e MacMillan (2000), crêem que o maior benefício de se usar o processo STAR pode ser obtido tomando-se uma abordagem clara de coleta e análise de dados de levantamento (*survey datas*).

Para McGrath e MacMillan (2000), uma maneira de se começar é tendo uma equipe para responder as questões. O grupo ideal é formado por pessoas que tenham diferentes perspectivas da tecnologia e de suas aplicações potenciais, por exemplo, pessoas de vendas, marketing, operações, P&D e desenvolvimento. Uma forma simples de se fazer isto é com caneta e lápis. Com as respostas em mãos, pode-se calcular a média das respostas para cada item (o mais alto menos o mais baixo). Agora é possível rever as respostas com o grupo. É crucial para este processo que todos se sintam confortáveis articulando seu ponto de vista e o fundamento de seu raciocínio.

Os itens que tiveram maior discrepância nas respostas representam uma enorme oportunidade para iniciar discussões em questões que podem ser potencialmente importantes à medida em que o projeto move-se adiante. Desta forma, quando se iniciar a discutir os resultados da pesquisa, deve-se focar primeiramente nos itens que parecem representar maior ponto de discordância.



O objetivo é solicitar cenários alternativos para a razão de tais respostas. Frequentemente descobre-se que a concordância em fatos básicos não leva as pessoas às mesmas conclusões. Isto é sempre interessante e possivelmente útil. Em particular, deve-se focar em áreas nas quais o pessoal técnico e de marketing parece estar em diferenças, pois, como Bower e Christensen (1995) observaram, tecnologias genuinamente com qualidades inesperadas e imprevisíveis frequentemente não preenchem as necessidades de clientes existentes, ainda que possam representar oportunidades substanciais.

O STAR tem sido usado por dezenas de empresas manufatureiras de alta tecnologia nos EUA como uma alternativa mais veloz para o processo enfadonho de avaliação de investimentos frequentemente utilizado. Grupos como o Commercial Development Association estão usando o STAR como uma estrutura para auxiliar os membros a pensar acerca de questões que provavelmente venham a surgir durante o processo de comercialização. O STAR tem sido usado como parte de um portfólio de estratégia administrativa que são apropriadas a um ambiente incerto, como o planejamento dirigido por descobertas (McGrath e MacMillan, 2000).

A filosofia por trás do STAR se adapta a um mundo no qual simplesmente não há tempo de se fazer análises complicadas, ou dinheiro para se investir em projetos cujas oportunidades competitivas são pequenas. Vencedores neste mundo irão agir como empresários, escolhendo opções experimentais, adiando ou desistindo daquelas que não tenham um potencial de ganho substancial e ousadamente captando aquelas oportunidades em um mundo de rápidas alterações competitivas.

4.12.3O Modelo de Kallberg e Laurin

No trabalho de Kallberg e Laurin (1997) foram consideradas duas opções, a *time-to-build* e a opção de crescimento (*growth option*). A primeira opção foi calculada através do método binomial e a segunda, pelo método de Black e Scholes.

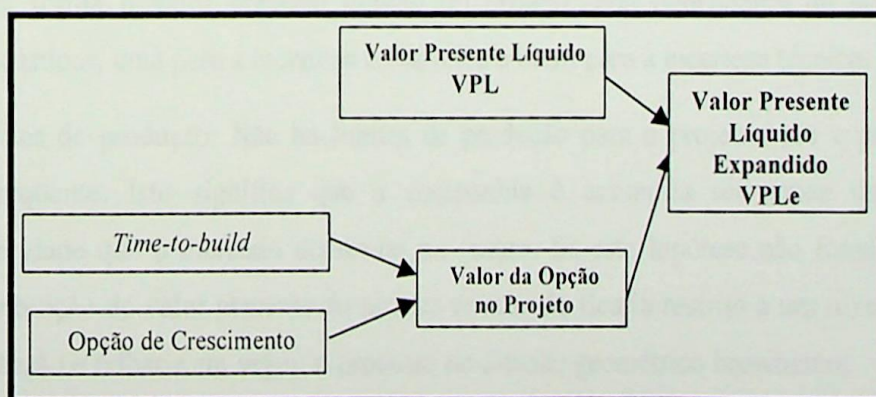


Figura 4.13 – Estrutura Básica do Modelo (Kallberg e Laurin, 1997)

O resultado do modelo é um VPLexpandido, que inclui o valor das opções juntamente com o tradicional VPL. O modelo é constituído de cinco “blocos”, nas quais o projeto é avaliado. Estas fases podem ser vistas como “fases” no procedimento de avaliação do projeto. Desta forma, as “fases”, são:

1. Cálculo do VPL tradicional;
2. Cálculo da opção *time-to-build*;
3. Cálculo da opção de deferimento (compra) ou venda;
4. Cálculo da combinação entre as opções;
5. Cálculo do VPLexpandido.

As hipóteses assumidas no modelo de Kallberg e Laurin são as seguintes:

- Neutralidade ao risco: Esta hipótese é necessária para avaliar opções reais de acordo com a abordagem de replicação através de um portfólio;
- Os dados recebidos da empresa são considerados corretos: Nenhuma mudança é aplicada aos cálculos nem aos dados do material recebido. A taxa de desconto usada para calcular o VPL do projeto é a taxa de desconto usada pela companhia e é assumida ser correta;
- Incerteza econômica: Assume-se que a incerteza econômica influencia o valor presente do projeto terminado e então faz-se com que este (VPL) siga o movimento geométrico Browniano. A razão para a escolha do movimento geométrico Browniano é que este é pré-requisito para a avaliação segundo o modelo de Black e Scholes;
- Incerteza técnica: Assume-se ser conhecida a incerteza técnica inerente no projeto e esta não é correlacionada com o mercado. A probabilidade de sucesso técnico em cada estágio da P&D do projeto é tomada da análise do fluxo de caixa da empresa estudada. A razão para a probabilidade de sucesso nos estágios de desenvolvimento serem certas é de que de outra forma o valor presente líquido do projeto seria dependente de dois processos estocásticos, uma para a incerteza econômica e outro para a incerteza técnica.
- Limites de produção: Não há limites de produção para o projeto base e para o projeto subsequente. Isto significa que a companhia é assumida ser capaz de produzir a quantidade que o mercado demandar no futuro. Se esta hipótese não fosse assumida, a distribuição do valor presente do projeto terminado ficaria restrito a um nível máximo de produção e falharia em seguir o processo de difusão geométrico browniano;

- *Time-to-build option*: Esta opção segue o movimento geométrico browniano, mas no modelo é assumido que esta pode ser aproximada pelo processo binomial discreto. Uma vez que o movimento geométrico browniano é um processo de difusão contínua, o método binomial pode somente aproximar o modelo contínuo. Se, de outra forma, os períodos de tempo da aproximação pelo modelo binomial são assumidos cada vez menores, isto irá eventualmente, no limite, seguir o movimento geométrico browniano (Cox, Ross e Rubinstein, 1979 *apud* Kallberg e Laurin, 1997). A razão para o processo binomial discreto ter sido escolhido é que este é mais fácil de se aplicar em investimentos escalonados. Os investimentos podem ser implementados de uma forma visual na árvore binomial e os cálculos se tornam relativamente fáceis de serem seguidos;
- Estimação da volatilidade: A volatilidade (desvio-padrão) do projeto é estimada utilizando o método da *twin security*. Ao invés de se usar uma *twin security* para o projeto, é usada a média da volatilidade de quatro companhias;
- Custos de investimento: Os custos de investimentos são assumidos serem certos. Como explicado para a incerteza técnica, isto é necessário para se ter as opções assumindo um processo estocástico. Se os custos de investimentos não fossem certos, o valor da opção teria que ser considerado como tendo uma incerteza no preço de exercício. A razão para que esta hipótese seja feita é que os cálculos das opções seriam mais complexos se esta hipótese fosse relaxada.

4.12.40 Modelo de Geske

O valor de um investimento em P&D não é primariamente determinado pelo fluxo de caixa proveniente do investimento, mas das oportunidades de investimentos futuros provenientes do investimento inicial. Desta forma, o valor de um investimento em P&D é determinado por dois componentes principais. Primeiro, pelo valor da oportunidade de investimento inicial (ex.: investir em P&D) e, segundo, pelo valor das oportunidades de investimentos resultantes do investimento inicial (ex.: novos remédios).

Para Perlitz, Peske e Schrank (1999), pode ser facilmente visto que geralmente o método binomial permite a mais ampla possibilidade de aplicações e é muito robusto em diferentes condições. Este método, entretanto, tem problemas metodológicos, dizem os mesmos autores. A razão é que o modelo binomial baseia-se na contemplação do ativo subjacente de forma discreta ao invés de contínua. A hipótese de tempo contínuo dos modelos de Black e Scholes e de Geske fornecem melhores resultados e são de manuseio mais simples.

Como resultado, continuam Perlitz, Peske e Schrank (1999), um dos dois últimos modelos deveria ser usado, se aplicável, para de projetos de P&D. Uma vez que projetos de P&D sempre envolvem opções compostas, a metodologia de Black e Scholes, embora seja a mais usada em casos publicados, parece não ser a solução ótima porque não é capaz de lidar com o efeito da composição. O modelo de Geske é muito mais apropriado, afirmam os autores.

Desta forma surge um problema, a avaliação da opção composta. Geske (1979) desenvolveu uma solução para avaliar este tipo de opção composta. As próximas passagens mostram como este modelo pode ser usado para avaliar investimentos em projetos de P&D com opção de crescimento. Assuma que exista um projeto de P&D no setor farmacêutico, por exemplo. O modelo ilustrado pela figura 4.13 apresenta duas oportunidades de crescimento seguidas ao investimento inicial.

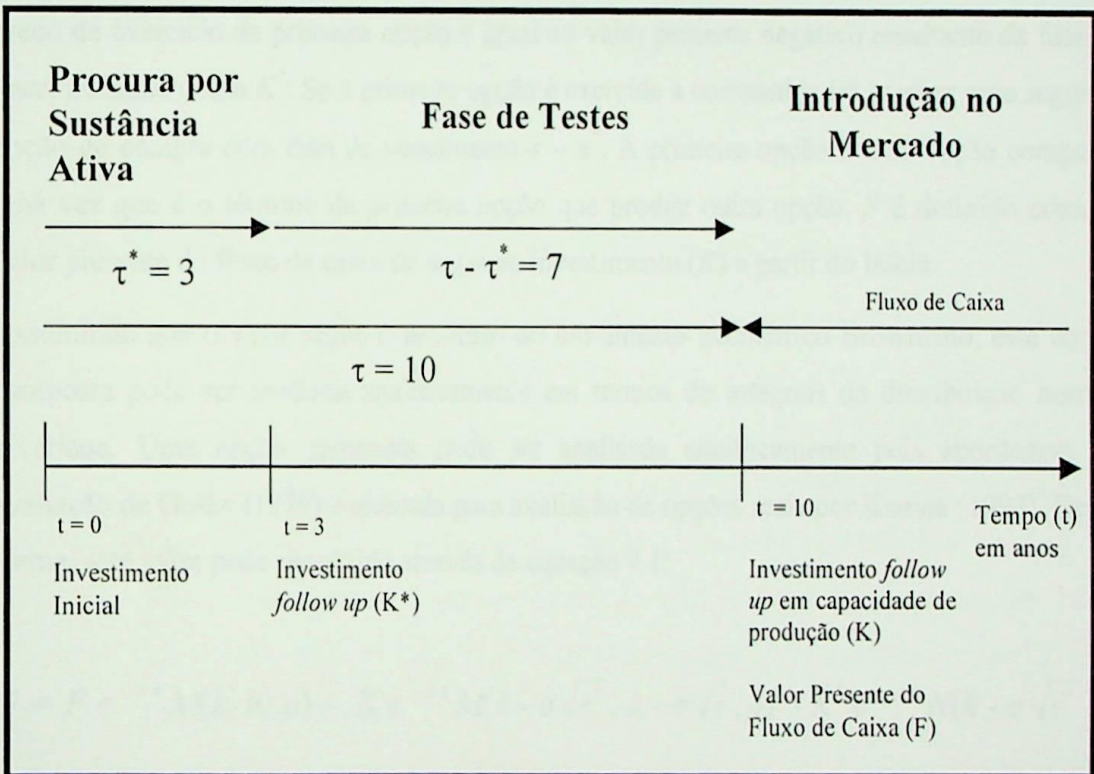


Figura. 4.14 – Ilustração simplificada do processo de P&D para descoberta de uma nova droga (Fonte: Perlitz, Peske e Schrank, 1999).

Por simplificação, o processo de P&D é dividido em duas partes principais. A fase 1 serve para identificar substâncias ativas dentre muitas composições possíveis. Uma vez que uma substância tenha sido identificada como suficientemente promissora, a empresa tem a opção de investir em testes adicionais. A opção de se investir em testes é analisada aqui como a primeira opção, contudo, a segunda opção é representada pela oportunidade de se investir na

capacidade de produção e introdução no mercado. Juntas, ambas as opções formam uma opção composta.

A primeira opção de compra com data de vencimento τ^* é escrita no valor da primeira oportunidade de investimento. É assumido que a companhia farmacêutica crê ser desejável exercer as opções reais em estágios anteriores fazendo um comprometimento de capital inicialmente e então sacrificando o valor da opção de espera. Esta hipótese é, para Perlitz, Peske e Schrank (1999), legítima neste caso porque é esperada uma concorrência forte e a espera poderia implicar a obtenção de uma patente de proteção para um remédio similar. Isto poderia diminuir as futuras entradas de fluxo de caixa severamente.

Desta forma, a data de vencimento da opção é estabelecida como o primeiro momento possível de se fazer o investimento de forma que o próximo investimento pudesse iniciar. O preço de exercício da primeira opção é igual ao valor presente negativo resultante da fase de teste, definido como K^* . Se a primeira opção é exercida a companhia irá receber uma segunda opção de compra com data de vencimento $\tau - \tau^*$. A primeira opção é uma opção composta uma vez que é o término da primeira opção que produz outra opção. F é definido como o valor presente do fluxo de caixa do segundo investimento (K) a partir do início.

Assumindo que o valor segue o processo do movimento geométrico Browniano, esta opção composta pode ser avaliada analiticamente em termos de integrais da distribuição normal bivariada. Uma opção composta pode ser analisada analiticamente pela abordagem de avaliação de Geske (1979) e ajustada para avaliação de opções reais por Kemna (1993). Desta forma, este valor pode ser obtido através da equação 4.1:

$$G = F e^{-r\tau} M(k, h; \rho) - K e^{-r\tau} M(k - \sigma\sqrt{\tau^*}, k - \sigma\sqrt{\tau}; \rho) - K^* e^{-r\tau} N(k - \sigma\sqrt{\tau^*}) \quad \text{Eq. 4.1}$$

Onde:

$$h = \frac{\ln(F / K) + \frac{1}{2}\sigma^2\tau}{\sigma\sqrt{\tau}}$$

$$k = \frac{\ln(F / F_c) + \frac{1}{2}\sigma^2\tau^*}{\sigma\sqrt{\tau^*}}$$

$N(\cdot)$ = função distribuição normal acumulativa univariada;

$M(a, b; \rho)$ = função distribuição normal acumulada bivariada com a e b como os limites superiores e inferiores e coeficiente de correlação ρ ;

$$\rho = \left(\frac{\tau^*}{\tau} \right)^{1/2}$$

F = valor presente do fluxo de caixa da comercialização como no ano dez;

F_c = valor crítico do projeto acima do qual a primeira opção será exercida (este valor, segundo Kemna (1993), pode ser obtido pelo procedimento de Newton-Raphson);

σ = volatilidade da taxa de câmbio da iniciativa de comercialização;

K = valor presente dos gastos da iniciativa de comercialização como do ano sete;

K^* = valor presente dos gastos de capital na iniciativa pioneira;

r = taxa de desconto livre de risco;

τ = data de maturação da opção simples;

τ^* = data de maturação da primeira opção (dentro da opção composta).

Como discutido anteriormente, a volatilidade do valor esperado do fluxo de caixa líquido para as futuras entradas de caixa é um parâmetro importante, embora seja de difícil estimação. Dados históricos podem ser usados como uma aproximação para a volatilidade esperada. Como foi discutido no item 4.10, tipicamente, entretanto, o parâmetro da volatilidade histórica de projetos não é disponível para uma empresa farmacêutica e tem de ser obtido fora da empresa. Deveria ser possível para companhias baseadas em pesquisas, investigando várias empresas, obter muito mais estimativas de volatilidades específicas que sejam compatíveis a um projeto particular da empresa.

O fluxo de caixa ocorre depois da segunda iniciativa quando o produto aprovado é comercializado. Entretanto, para o cálculo do valor da opção, este fluxo de caixa tem que ser descontado para o início da segunda iniciativa usando o custo de capital da empresa. Perlitz, Peske e Schrank (1999) apresentam um exemplo de um projeto do setor farmacêutico avaliado utilizando-se o modelo de Geske e o FCD. Os resultados são os seguintes:

Valor do projeto (FCD) = \$ -4,82 milhões

Valor do projeto (Geske) = \$171,49 milhões



modelo, procurando aplicar o modelo que melhor se adapte às peculiaridades de um dado projeto. Esta talvez seja uma barreira para a utilização da teoria, uma vez que não há, diríamos, um método padronizado para se aplicar a toda e qualquer análise de investimento.

Do trabalho até aqui realizado, pode-se dizer o método binomial se apresenta como uma interessante ferramenta para o cálculo da opção *time-to-build*. O método de Black e Scholes também pode ser usado para o cálculo da opção de deferimento (similar à opção de compra) e opção de abandono (similar à opção de venda). Já o método de Geske (1979), adaptado para opções reais por Kemna (1993), é capaz de tratar o efeito da composição das opções, ou seja, quando há uma *call* de uma *call*, por exemplo. Este é o caso de projetos de pesquisa e desenvolvimento.

Uma vez que o processo de tomada de decisão não é simples e, muitas vezes, envolve milhares ou até mesmo milhões de dólares, a administração deve ficar atenta a esta nova e promissora ferramenta, pagando um determinado “prêmio” na busca pela melhor solução.

CAPÍTULO 5

AVALIAÇÃO DE UM PROJETO REAL DE P&D

UTILIZANDO A TOR

5.1 Considerações Iniciais

Como nos capítulos anteriores discutiu-se largamente a carência de evidências empíricas que demonstrem a possibilidade da utilização da teoria das opções reais para análise de investimentos, procurar-se-á, neste capítulo, avaliar um projeto real de pesquisa e desenvolvimento, contribuindo, desta forma, para a diminuição da lacuna existente entre a teoria e a prática.

O método de pesquisa a ser empregado é a *experimentação* e a forma de coleta de dados é *dados de arquivo*, uma vez que estes foram disponibilizados pela empresa desenvolvedora do produto. Os modelos a serem utilizados na avaliação através da teoria das opções reais baseiam-se na revisão bibliográfica realizada e refletem o *estado da arte*. Tais modelos já foram utilizados em trabalhos publicados.

O trabalho a ser abordado também será avaliado utilizando as técnicas mais amplamente conhecidas: o Valor Presente Líquido (VPL) e a árvore de decisão. Não é objetivo dizer que uma ou outra técnica é a melhor, antes, pelo contrário, apresentar mais uma ferramenta que possa auxiliar no processo de tomada de decisão.

Por fim, espera-se que a demonstração da aplicabilidade da teoria das opções reais, em particular à análise de investimentos em projetos de pesquisa e desenvolvimento, possa lançar luz sobre as pessoas ligadas ao processo de tomada de decisão das empresas, instigando-as a inserirem em suas análises aquela que tem sido mencionada como a *teoria que vai revolucionar o processo de tomada de decisão*.

5.2 Premissas e Características do Projeto

Neste item serão conhecidas as premissas que se mantêm para a aplicação da teoria das opções reais, bem como as características do produto.

5.2.1 As Premissas Básicas Para Aplicação da TOR

Antes de passarmos à descrição do produto escolhido, é importante salientar que as premissas para a aplicação da teoria das opções reais são obedecidas neste caso. São elas:

- Irreversibilidade: uma vez que tenha sido investido um certo montante em pesquisa, ou seja, o “custo afundado” (*sunk cost*), não é possível recuperá-lo no caso de não prosseguimento do projeto;
- Incerteza: um projeto de pesquisa e desenvolvimento é realizado sob incertezas, sejam elas técnicas (não se sabe se o produto “funcionará”) ou econômicas (as condições do mercado, por exemplo). Estas incertezas só são desvendadas através do investimento em pesquisa e prosseguimento do projeto;
- *Timing*: uma vez iniciado o projeto a empresa tem a possibilidade de escolher o momento de introdução no mercado, após ter sido avaliado a viabilidade do projeto. Depois de ter-se iniciado a pesquisa, várias opções são abertas, como por exemplo: abandono do projeto caso este não pareça promissor; parada temporária esperando-se pela resolução de incertezas e por um momento melhor de introdução do produto no mercado; desenvolvimento e comercialização por parte da empresa possuidora do projeto; venda dos direitos de comercialização a terceiros.

5.2.2 Descrição do Produto

O *XPTO* é um sistema desenvolvido pela empresa X para controle de acesso dos assinantes de uma rede de TV a cabo aos serviços de dados em altas velocidades, utilizando o protocolo IP. O sistema é voltado para a oferta do serviço de acesso à internet, embora também possa servir como uma plataforma de abrangência local ou metropolitana para acesso a outros provedores de serviços *on-line*, bem como para acesso remoto à redes privadas corporativas. Embora o produto já tenha sido comercializado e esteja sendo usado na prática, não entraremos em detalhes mais técnicos sobre o produto, uma vez que este é confidencial. O esquema básico para o produto pode ser visto na figura 5.1.

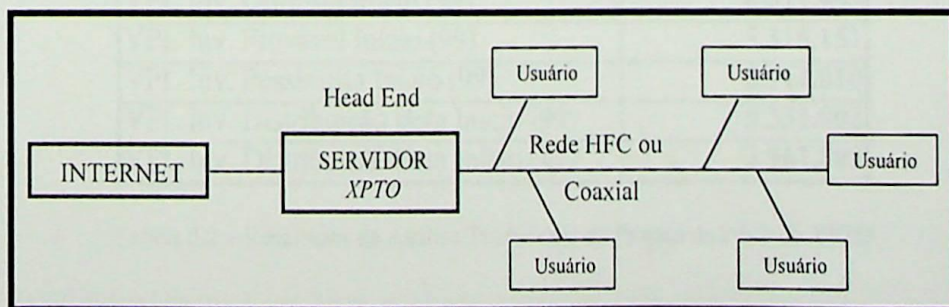


Figura 5.1 – Esquema do produto *XPTO*

5.3 Dados Obtidos Através da Análise Tradicional

Neste item serão apresentados os valores obtidos a partir da análise tradicional. É importante salientarmos que os valores foram obtidos através de uma equipe da empresa desenvolvedora do produto. Parte da análise original, realizada pela empresa X, pode ser vista no apêndice A. É importante ressaltar que os valores foram alterados para se garantir a confidencialidade do projeto. Todavia, o importante é o procedimento a ser adotado.

A avaliação do valor do projeto, desta vez através de modelos de precificação de opções valerá dos dados obtidos através da análise tradicional. Os dados mais importantes são listados nas tabelas abaixo. São estes:

CUSTOS	
Investimentos em Pesquisa (Custo Afundado)	
Inv. Início (1997)	690.944
Inv. Início (1998)	690.944
VP Invest. (1997)	1.286.585
VP Invest. (1999)	1.731.229
Investimentos em Comercialização e Produção	
VP Invest. Início (1999)	5.749.104
VP Invest. Início (1997)	4.272.521

Tabela 5.1 – Custo Afundado e Investimentos para Produção o projeto *XPTO*

ANÁLISE TRADICIONAL	
Para a Receita Total	
VP FC Otimista Início (99)	15.478.115
VP FC Provável Início (99)	11.055.704
VP FC Pessimista Início (99)	6.779.708
VP FC Distribuição Beta Início (99)	11.080.107
VP FC Distribuição Beta Início (97)	8.234.324
Para o Investimento em Produção e Comercialização	
VP Inv. Otimista Início (99)	7.466.713
VP Inv. Provável Início (99)	5.740.554
VP Inv. Pessimista Início (99)	4.065.699
VP Inv. Distribuição Beta Início (99)	5.749.104
VP Inv. Distribuição Beta Início (97)	4.272.521
Receita Líquida Total	
VPL Inv. Otimista Início (99)	8.011.402
VPL Inv. Provável Início (99)	5.315.151
VPL Inv. Pessimista Início (99)	2.714.010
VPL Inv. Distribuição Beta Início (99)	5.331.002
VPL Inv. Distribuição Beta Início (97)	3.961.803

Tabela 5.2 – Resultados da Análise Tradicional do Projeto de P&D do *XPTO*

ANÁLISE POR ÁRVORE DE DECISÃO (AAD)	
Comercialização Própria por Parte da Empresa X	
VP (1999)	5.331.002
VPL (1997)	2.675.218
Venda dos Direitos de Comercialização para Terceiros	
VP (1999)	4.396.000
VPL(1997)	1.980.359

Tabela 5.3 – Resultados da AAD do XPTO.

No estudo a ser realizado, adotar-se-á, o seguinte:

Data 0: Início de 1997 (quando deu-se início à pesquisa);

Data 1: Início de 1998 (quando foi feito um segundo investimento para se ter a opção de desenvolver, ou não, o produto na data seguinte);

Data 2: Início de 1999, quando é necessário que seja tomada a decisão de:

- **compra** = investir na comercialização própria (opção de deferimento, similar à opção de compra), ou;
- **venda** = venda dos direitos de comercialização para terceiros (opção de abandono, similar à opção de venda).

Passemos agora à avaliação do projeto de pesquisa e desenvolvimento do XPTO, através da teoria das opções reais.

O fluxo de caixa abaixo demonstra apenas os resultados obtidos através da utilização da Distribuição Beta.

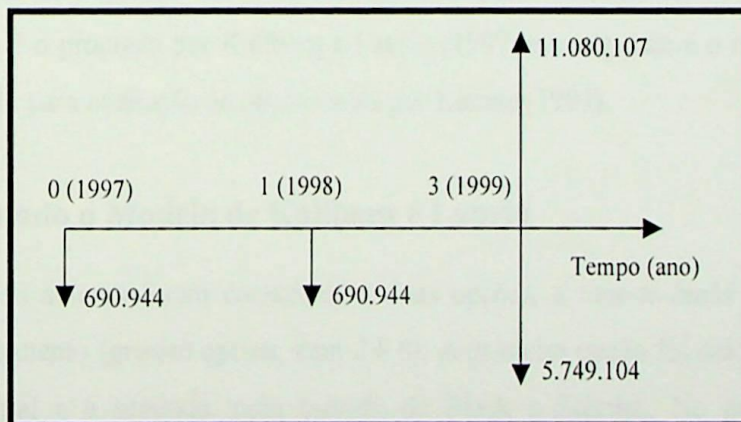


Figura 5.2 – Fluxo de Caixa do XPTO obtido pela análise tradicional e distribuição beta.

Os valores desembolsados com a pesquisa ocorreram de forma contínua (mensalmente), entretanto, para facilitar os cálculos, considerou-se que estes ocorreram nos anos de 1997 e

1998. Para o ano de 1999, após a análise realizada pela forma tradicional, chegou-se aos valores apresentados na figura anterior. Estes números incluem todos os gastos e recebimentos previstos para os nove anos previstos para a vida útil do projeto. Para se ter uma idéia dos fatores que foram considerados na análise pode-se verificar a tabela 5.3.

Para o ano de 2000, tem-se, por exemplo, a seguinte previsão para o fluxo de caixa determinístico para o cenário com o volume mais provável de vendas.

Histórico	2000
Licença	1.759.949
Serviço	527.985
Receita Total Líquida de Impostos	2.287.934
Custos + Despesas	
Custo Variável	168.077
Custo Fixo	233.435
Depreciação	4.680
= Total (Custos alocáveis diretamente)	406.192
Custo Indireto	21.543
<i>Overhead</i>	193.884
Total (Custos + Despesas)	621.619
= Resultado Operacional	1.666.315
(-) Imposto de Renda (25%)	416.579
(-) Contribuição Social (8%)	133.305
= Resultado Operacional Líquido	1.116.431
+ Depreciação	4.680
= Fluxo de Caixa Líquido	1.121.111

Tabela 5.4 - Fluxo de caixa determinístico para o cenário com o volume mais provável de vendas.

5.4 Aplicando a Teoria das Opções Reais

A avaliação que se segue se valerá de dois métodos para o cálculo do valor do projeto. O primeiro deles é o proposto por Kallberg e Laurin (1997) e o segundo é o modelo de Geske (1979), ajustado para avaliação de opções reais por Kemna (1993).

5.4.1 Aplicando o Modelo de Kallberg e Laurin

No trabalho dos autores foram consideradas duas opções, a *time-to-build* (item 3.6.2) e a opção de crescimento (*growth option*, item 3.6.8). A primeira opção foi calculada através do método binomial e a segunda, pelo método de Black e Scholes. No presente trabalho, entretanto, consideraremos como mais importantes as opções de: *deferimento* (que é análoga a uma opção de compra, item 3.6.1), *venda* (venda dos direitos de comercialização para terceiros, similar à opção de abandono, item 3.6.6) e a *time-to-build* (opção de abandono

durante a construção, item 3.6.2). Desta forma, teríamos a seguinte estrutura no processo de cálculo do valor do projeto XPTO:

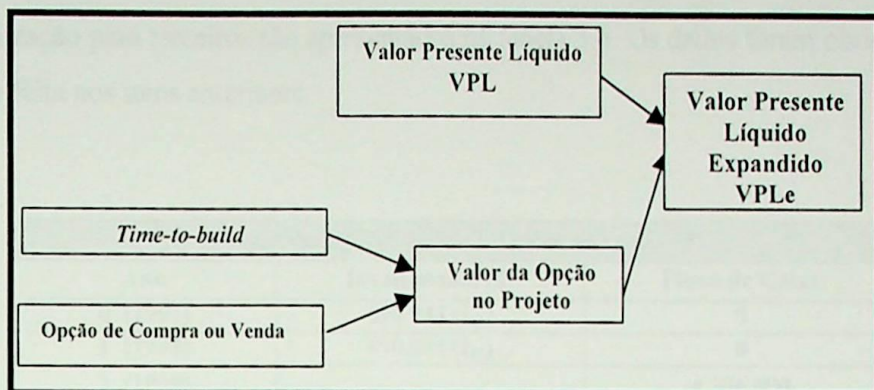


Figura 5.3 – Estrutura Básica do Modelo (adaptado de Kallberg e Laurin, 1997)

O primeiro passo no modelo é o cálculo de valor presente líquido através do método tradicional. Serão consideradas duas alternativas:

1. Comercialização própria por parte da empresa desenvolvedora;
2. Venda dos direitos de comercialização para terceiros.

Passemos, então, a estes cálculos.

5.4.1.1 O valor presente líquido tradicional da opção de compra

Os valores a serem utilizados para os cálculos no caso da opção de comercialização própria por parte da empresa desenvolvedora são apresentados na tabela 5.5. Os dados foram obtidos a partir da análise feita pela própria empresa X.

Análise de Projeto de P&D (Opção de compra - 1)			
Ano	Investimento (\$)	Fluxo de Caixa	Probabilidade (%)
0 (1997)	690.944 (I ₀₁)	0	
1 (1998)	690.944 (I ₂₁)	0	
2 (1999)	5.749.104 (I ₃₁)	15.478.115 (A)	1/6
		11.055.704 (B)	4/6
		6.779.708 (C)	1/6

Tabela 5.5 – Dados do Projeto Real – Opção de compra

O cálculo do valor presente líquido da opção de compra (investimento por parte da empresa X) pelo método tradicional (VPL_{Trad_1}) se dá da seguinte maneira:

$$\begin{aligned}
 VPL_{Trad_1} = & - 690.944 - 690.944*(1,16)^{-1} - 5.749.104*(1,16)^{-2} + \\
 & (15.478.115*1/6 + 11.055.704*4/6 + 6.779.708*1/6)*(1,16)^{-2} = 2.675.218
 \end{aligned}$$

$VPL_{Trad_1} = R\$ 2.675.218$

5.4.1.2 O valor presente líquido tradicional da opção de venda

Os valores a serem utilizados para os cálculos no caso da opção de venda dos direitos de comercialização para terceiros são apresentados na tabela 5.6. Os dados foram obtidos a partir da análise feita nos itens anteriores.

Análise de Projeto de P&D (Opção de venda - 2)		
Ano	Investimento (\$)	Fluxo de Caixa
0 (1997)	690.944 (I_{02})	0
1 (1998)	690.944 (I_{12})	0
2 (1999)		4.396.000

Tabela 5.6 – Dados do Projeto Real – Opção de Venda

O valor para o fluxo de caixa em 2 é o Valor de Mercado $XPTO$ Esperado, obtido através da análise probabilística realizada pela empresa X:

$$[E(\text{Valor de Mercado})] = \text{R\$ } 4.396.000$$

Este valor não é muito diferente daquele obtido pela análise determinística sob o ponto de vista da operadora de tv a cabo, que obteve uma VPL de R\$ 4.119.409, com uma TIR de 70,40% (trabalho original).

O cálculo do valor presente líquido tradicional (VPL_{Trad_2}) se dá da seguinte maneira:

$$VPL_{\text{Trad}_2} = - 690.944 - 690.944 \cdot (1,16)^{-1} + 4.396.000 \cdot (1,16)^{-2} = 1.980.359$$

$$\boxed{VPL_{\text{Trad}_2} = \text{R\$ } 1.980.359}$$

Passemos agora ao cálculo da *time-to-build*, que esta presente nas duas alternativas.

5.4.1.3 O valor do projeto obtido pela árvore de decisão

O valor obtido através da árvore de decisão será:

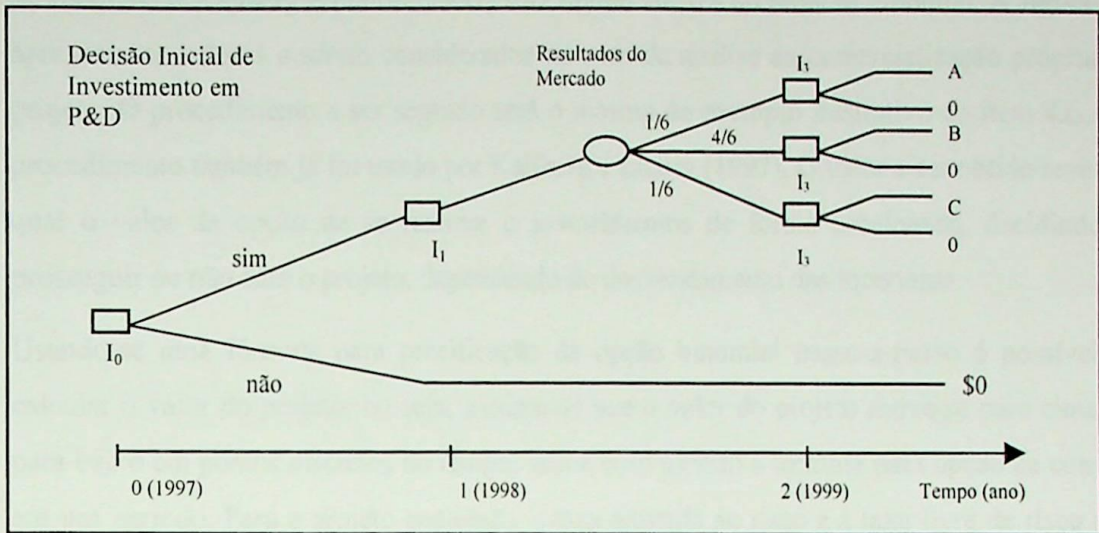


Figura 5.4 – Árvore de Decisão do Projeto de P&D

O valor esperado para o ano 2 [VE(2)] é, desta forma:

$$VE(2) = 1/6*(15.478.115 - 5.749.104) + 4/6*(11.055.704 - 5.749.104) + 1/6*(6.779.708 - 5.749.104) = 5.331.002$$

$$VE(2) = R\$ 5.331.002$$

Descontando-se este valor à data 0 (1997) e adicionando-se os investimentos feitos nos anos 0 e 1, obtém-se o seguinte valor para o projeto:

$$VPL = - 690.944 - 690.944*(1,16)^{-1} + 5.331.002*(1,16)^{-2} = 2.675.217$$

$$VPL(AAD) = R\$ 2.675.218$$

A análise feita pela árvore de decisão geralmente já incorpora o valor das decisões tomadas pela administração quando o cenário para o projeto se mostra desfavorável. O valor para o projeto obtido através da análise por árvore de decisão (AAD) é o mesmo obtido pelo valor presente líquido tradicional, pois o cenário não se mostrou desfavorável em nenhuma situação.

5.4.2 O Cálculo da *Time-to-Build*

O valor da *time-to-build* (valor acrescentado pelo fato de se ter a possibilidade de parar o projeto durante a pesquisa caso os resultados não se mostrem favoráveis), assim como no caso

do modelo de Kallberg e Laurin (1997) será obtido através do modelo binomial. A figura 5.4 apresenta os valores a serem considerados no caso da análise da comercialização própria do projeto. O procedimento a ser seguido será o mesmo do exemplo ilustrativo do item 4.6. Tal procedimento também já foi usado por Kallberg e Laurin (1997). O valor a ser obtido revelará qual o valor da opção de se realizar o investimentos de forma escalonada, decidindo-se prosseguir ou não com o projeto, dependendo do desvendamento das incertezas.

Usando-se uma fórmula para precificação de opção binomial passo-a-passo é possível se calcular o valor do projeto, ou seja, assume-se que o valor do projeto move-se para cima ou para baixo em pontos discretos no tempo. Isto é feito usando a fórmula para opção de compra em um período. Para o projeto analisado, a taxa ajustada ao risco e a taxa livre de risco são, respectivamente, 16% e 6,17% (adotadas pela empresa X). As fórmulas são dadas na figura 4.8.

A distribuição do fluxo de caixa e suas probabilidades reais correspondentes podem ser replicadas em uma árvore binomial. Estas probabilidades não foram assumidas na análise original por parte da empresa X, desta forma, as probabilidades reais q e $1 - q$, em cada ramo, serão assumidas iguais a 0.5. Estas, entretanto, podem variar. A probabilidade q representa a possibilidade de sucesso ao avançar de uma fase para outra e, portanto, dependerá das estimativas por parte da administração. Os cálculos abaixo são feitos adotando-se o valor $q = 0,5$, entretanto, estes valores podem variar de acordo com as previsões gerenciais. Os valores A, B e C são mostrados na tabela 5.5.

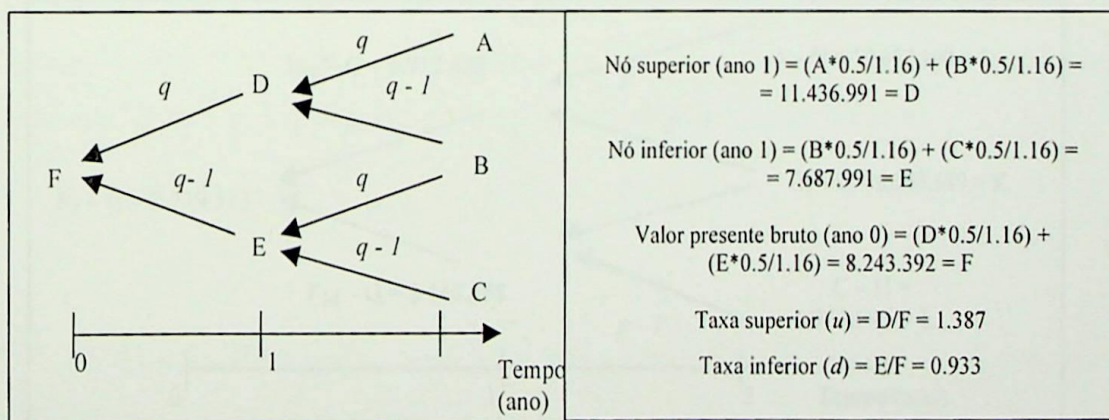


Figura 5.5 - Árvore Binomial do Projeto de P&D

Todos os parâmetros agora estão disponíveis para a probabilidade neutra ao risco e podem ser inseridas na equação. Assim:

$$p = (1.0617 - 0.933) / (1.387 - 0.933) = 0.283$$

Quando se incluem os investimentos na árvore binomial, estes devem ser seus equivalentes certos (ver tabela 5.6). Isto desde que todos os fluxos na árvore sejam descontados à taxa ajustada ao risco. É importante observar que o investimento de \$5.749.104 no ano 2 é igual a um investimento de um equivalente certo de \$4.816.015 quando são descontados usando suas taxas de desconto correspondentes, por 16% e 6.17% [$5.749.104 \cdot (1.16)^{-2} = 4.272.521$ o que é igual ao equivalente certo $4.272.521 \cdot (1.0617)^2 = 4.816.015$, quando descontado à data zero].

Fluxo de caixa esperado	Equivalente certo do fluxo de caixa
\$690.944	\$ 578.803 (G)
\$5.749.104	\$ 4.816.015 (H)

Tabela 5.7 – Equivalente certo do fluxo de caixa do projeto de P&D

Por exemplo, o VPL estendido (VPL_e) para o nó superior, calculado voltando-se um período, do ano 2 para o ano 1, usando as fórmulas da figura 4.8, fornece:

$$F_{1u} = \frac{0.283 \cdot 10.662.100 + (1 - 0.283) \cdot 6.239.689}{1.0617} = 7.055.883 = F_{1u}$$

$$F_{1d} = \frac{0.283 \cdot 6.239.689 + (1 - 0.283) \cdot 1.963.693}{1.0617} = 1.989.357 = F_{1d}$$

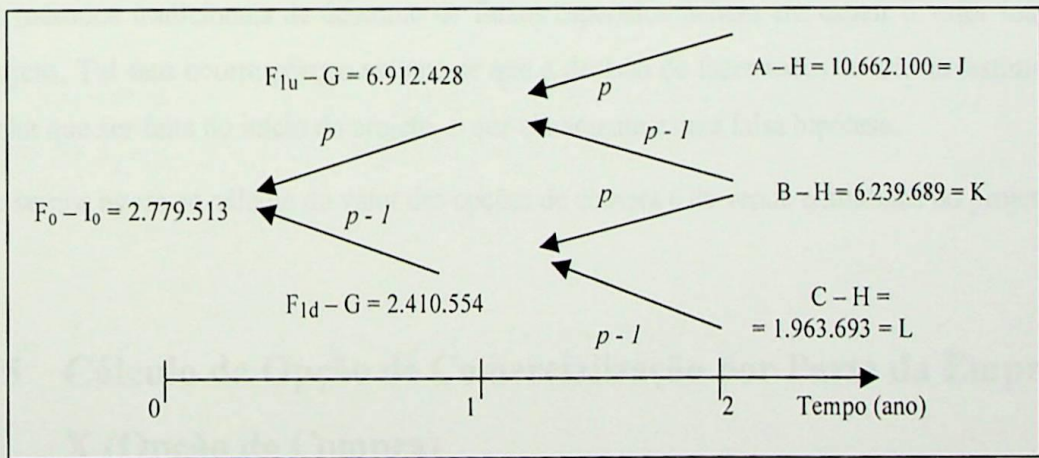


Figura 5.6 – Árvore Binomial do Projeto XPTO

É possível calcular o valor do projeto na data 0, usando a fórmula da figura 4.8. Assim:

$$F_0 = \frac{0.283 \cdot 6.912.428 + (1 - 0.283) \cdot 2.410.554}{1.0617} = 3.470.457$$

Como visto na figura 5.5 o $VPL_{\text{expandido}}$ (que inclui a opção *time-to-build*) para o projeto de P&D na data zero é:

$$VPL_{\text{expandido}} = \$3.470.457 - \$690.944 = \$2.779.513$$

$$VPL_{\text{expandido}} = \text{R\$ } 2.779.513$$

Comparando este valor com aquele obtido pelo tradicional VPL, que havia fornecido um valor de R\$ 2.675.218, revela-se que a inclusão da flexibilidade presente no projeto, a *time-to-build option*, tem um valor de:

Valor da Opção *time-to-build* (opção de compra - 1):

$$= VPL_{\text{expandido}} - VP_{\text{trad}} = 2.779.513 - 2.675.218 = 104.295$$

$$\text{Valor da Opção time-to-build (1)} = \text{R\$ } 104.295$$

Valor da Opção *time-to-build* (opção de venda):

$$= VPL_{\text{expandido}} - VP_{\text{trad}} = 2.779.513 - 1.980.359 = 799.154$$

$$\text{Valor da Opção time-to-build (2)} = \text{R\$ } 799.154$$

Os métodos tradicionais de desconto de fluxos esperados falham em captar o valor total do projeto. Tal fato ocorre porque assume-se que a decisão de fazer todos os três investimentos tenha que ser feita no início do projeto, o que claramente é uma falsa hipótese.

Passemos agora ao cálculo do valor das opções de compra e de venda embutidas no projeto.

5.5 Cálculo da Opção de Comercialização por Parte da Empresa X (Opção de Compra)

Opção de compra é o valor adicionado ao projeto pelo fato do investidor ter o direito, mas não a obrigação, de mais tarde optar pela continuação do projeto através do exercício da opção (investimento em produção), obtendo-se o fluxo de caixa do projeto como o ativo subjacente. Esta opção pode ser encarada como a opção de *deferimento* (item 3.6.1). Como esta opção só

pode ser exercida na data de vencimento, será considerada como uma opção européia, utilizando a fórmula de Black e Scholes para opção de compra.

No modelo de Kallberg e Laurin (1997) considerou-se a opção de crescimento, além da *time-to-build*. No nosso caso, entretanto, considerar-se-á a opção de compra (deferimento), uma vez que crê-se haver uma obsolescência do produto com o passar do tempo, não vislumbrando-se nenhuma outra possibilidade de lançamento de uma versão mais avançada do produto. Valeremos do modelo de precificação de Black e Scholes (1973) para o cálculo do valor das opções. Este modelo tem sido um dos mais utilizados em P&D (Nichols, 1994; Minardi, 2000).

Os valores a serem introduzidos na fórmula de precificação de opção de compra de Black e Scholes são os seguintes:

Opção Financeira	Opção de P&D (Compra)
Valor do Ativo Subjacente (S)	Fluxo de Caixa do Projeto em: (1999) = 11.080.107 (1997) = 8.234.324
Preço de Exercício da Opção de Compra do Projeto de P&D (E)	Investimento em Comercialização em: (1999) = 5.749.104 (1997) = 4.272.521
Prêmio da Opção de P&D (Deve ser comparado ao valor da opção obtido por B&S)	Investimento total em Pesquisa em: (1999) = 1.731.229 (1997) = 1.286.585
Data de Vencimento (1999)	2 anos
Desvio-Padrão = Volatilidade	30% - adotada (Deve ser obtida a partir de ativos idênticos - <i>twin security</i>)

Tabela 5.8- Analogia de P&D com opções financeiras – O caso estudado: opção de compra

Com os dados da tabela 2.5, pode-se então inseri-los na fórmula de Black e Scholes para opção de compra. As fórmulas são dadas pela figura 2.5.

No caso estudado será utilizada a seguinte fórmula.

$$C = S_0 N(d_1) - E e^{-rt} N(d_2)$$

Onde:

S_0 = Preço do ativo na data zero (1997) = Fluxo de Caixa do Projeto em 1997 = 8.234.324.;

E = Preço de Exercício em 1999 = Investimento em Comercialização em 1999 = 5.749.104;

r = 6,17 % a.a. ;

σ = 30% (adotada, mas deveria ser obtida a partir de ativos idênticos - *twin security*);

$t = 2$ anos.

Desta forma, tem-se:

$$d_1 = [\ln (8.234.324 / 5.749.104) + (0,0617 + 0,5 * 0,3^2) * 2] / 0,3 * \sqrt{2} = 1,35$$

$$d_2 = d_1 - \sigma \sqrt{t} = 1,35 - 0,3 * \sqrt{2} = 0,93$$

$$N(d_1 = 1,35) = 0,4115$$

$$N(d_2 = 0,93) = 0,3228$$

Efetuando as operações, obtém-se o valor para a opção de compra do projeto de P&D:

$$C = 8.234.324 * 0,4115 - 5.749.104 e^{-0,0617 * 2} 0,3228$$

C = R\$ 1.748.055

Este valor deve ser comparado com o prêmio (investimento em pesquisa) total descontado ao ano de 1997 (Inv. = 1.286.585).

Como o valor da opção de compra $C = 1.748.055 > I = 1.286.585$, é dito que a opção está “no dinheiro”. Desta forma, um projeto que me dê a opção de, nas condições assumidas, ter o direito, mas não a obrigação de continuar com o projeto deve ter o valor “C” adicionado ao valor do projeto.

5.6 Venda dos Direitos de Comercialização Para Terceiros

Opção de venda é o valor adicionado ao projeto pelo fato do investidor ter o direito, mas não a obrigação de, mais tarde, optar pela venda dos direitos de comercialização para terceiros. Ela deve ser encarada como uma opção de *abandono*. Na opção de abandono o preço de exercício é igual à economia conseguida com a venda dos ativos ou de sua melhor utilização; no nosso caso, entretanto, o preço de exercício será visto como o valor a ser obtido pela venda dos direitos de comercialização para terceiros. Como esta opção só pode ser exercida na data de vencimento, será considerada como uma opção européia, sendo utilizado para o seu cálculo a fórmula de Black e Scholes para opção de venda.

Os valores a serem introduzidos na fórmula de precificação de opção de venda de Black e Scholes são os seguintes:

Opção Financeira	Opção de P&D (Venda)
Valor do Ativo Subjacente (S)	Valor Presente do Projeto no caso de comercialização própria. VP = 11.080.107 (1999) VP = 8.234.324 (1997)
Preço de Exercício da Opção de Venda do Projeto de P&D	Valor obtido pela venda dos direitos de comercialização para terceiros. E(Valor de Mercado) = 4.396.000 (1999) E(Valor de Mercado) = 3.266.944 (1997)
Prêmio pago pela Opção de Venda do Projeto de P&D	Investimento em Pesquisa em: (1999) = 1.731.229 (1997) = 1.286.585
Data de Vencimento (1999)	2 anos
Desvio-Padrão = Volatilidade	30% - adotada (Deve ser tirada de ativos idênticos - <i>twin security</i>)

Tabela 5.9 - Analogia de P&D com opções financeiras – O caso estudado: opção de venda

Com os dados do tabela 5.9, pode-se então inserí-los na fórmula de Black e Scholes para opção de compra (ver fig. 2.5).

$$P = E e^{-rt} N(-d_2) - S_0 N(-d_1)$$

Onde:

S_0 = Preço do ativo na data zero (1997) - obtido pela exploração própria por parte da empresa desenvolvedora do projeto = 8.234.324;

E = Preço de Exercício em 1999 = Preço de venda do projeto = $E(\text{Valor de Mercado}) = 4.396.000$ (1999);

r = 6,17 % a.a. ;

σ = 30% (adotada, mas deveria ser obtida a partir de ativos idênticos - *twin security*);

t = 2 anos.

Desta forma, tem-se:

$$d_1 = [\ln (8.234.324 / 4.396.000) + (0,0617 + 0,5 * 0,3^2) * 2] / 0,3 * \sqrt{2} = 1,98$$

$$d_2 = d_1 - \sigma \sqrt{t} = 1,98 - 0,3 * \sqrt{2} = 1,56$$

$$N(-d_1) = N(-1,98) = 0,5 - 0,4761 = 0,0239$$

$$N(-d_2) = N(-1,56) = 0,5 - 0,4406 = 0,0594$$

Efetuando as operações, obtem-se o valor para a opção de venda do projeto de P&D:

$$P = 4.396.000 e^{-0,0617 * 2} 0,0594 - 8.234.324 * 0,0239$$

$$P = \text{R\$ } 34.008$$

Como o valor da opção $P = \text{R\$ } 34.008 < \text{Invest. em pesquisa} = \text{R\$ } 1.286.585$, conclui-se que a opção está *fora do dinheiro*, ou seja, não valeria a pena vender o projeto.

5.7 Valor Total do Projeto: Comercialização Própria Por Parte da Empresa X

No caso que estamos considerando, foram analisadas duas opções: a *time-to-build* e a opção de comercialização (compra), obtida pela fórmula de Black e Scholes. Os cálculos seguiram o que fora proposto por Kallberg e Laurin (1997) pelo fato de haver uma forte analogia entre os projetos analisados. Assim como no estudo de Kallberg e Laurin (1997), as duas opções serão consideradas aditivas, não sendo feito uma análise da interação entre elas. Desta forma, o valor obtido para o projeto será:

$$VPL_{(TOR)_1} = VPL_{Trad_1} + \textit{Time-to-build} + \textit{Opção de Compra (C)}$$

Onde:

- $VPL_{(TOR)_1}$: Valor do projeto obtido pela TOR considerando-se a comercialização própria por parte da empresa desenvolvedora do produto;
- VPL_{Trad_1} : Valor Presente Líquido obtido pela forma tradicional para o caso de comercialização própria por parte da empresa;
- Opção *Time-to-build* (Escalonamento): A construção em estágios cria a opção de abandonar o projeto se a informação a respeito do seu valor não for favorável. Cada estágio pode ser visto como uma opção de compra no valor dos estágios subsequentes e como tais, ser avaliada como uma opção de compra composta.
- Opção de Compra (C): É o valor adicionado ao projeto pelo fato do investidor ter o direito, mas não a obrigação, de mais tarde optar pela continuação do projeto através do exercício da opção (investimento em produção), obtendo-se o fluxo de caixa do projeto como o ativo subjacente.

Como já estão disponíveis os valores em questão, pode-se obter o resultado final. Assim:

$$\text{VPL}_{\text{Trad}_1} = \text{R\$ } 2.675.218$$

$$\text{Valor da Opção } \textit{time-to-build} = \text{R\$ } 104.295$$

$$C = \text{R\$ } 1.748.055$$

$$\text{VPL}_{(\text{TOR})_1} = \text{VPL}_{\text{Trad}_1} + \textit{Time-to-build} + \text{Opção de Compra (C)}$$

$$\text{VPL}_{(\text{TOR})_1} = 2.675.218 + 104.295 + 1.748.055 = 4.527.568$$

Logo:

$$\text{VPL}_{(\text{TOR})_1} = \text{R\$ } 4.527.568$$

Como pode-se perceber, a inclusão das opções presentes no projeto aumentou em cerca de 70% o valor do primeiro cálculo. Tal análise vem a corroborar com tudo aquilo que tem sido mencionado pela literatura da teoria das opções reais, ou seja, a análise dos investimentos feita pela forma tradicional tem ignorado as flexibilidades presentes nos projetos. Tal fato ocorre porque a análise tradicional considera como se todas as decisões tivessem que ser tomadas no início do projeto, o que naturalmente é uma falsa hipótese.

Vejamos agora qual será o valor do projeto caso opte-se pela venda dos direitos de comercialização a terceiros.

5.8 Valor Total do Projeto: Venda dos Direitos de Comercialização Para Terceiros

No caso que estamos considerando, foram analisadas duas opções: a *time-to-build* e a opção de venda dos direitos de comercialização (venda), obtida pela fórmula de Black e Scholes). Os cálculos seguiram o que fora proposto por Kallberg e Laurin (1997) pelo fato de haver uma forte analogia entre os projetos analisados. Assim como no estudo de Kallberg e Laurin (1997), as duas opções serão consideradas aditivas, não sendo feito uma análise da interação entre elas. Desta forma, o valor obtido para o projeto será:

$$VPL_{(TOR)_2} = VPL_{Trad_2} + Time-to-build + Opção de Venda (P)$$

Neste caso, além dos fatores já anteriormente abordadas ($VPL_{Trad_2} + time-to-build$), inclui-se o valor da opção de venda . Assim:

- $VPL_{(TOR)_2}$: Valor do projeto obtido pela TOR considerando-se a venda dos direitos de comercialização para terceiros;
- Opção de Venda : É o valor adicionado ao projeto pelo fato do investidor ter o direito, mas não a obrigação, de mais tarde optar pela venda dos direitos de comercialização para terceiros.

Como já estão disponíveis os valores em questão, pode-se obter o resultado final. Assim:

$$VPL_{Trad_2} = R\$ 1.980.35$$

$$\text{Valor da Opção } time-to-build = R\$ 799.154$$

$$P = R\$ 34.008$$

$$VPL_{(TOR)_2} = VPL_{Trad_2} + Time-to-build + Opção de Venda (P)$$

$$VPL_{(TOR)_2} = 1.980.359 + 799.154 + 34.008 = 2.813.521$$

Logo:

$$VPL_{(TOR)_2} = R\$ 2.813.521$$

Como pode-se perceber, a inclusão das opções presentes no projeto aumentou em cerca de 42% o valor do primeiro cálculo. Tal análise vem a corroborar com tudo aquilo que tem sido mencionado pela literatura da teoria das opções reais, ou seja, a análise dos investimentos feita pela forma tradicional tem ignorado as flexibilidades presentes nos projetos. Tal fato ocorre porque a análise tradicional considera como se todas as decisões tivessem que ser tomadas no início do projeto, o que naturalmente é uma falsa hipótese.

5.9 Considerações Finais Sobre os Valores Obtidos Pelo Modelo da Kallberg e Laurin

As duas análises realizadas revelaram que a opção de comercialização própria por parte da empresa desenvolvedora do produto *XPTO* apresenta um valor presente maior, incluídas as flexibilidades embutidas no projeto.

$$\boxed{VPL_{(TOR)_1} = R\$4.527.568} > \boxed{VPL_{(TOR)_2} = R\$ 2.813.521}$$

Desta forma, a menos que alguma empresa esteja disposta a pagar o equivalente a $VPL_{(TOR)_1} = R\$ 4.527.568$, pela aquisição dos direitos de exploração, será preferível optar pela comercialização própria por parte da empresa.

5.10 Cálculo do Valor do Projeto Utilizando o Modelo de Geske

O modelo a ser utilizado neste momento já foi largamente comentado no item 4.12.4. Geske (1979) desenvolveu uma solução para avaliar a *opção composta*. O modelo ilustrado pela figura 4.13 apresenta duas oportunidades de crescimento seguidas ao investimento inicial. Para o caso do projeto do produto *XPTO*, pode ser feita uma analogia, como pode ser visto pela figura 5.7.

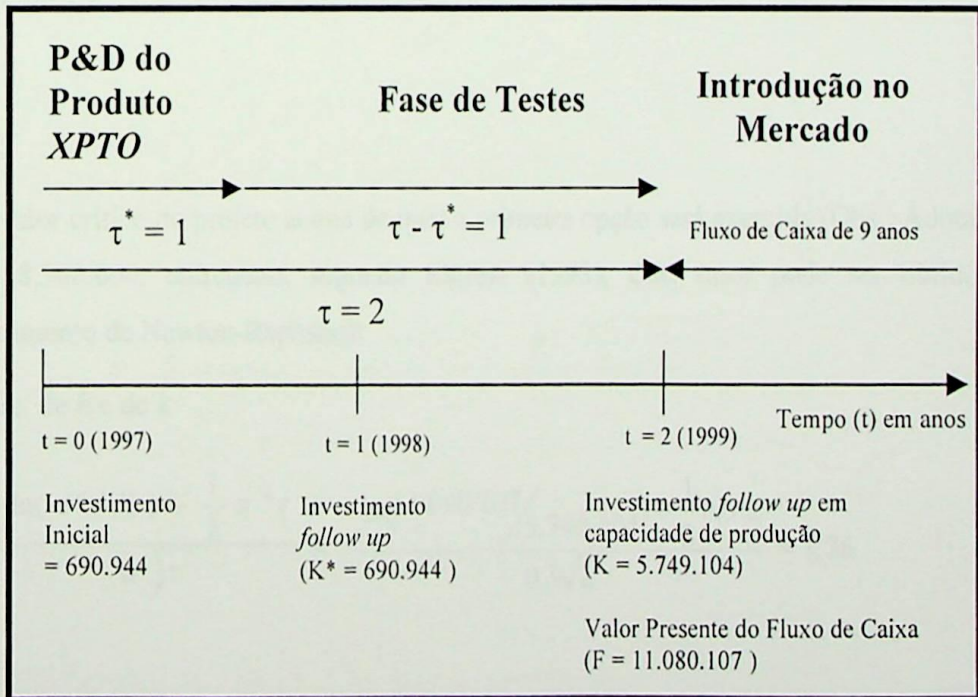


Figura. 5.7 – Ilustração Simplificada do Processo de P&D do *XPTO* (adaptado de Perlitz, Peske e Schrank, 1999).

Perlitz, Peske e Schrank (1999) aconselham que o modelo de Geske seja utilizado no cálculo de opções com as características do projeto anteriormente ilustrado. Segundo os autores, assumindo que o valor do projeto segue o processo do movimento geométrico Browniano, esta opção composta pode ser avaliada analiticamente em termos de integrais da distribuição normal bivariada. Uma opção composta pode ser analisada analiticamente pela abordagem de avaliação de Geske (1979) e ajustada para avaliação de opções reais por Kemna (1993), como o seguinte:

$$G = F e^{-r\tau} M(k, h; \rho) - K e^{-r\tau} M(k - \sigma\sqrt{\tau^*}, k - \sigma\sqrt{\tau}; \rho) - K^* e^{-r\tau} N(k - \sigma\sqrt{\tau^*})$$

O significado de cada variável pode ser encontrado no item 4.12.4. Desta forma, passemos ao cálculo da opção.

$$\rho = \left(\frac{\tau^*}{\tau} \right)^{1/2} = (1/2)^{0,5} = 0,707$$

$$F = \text{R\$ } 11.080.107;$$

$$\sigma = 0,3;$$

$$K = \text{R\$ } 5.749.104;$$

$$K^* = \text{R\$ } 690.944;$$

$$r = 6,17\% \text{ a. a.};$$

$$\tau = 2;$$

$$\tau^* = 1;$$

F_c = valor crítico do projeto acima do qual a primeira opção será exercida (Obs.: Adotaremos $F_c = 8.500.000$, entretanto, segundo Kemna (1993), este valor pode ser obtido pelo procedimento de Newton-Raphson);

Cálculo de h e de k .

$$h = \frac{\ln(F / K) + \frac{1}{2}\sigma^2\tau}{\sigma\sqrt{\tau}} = \frac{\ln(11.080.107/5.749.104) + \frac{1}{2}0,3^2 \cdot 2}{0,3\sqrt{2}} = 1,76$$

$$k = \frac{\ln(F / F_c) + \frac{1}{2} \sigma^2 \tau^*}{\sigma \sqrt{\tau^*}} = \frac{\ln(11.080.107 / 8.500.000) + \frac{1}{2} 0,3^2 1}{0,3 \sqrt{1}} = 1,03$$

$$N(k - \sigma \sqrt{\tau^*}) = N(1,03 - 0,3 \sqrt{1}) = N(0,73) = 0,2673$$

$$M(k, h; \rho) = M(1,03, 1,76; 0,707) \cong 1,00 \text{ (obtido por aproximação de Owen, 1962).}$$

$$M(k - \sigma \sqrt{\tau^*}, k - \sigma \sqrt{\tau^*}; \rho) = M(0,73, 0,61; 0,707) \cong 0,75 \text{ (obtido por aproximação de Owen, 1962).}$$

Utilizando-se, então, a fórmula de precificação de opção composta de Kemna, resulta um valor da opção composta de:

$$G = \text{R\$ } 5.819.300$$

O valor do projeto consiste do valor presente dos ativos alocados (*assets in place*) e o valor presente das oportunidades de crescimento captado com a avaliação da abordagem baseada em opções.

- Valor do projeto = custo afundado + oportunidades de crescimento;
- O valor presente do investimento inicial (*sunk cost*) é de R\$ -690.944;
- O valor presente das oportunidades de crescimento é igual ao valor da opção composta G= R\$ 5.819.300;
- O valor de se investir no projeto XPTO tem, portanto, valor total igual a

$$\text{VPL (Geske)} = \text{R\$ } 5.819.300 - \text{R\$ } 690.944 = 5.128.356$$

Assim:

$$\text{VPL (Geske)} = \text{R\$ } 5.128.356$$

O valor presente líquido do projeto, calculado da maneira tradicional havia produzido um valor de R\$ 2.675.218. O valor obtido pelo modelo de Geske, feitas as ressalvas às aproximações, é cerca de 92% maior do que aquele obtido pelo modelo tradicional.

5.11 Considerações Finais

A tabela abaixo resume os resultados obtidos pela aplicação dos vários métodos.

Método	Resultado (R\$)
Valor Presente Líquido – Comercialização Própria (VPL_{Trad_1})	2.675.218
Valor Presente Líquido – Venda dos Direitos (VPL_{Trad_2})	1.980.359
Análise por Árvore de Decisão ($AAD_{_1}$)	2.675.218
Análise por Árvore de Decisão ($AAD_{_2}$)	1.980.359
Valor Presente Líquido pelo Método de K&L ($VPL_{(\text{TOR})_1}$)	4.527.568
Valor Presente Líquido pelo Método de K&L ($VPL_{(\text{TOR})_2}$)	2.813.521
Valor Presente Líquido pelo Método de Geske ($VPL_{(\text{Geske})}$)	5.128.356

Como fôra apontado pela literatura, a análise feita através da teoria das opções reais apresentou resultados superiores aos da análise tradicional. Isto vem a comprovar tudo aquilo que havia sido mencionado. Não pode-se dizer, entretanto, que a utilização da TOR é isenta de falhas, devendo esta ser vista como mais uma importante ferramenta no processo de tomada de decisões. Caberá à administração, portanto, lançar mão desta nova abordagem que permite captar o efeito de fatores intangíveis como a tão falada flexibilidade administrativa.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Ao término deste trabalho pode-se dizer que os objetivos aos quais este se propôs foram atingidos, a saber:

- Levantamento do estado da arte e da prática da análise de investimentos utilizando a Teoria das Opções Reais (TOR), dando maior ênfase aos trabalhos que focam o tema pesquisa e desenvolvimento (P&D) – Realizado no capítulo 3;
- Levantamento das limitações dos métodos tradicionais de orçamento de capital (FCD - VPL e TIR, Árvore de Decisões) - Realizado no capítulo 2;
- Escolha de um modelo que melhor se adapte à avaliação de projetos de pesquisa e desenvolvimento, baseado na revisão bibliográfica – Abordado no capítulo 4;
- Aplicação da teoria para verificar o impacto do uso da TOR em um projeto real de P&D - Realizado no capítulo 5;
- Comparação dos resultados obtidos através dos modelos tradicionais com aquele obtido pela Teoria das Opções Reais - Realizado no capítulo 5;
- A *Hipótese A* que dizia que a utilização das técnicas tradicionais tende a subavaliar certos investimentos, principalmente aqueles que tenham as características de *timing*, irreversibilidade e incerteza, podendo conduzir a resultados errados que comprometeriam a introdução de projetos que gerariam resultados significativos para o empreendedor, colocando em risco a sobrevivência da empresa, pôde ser comprovada para o caso específico do experimento realizado no capítulo 5. Novas aplicações, entretanto, são necessárias para se verificar a amplitude da veracidade da hipótese A;
- Uma vez que a aplicação revelou que as técnicas tradicionais não conseguiram captar o valor das opções embutidas no projeto, pode concluir que a *Hipótese B* é verdadeira;

Como conclusões, pode-se dizer que:

- Ainda que a Teoria das Opções Reais esteja em fase de desenvolvimento e consolidação, as empresas devem procurar entendê-la e aplicá-la;



- A avaliação financeira de alternativas estratégicas precisa de rápidas e profundas mudanças no sentido de se aproximar da realidade e mensurar a flexibilidade existente nos projetos. Neste sentido, o FCD não tem muito como atender às exigências que são feitas à teoria de finanças no sentido de apoiar as decisões estratégicas, devendo-se lançar mão de métodos alternativos como a Teoria das Opções Reais;
- Como pôde ser observado, muitas vezes as técnicas ditas “tradicionalistas” não são capazes de captar o valor dos efeitos “intangíveis”, o que pode alterar significativamente o valor de um projeto. O valor das flexibilidades (opções) com as quais as empresas estão lidando também são melhor tratadas pela TOR;
- As decisões da empresa devem visar a sobrevivência a longo prazo através da criação de capacidades em um sistema sustentável. A análise estratégica dos investimentos pode ser melhor refletida através do uso da teoria das opções, uma vez que esta é capaz de lidar com a incerteza, irreversibilidade e possibilidade de adiamento de um projeto, captando o valor do aprendizado à medida em que novas informações são reveladas;
- O uso de uma disciplina para análise de investimentos tende a promover avaliações com menores distorções. A visão de um projeto de investimento como uma opção carrega esta disciplina, sendo capaz, portanto, de produzir resultados em cujos números estejam embutidos os valores das opções. A administração deve estar, portanto, atenta a tal fato, passando a enxergar os projetos com características de incerteza, irreversibilidade e *timing*, com a disciplina das opções;
- Em um ambiente comercial instável e tão competitivo como o atual, as empresas devem se sofisticar na maneira como avaliam seus investimentos. Embora a TOR apresente certas limitações, ela deve ser encarada como uma opção promissora, capaz de auxiliar a administração a guiar o processo de tomada de decisão;
- Embora a TOR apresente limitações e ainda encontre barreiras à sua adoção, uma vez que muitas vezes a atenção tem sido focada na modelagem matemática dos métodos de precificação, a TOR pode ser vista como uma interessante “opção” no processo de análise da viabilidade de investimentos, uma vez que pode ser encarada como uma abordagem estratégica e disciplinada na análise de projetos;
- A teoria das opções reais não pode ser vista como uma abordagem sem falhas. Estas existem e foram amplamente abordadas no trabalho. A maior delas parece ser a necessidade de se ter uma *twin security* a partir da qual é obtida a volatilidade. Este

problema é ainda mais acentuado em P&D, uma vez que projetos de P&D não são comercializados;

- Embora a literatura tenha discorrido sobre a superioridade da aplicação da TOR em relação às técnicas convencionais de avaliação de P&D, esta deve ser vista como uma ferramenta a mais no processo de tomada de decisão, devendo ser encarada como uma extensão das técnicas atuais, particularmente onde tentativas estejam sendo feitas para se determinar mais acuradamente os resultados possíveis de programas de P&D;
- Assim como apontado por Perlitz, Peske e Schrank (1999), conclui-se que deveria ficar claro que a abordagem da TOR representa um caminho para avaliar P&D que irá ganhar mais importância no futuro, embora seja um caminho difícil para pessoas trabalhando na prática;
- Assim como é argumentado por Boer (2000), a obtenção do risco único para o caso de projetos de P&D é o ponto crítico da avaliação, uma vez que não existe uma base de dados histórica que revele o comportamento de projetos similares;
- Alguns modelos têm sido propostos para aplicação em P&D, entretanto, todos têm suas vantagens e desvantagens. Caberá à administração, portanto, saber optar por este ou por aquele modelo, procurando aplicar o modelo que melhor se adapte às peculiaridades de um dado projeto;
- Esta talvez seja uma barreira para a utilização da teoria, uma vez que não há, diríamos, um método padronizado para se aplicar a toda e qualquer análise de investimento. Uma vez que o processo de tomada de decisão não é simples e, muitas vezes, envolve milhares ou até mesmo milhões de dólares, a administração deve ficar atenta a esta nova e poderosa ferramenta, pagando um determinado “prêmio” na busca pela melhor solução;
- Do trabalho realizado, pode-se dizer o método binomial se apresenta como uma interessante ferramenta para o cálculo da opção *time-to-build*. O método de Black e Scholes também pode ser usado para o cálculo da opção de deferimento (similar à opção de compra) e opção de abandono (similar à opção de venda). Já o método de Geske (1979), adaptado para opções reais por Kemna (1993), é capaz de tratar o efeito da composição das opções, ou seja, quando há uma *call* de uma *call*, por exemplo. Este é o caso de projetos de pesquisa e desenvolvimento;
- Crê-se que à medida em que o mercado se tornar mais *securitizado*, a adoção da TOR galgará maior aceitação.

Como recomendações para futuros trabalhos e aperfeiçoamentos, pode-se dizer que:

- Como mencionado por Perlitz, Peske e Schrank (1999), há, no contexto da teoria das opções reais, a necessidade de um processo de padronização de modelos já existentes e trabalhos empíricos adicionais devem ser buscados para garantir sua aplicabilidade prática;
- Recomenda-se que a volatilidade do projeto seja obtida através de uma *twin security*;
- No cálculo da opção composta através do modelo de Geske, recomenda-se a aplicação do procedimento de Newton-Raphson para o cálculo de F_c ;
- Recomenda-se que novos trabalhos sejam desenvolvidos nesta área, aplicando a teoria na análise de outros investimentos reais, não só em P&D.
- Embora muito tenha sido dito a respeito do poder da teoria das opções reais aplicada à análise de investimentos, nosso país ainda carece de trabalhos que venham a comprovar sua validade. É necessário que esta teoria seja cada vez mais difundida, principalmente no meio corporativo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGELIS, D. I. Capturing the Option Value of R&D, *Research Technology Management*, July-August, p. 31-34, 2000.
- ALVAREZ, L. H. R. Optimal Exit and Valuation Under Demand Uncertainty: A Real Options Approach, *European Journal of Operation Research*, 114, p. 320-29, 1999.
- ALVAREZ, L. H. R., STENBACKA, R. Adoption of Uncertain Multi-stage Technology Projects: a Real Option Approach, *Journal of Mathematical Economics*, 35, p. 71-97, 2001.
- AMRAM, M., KULATILAKA, N. Disciplined Decisions : Aligning Strategy with the Financial Markets, *Harvard Business Review* , Jan/Feb, p. 95-105, 1999.
- _____ Strategy and Shareholder Value Creation: The Real Options Frontier, Bank of América, *Journal of Applied Corporate Finance*, vol. 13, n. 2, pp. 8-21, summer, 2000.
- BALDWIN, C. Y. Competing for Capital in a Global Environment, *Midland Corporate Finance Journal*, v. 5, n. 1, Spring, p. 43-64, 1987.
- BALDWIN, C. Y. , CLARK, K. Capabilities and Capital Investment: New Perspectives on Capital Budgeting, *Journal of Applied Corporate Finance*, pp. 67-87, summer, 1992.
- BALASUBRAMANIAN, P., KULATILAKA, N. , STORCK, J. Managing Information Technology Investments Using a Real-Options Approach, *Journal of Strategic Information Systems*, vol. 9, pp. 39-62, 2000.
- BERNANKE, B. S. Irreversibility, Uncertainty, and Cyclical Investment, *The Quarterly Journal of Economics*, vol.. 98, pp. 85-106, February, 1983.
- BLACK, F., SCHOLES, M. The Pricing of Options and Corporate Liabilities, *Journal of Political Economy*, v. 81, n. 3, May-June, p. 637-54, 1973.
- BODIE A. , KANE, A. , MARCUS, J. Princípios da Administração Financeira, *Editora Bookman*, Porto Alegre, 2000.
- BOER, F. P. Valuation of Technology Using “Real Options”, *Research Technology Management*, July/August, pp. 26-30, 2000.
- BOWER, J. L. , CHRISTENSEN, C. M. Disruptive Technologies: Catching the Wave, *Harvard Business Review*, 73, pp. 43-53, 1995.

- BOWMAN, E. H. , HURRY, D. Strategy Through the Option Lens: An Integrated View of Resource Investments and the Incremental Choice Process, *Academy of Management Review*, vol. 18, n. 4, pp. 760-782, 1993.
- BRASIL, H. G. Avaliação de um Negócio do Setor de Energia Elétrica: Uma Aplicação do Modelo de Opções Reais, *Anais do Primeiro Encontro Brasileiro de Finanças*, Julho, FGV-EAESP, São Paulo, 2001.
- BRENNAN, M. J., SCHWARTZ, E. S. Evaluating Natural Resource Investments, *Journal of Business*, v. 58, n. 2, p. 135-57, 1985.
- _____ A New Approach to Evaluating Natural Resource Investments. In CHEW, D. H., *The New Corporate Finance*. EUA: McGraw-Hill pp. 98-107.
- BRYMAN, A. Research Methods and Organization Studies, *Routledge*, London, pp. 71-103, 1995.
- CASTRO, A. L. Avaliação de Investimento de Capital em Projetos de Geração Termoelétrica no Setor Elétrico Brasileiro Usando Teoria das Opções Reais, *Dissertação de Mestrado*, Dep. de Eng. Ind., PUC/ Rio, 106p, Abril de 2000.
- COX, J., ROSS, S., RUBINSTEIN, M. Option Pricing: a simplified approach, *Journal of Financial Economics*, p. 229-264, oct., 1979.
- CUKIERMAN, A. The Effects of Uncertainty on Investment Under Risk Neutrality with Endogenous Information, *Journal of Political Economy*, vol. 88, n. 3, pp. 462-475, 1980.
- DAY, G. S., FAHEY, L Putting Strategy into Shareholder Value Analysis, *Harvard Business Review*, March-April, p. 156-162, 1990.
- DIAS, M. A. G. Investimento sob Incerteza em Exploração de Petróleo, *Dissertação de Mestrado* Dep. de Eng. Industrial, PUC/Rio, 470 p, Agosto de 1996.
- DIXIT, A. K. Investment and Hysteresis, *Journal of Economic Perspectives*, vol. 6, n. 1, pp. 107-132, Winter, 1992.
- DIXIT, A. K., PINDYCK, R. S. *Investment Under Uncertainty*, Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1994.
- _____ The Options Approach to Capital Investment, *Harvard Business Review*, v. 73, n. 1, May/June, p. 105-15, 1995.

- DORASZELSKI, U. The Net Present Value Method versus the Option Value of Waiting: A note on Farzin, Huisman and Kor (1998), *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol. 25, pp. 1109-1115, 2001.
- ECCLES, R. G., LANES, K. L., WILSON, T. C. Are You Paying Too Much for That Acquisition?, *Harvard Business Review*, July/August, pp.136-146, 1999.
- EKERN, S. An Option Pricing Approach to Evaluating Petroleum Project, *Energy Economics*, 23, 3, pp. 91-99, 1988.
- FARZIN, Y. , HUISMAN, K. , KORT, P. Optimal Timing of Technology Adoption, *Journal of Economic Dynamics and Control* 34, pp. 292-318, 1998.
- FAULKNER, T. W. Applying 'Options Thinking' To R&D Valuation, *Research Technology Management*, May./June, p. 50-56, 1996.
- GALLINI, N. Patent Policy and Costly Imitation. *RAND J. Economics*, vol. 23, pp. 52-63, 1992.
- GESKE, R. The Valuation of Compound Option, *Journal of Financial Economics*, vol 7, n. 1, pp. 63-81, 1979.
- HALL, B. J. What You Need to Know About Stock Options, *Harvard Business Review*, pp. 121-129, March-April, 2000.
- HAYES, R. H., ABERNATHY, W. J. Managing Our Way to Economic Decline, *Harvard Business Review*, May-June, p. 67-77, 1980.
- HAYES, R. H., GARVIN, D. Managing As If Tomorrow Mattered, *Harvard Business Review*, May-June, p. 70-80, 1982.
- HAYES, R. H. , WHEELWRIGHT, S. C. CLARK, K. B. Dinamic Manufacturing: Creating the Learning Organization. *New York: The Free Press*, cap. 3, pp. 61-95, 1988.
- HARRISON, E. F., PELLETIER, M. A. Levels of Strategic Decision Success, *Management Decision*, v. 38, Issue 2, 2000.
- HENRY, C. Investment Decisions Under Uncertainty: The "Irreversible Effect", *The American Economic Review*, vol. 64, n. 6, pp. 1006-1012, December, 1974.
- HERATH, H. S. B., PARK, C. S. Economic Analysis of R&D Projects: An Options Approach, *The Engineering Economist*, v.44, n. 1, p. 1-35, 1999.

- HODDER, J. , RIGGS, H. Pitfalls in Evaluating Risky Projects, *Harvard Business Review*, January-February, pp. 128-135, 1985.
- HUBBARD, R. G. Investment Under Uncertainty? Keeping One's Options Open, *Journal of Economic Literature*, vol. 32, pp. 1816-1831, December, 1994.
- INGERSOLL, J. E., ROSS, S. A. Waiting to Invest: investment and uncertainty, *Journal of Business*, v. 65, n. 1, January, p. 1-29, 1992.
- JENSEN, M. C. , MURPHY, K. J. CEO Incentives – It's Not How Much You Pay, But How, *Harvard Business Review*, pp. 138-149, May-June, 1990.
- KALLBERG, G., LAURIN, P. Real Options in R&D Capital Budgeting- A case study at Pharmacia & Upjohn, *Master Thesis*, Department of Economics, Gothenburg School of Economics and Commercial Law, Spring, 1997.
- KAPLAN, R. Must CIM Be Justified by Faith Alone?, *Harvard Business Review*, March-April, p. 87-95, 1986.
- KEMNA, A. G. Z. Case Studies on Real Options, *Financial Management*, autumn, p.259-70, 1993.
- KESTER, W. C. Today's Options for Tomorrow's Growth , *Harvard Business Review*, vol. 62, n. 2, March/April, 1984.
- KOGUT, B., KULATILAKA, N. Operating Flexibility, Global Manufacturing, and the Option Value of a Multinational Network, *Management Science*, v. 40, n. 1, Jan., p. 123-39, 1994.
- KULATILAKA, N. Valuing Flexibility of Flexible Manufacturing Systems, *IEEE Transactions on Engineering Management*, v. 35, n. 4, nov. , p. 250-257, 1988.
- _____ The Value of Flexibility: The case study of a dual fuel industrial steam boiler, *Financial Management*, v. 22, n. 3, autumn, p 271-80, 1993.
- LINT, O., PENNING, E. R&D as an Option on Market Introduction, *R&D Management* 28, 4, p. 279-287, 1998.
- LUEHRMAN, T. A. Strategy as Portfolio of Real Options; *Harvard Business Review*; Sep/Oct., p. 89-99, 1998a.
- _____ Investment Opportunities as Real Options: Getting Started on the Numbers, *Harvard Business Review*, July-August, vol 76, n. 4, pp. 51-67, 1998b.

-
- What's Worth: A General Manager's Guide to Valuation, *Harvard Business Review*, May-June, 1997
- MACEDO, M. A. S. Avaliação de Projetos: uma visão da utilização da teoria de opções, *XIX ENEGEP*, Novembro, Rio de Janeiro, 1999.
- MAGEE, J. F. How to Use Decision Trees in Capital Investments, *Harvard Business Review*, pp. 126-28, Sep/Oct, 1964.
- MAJD, S., PINDYCK, R. S. Time to Build, Option Value, and Investment Decisions, *Journal of Financial Economics*, v. 18, March, p. 7-27, 1987.
- McDONALD, R. L. SIEGEL, D. R. Investment and the Valuation of Firms When There is an Option to Shut Down, *International Economic Review*, v.26, n. 2, June, p.331-49, 1985.
-
- The Value of Waiting to Invest*, *Quarterly Journal of Economics*, Nov., p. 707-27, 1986.
- McGRATH, R. G., MacMILLAN, I. C. Assessing Technology Projects Using Real Options Reasoning, *Research Technology Management*, July-August, p. 35-49, 2000.
- MECHLIN, G., BERG, D. Evaluating Research, ROI Is Not Enough, *Harvard Business Review*, September-October, vol. 58, n. 5, pp. 93-99, 1980.
- MEDEIROS, P. Y. Aplicação de Opções Reais no Mercado Imobiliário Residencial com Enfoque na Cidade do Rio de Janeiro, *Anais do Primeiro Encontro Brasileiro de Finanças*, Julho, FGV-EAESP, São Paulo, 2001.
- MERTON, R. C. Theory of Rational Option Pricing, *Bell Journal of Economics and Management Science*, n. 4, Spring, pp. 161-174. 1973.
- MINARDI, A. M. A. F. Teoria de Opções Reais Aplicada a Projetos de Investimentos, *RAE - Revista de Administração de Empresas /EAESP/FGV*, São Paulo, v. 40, n. 2, Abr./Jun., p.74-79, 2000.
- MITCHELL, G. R., HAMILTON, W. F. Managing R&D as a Strategic Option, *Research Technology Management*, May/June, p. 15-22, 1988.
- MORRIS, P. A., TEISBERG, E. O., KOLBE, A. L. When Choosing R&D Projects, Go With Long Shots, *Research Technology Management*, Jan./Feb, p. 35-40, 1991.
- MYERS, S. C. Determinants of Corporate Borrowing, *Journal of Financial Economics*, vol. 5, pp. 147-175, 1977.

- _____ Finance Theory and Financial Strategy, *Interfaces*, vol. 14, January-February, pp. 126-137, 1984.
- NEWTON, D. P. AND PEARSON, A. W. Application of Option Pricing Theory to R&D, *R&D Management*, v. 24, n.1, p. 83-89, 1994.
- NICHOLS, N. A. Scientific Management at Merck: an interview with CFO Judy Lewent, *Harvard Business Review*, Jan/Feb, p. 88-99, 1994.
- OWEN, D. B. Handbook of Statistical Tables, *Addison-Wesley Publishing Company*, Inc., reading, Mass., pp.264-265, 1962.
- PADDOCK, J. L., SIEGEL, D. R., SMITH, J. L. Option Valuation of Claims on Real Assets: The Case of Offshore Petroleum Leases, *Quarterly Journal of Economics*, August, p. 479-508, 1988.
- PAULA, G. N. Os Desafios da Indústria Farmacêutica Global e o Redesenho do Negócio pela Merck, *RAE – Revista de Administração de Empresas*, Jan./Mar., São Paulo, v. 41, n. 1, p. 76-87, 2001.
- PAKES, A. Patents as Options: Some Estimates of the Value of Holding European Patent Stocks, *Econometrica*, vol. 54, n. 4, July, pp. 755-784, 1986.
- PENNINGS, E., LINT, O. Market Entry, Phased Rollout or Abandonment? A Real Option Approach, *European Journal of Operational Research*, 124, p.125-138, 2000.
- PERDUE, R. K., McALLISTER, W. J., KING, P. V., BERKEY, B. G. Valuation of R and D Projects Using Options Pricing and Decision Analysis Models, *Interfaces*, 29:6, Nov./Dec., pp. 57-74, 1999.
- PERLITZ, M., PESKE, T., SCHRANK, R. Real Option Valuation: The New Frontier in R&D Project Evaluation?, *R&D Management*, v. 29, n. 3, p. 255-269, 1999.
- PINDYCK, R. S. Irreversibility, Uncertainty, and Investment, *Journal of Economic Literature*, vol. 29, pp. 1110-1148, September, 1991.
- PORTER, M. E. Towards a Dynamic Theory of Strategy, *Strategic Management Journal*, v. 12, p. 95-117, 1991.
- _____ Capital Disadvantage: America's Failing Capital Investment System, *Harvard Business Review*, Sep./Oct., p. 65-82, 1992.
- RAPPAPORT, A. New Thinking on How to Link EXECUTIVE PAY whit PERFORMANCE, *Harvard Business Review*, pp. 91-101, March-April, 1999.

- RUHNKA, J. C. , YOUNG, J. E. A Venture Capital Model of the Development Process for New Ventures, *Journal of Business Venturing*, vol. 6, pp. 115-133, 1987.
- QUIGG, L. Empirical Testing of Real Options Pricing Models, *The Journal of Finance*, v. 48, n. 2, June, pp. 621-639, 1993.
- ROBERTS, K., WEITZMAN, M. L. Funding Criteria for Research, Development, and Exploration Projects, *Econometrica*, v. 49, n. 5, September, p. 1261-1288, 1981.
- ROSS, S. A. , WESTERFIELD, R. W. , JORDAN, B. D. Princípios de Administração Financeira, *Editora Atlas*, 1998.
- ROSS, S. A., WESTERFIELD, R. W., JAFFE, J. F. Administração Financeira, *Editora Atlas*, São Paulo, 1995.
- SAITO, R., SCHIOZER, D. J., CASTRO, G. N. Simulação de Técnicas de Engenharia de Reservatórios: exemplo de utilização de opções reais, *RAE – Revista de Administração de Empresas*, Abr./Jun., v. 40, n. 2, p. 64-73, 2000.
- SENDER, G. L. Option Analysis at Merck, *Harvard Business Review*, vol. 72, January-February, pp. 90-99, 1994.
- SHARP, D. J., Uncovering the Hidden Value in High Risk Investments, *Sloan Management Review*, Summer, pp. 69-74, 1991.
- SEPPÄ, T. J. , LAAMANEN, T. Valuation of Venture Capital Investments: Empirical Evidence, *Paper presented at the 4th Annual International Conference on Real Options*, June, 2000 .
- SMIT, H. T. J., ANKUM, L. A. A Real Options and Game-theoretic Approach to Corporate Investment Strategy Under Competition, *Financial Management*, v. 22, n. 3, p. 241-250, Autumn, 1993.
- TAKALO, T. , KANNIAINEN, V. Do Patents Slow Down Technological Progress? Real Options in Research, Patenting, and Market Introduction, *International Journal of Industrial Organization*, vol. 18, pp. 1105-1127, 2000.
- TEIXEIRA, J. P., ROCHA, K. M. C., BATISTA, F. R. S., NETO, S. M. R. Avaliação de Opções de Expansão em Projetos de Petróleo Através da Teoria de Opções Reais, *Anais do Primeiro Encontro Brasileiro de Finanças*, Julho, FGV-EAESP, São Paulo, 2001.
- TITMAN, S. Urban Land Prices Under Uncertainty, *The American Economic Review*, v. 75, n. 3, June, p. 505-514, 1985.

TRIANIS, A. J. HODDER, J. E. Valuing Flexibility as a Complex Option, *Journal of Finance*, v. 45, n. 2, June, p. 549-65, 1990.

TRIGEORGIS, L. The Nature of Options Interactions and the Valuation of Investments with Multiple Real Options, *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, v. 28, n. 1, march, p. 1-21, 1993.

_____ Real Options – Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation, Cambridge, Mass: The MIT Press, 1996.

_____ Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation, 2nd Edition, Cambridge MA: MIT Press, 1997.

VONNEGUT, A. Real Option Theories and Investment in Emerging Economies, *Emerging Markets Review*, vol. 1, pp. 82-100, 2000.

SITES ÚTEIS DA INTERNET

Existem inúmeros sites que tratam sobre o assunto. Os indicados abaixo são um bom guia.

<http://www.puc-rio.br/marco.ind>

<http://www.rogroup.com/>

<http://www.realoptions.org/>

<http://www.real-options.com/>

<http://www.real-options.de/>

<http://www.realoptions-software.com/>

<http://www.investmentscience.com/Content/real.htm>

<http://www.stern.nyu.edu/~adamodar/>

<http://www.realoptions.dk/>

APÊNDICE A

Este apêndice resume parte do trabalho original da empresa X. Muitos dados foram alterados para se manter a confidencialidade do projeto.

Os Dados do Projeto

Os dados da curva de demanda, preços de venda, receitas líquidas, custos e despesas, vida útil do empreendimento e o custo histórico de P&D são apresentados nesta seção e foram estimados pela empresa desenvolvedora do produto.

Curva de Demanda

De acordo com a previsão para os próximos 9 (nove) anos, deverá ocorrer a seguinte penetração do produto no mercado, em termos de quantidade de licença:

Empresas	(1) 1999	(2) 2000	(3) 2001	(4) 2002	(5) 2003	(6) 2004	(7) 2005	(8) 2006	(9) 2007
Cliente 1	3	6	10	14	18	14	10	6	3
Cliente 2	2	3	4	6	7	6	4	3	2
Cliente 3	0	1	1	2	2	2	1	1	0
Cliente 4	1	3	4	6	7	6	4	3	1
Total	6	13	19	28	34	28	19	13	6

Previsão da Quantidade de Licenças

Para as quantidades totais acima, projetou-se os cenários otimista (volume máximo de vendas) e pessimista (volume mínimo de vendas) com base na distribuição estatística Beta, obtendo-se o seguinte resultado:

	(1) 1999	(2) 2000	(3) 2001	(4) 2002	(5) 2003	(6) 2004	(7) 2005	(8) 2006	(9) 2007
Máximo	13	19	28	34	38	34	28	19	13
Mais Provável	6	13	19	28	34	28	19	13	6
Mínimo	1	6	12	19	28	19	12	6	1

Cenários do Volume de Venda de Licenças

Preços de Venda

A tabela abaixo mostra a evolução dos preços da licença de uso do *XPTO* e dos serviços associados, ano a ano. Partindo do valor de R\$ 156.000,00 estipulado no Plano de Negócios, o preço da licença cai gradualmente até estabilizar-se em R\$ 81.628,56 a partir do 6º ano. Sobre as receitas auferidas com a venda da licença, a empresa X irá arrecadar mais 30% a título de Serviços Associados. Descontando-se os impostos que incidem diretamente sobre o preço de venda, chega-se ao Preço Líquido Unitário de Venda (PLUV), que é o valor efetivo a ser embolsado pela empresa X em cada unidade vendida.

Descrição (*)	(1) 1999	(2) 2000	(3) 2001	(4) 2002	(5) 2003	(6) 2004	(7) 2005	(8) 2006	(9) 2007
1	1,00	0,95	0,90	0,90	0,85	0,80	1,00	1,00	1,00
2	156.000,00	148.200,00	133.380,00	120.042,00	102.035,70	81.628,56	81.628,56	81.628,56	81.628,56
3	13.494,00	12.819,30	11.537,37	10.383,63	8.826,09	7.060,87	7.060,87	7.060,87	7.060,87
4	142.506,00	135.380,70	121.842,63	109.658,37	93.209,61	74.567,69	74.567,69	74.567,69	74.567,69
5	46.800,00	44.460,00	40.014,00	36.012,60	30.610,71	24.488,57	24.488,57	24.488,57	24.488,57
6	4.048,20	3.845,79	3.461,21	3.115,09	2.647,83	2.118,26	2.118,26	2.118,26	2.118,26
7	42.751,80	40.614,21	36.552,79	32.897,51	27.962,88	22.370,31	22.370,31	22.370,31	22.370,31

Evolução dos Preços de Licença de Uso do XPTO e dos Serviços Associados

Descrição (*)

- 1- Fator atualizado em relação ao ano anterior;
- 2- Licença;
- 3- ISS 5,0% + COFINS 3,0% + PIS 0,65% ;
- 4- PLUV Licença (Preço sem Impostos atualizado);
- 5- Serviço (30% da Licença);
- 6- ISS 5,0% + COFINS 3,0% + PIS 0,65% ;
- 7- PLUV Serviço (Preço sem Impostos atualizado).

Receitas Líquidas

São representadas pela multiplicação do Preço Líquido Unitário de Venda (PLUV) pela quantidade de demanda projetada. Abaixo, a tabela apresenta os três cenários.

Histórico									
Cenário com o volume mais provável de vendas									
(*)	(1) 1999	(2) 2000	(3) 2001	(4) 2002	(5) 2003	(6) 2004	(7) 2005	(8) 2006	(9) 2007
1	855.036	1.759.949	2.315.010	3.070.434	3.169.127	2.087.895	1.416.786	969.380	447.406
2	256.511	527.985	694.503	921.130	950.738	626.369	425.036	290.814	134.222
3	1.111.547	2.287.934	3.009.513	3.991.565	4.119.865	2.714.264	1.841.822	1.260.194	581.628
Cenário otimista (volume máximo de vendas)									
1	1.852.578	2.572.233	3.411.594	3.728.384	3.541.965	2.535.301	2.087.895	1.416.786	969.380
2	555.773	771.670	1.023.478	1.118.515	1.062.590	760.590	626.369	425.036	290.814
3	2.408.351	3.343.903	4.435.072	4.846.900	4.604.555	3.295.892	2.714.264	1.841.822	1.260.194
Cenário pessimista (volume mínimo de vendas)									
1	142.506	812.284	1.583.954	2.083.509	2.609.869	1.416.786	969.380	447.406	74.568
2	42.752	243.685	475.186	625.053	782.961	425.036	290.814	134.222	22.370
3	185.258	1.055.969	2.059.140	2.708.562	3.392.830	1.841.822	1.260.194	581.628	96.938

Cenários de Vendas Prováveis

(*) 1-Licença; 2-Serviço; 3-Receita Total Líquida de Impostos

Custos e Despesas

Os custos e despesas foram estimados no Plano de Negócios do *XPTO*.

Custo variável unitário	12.929
Custo fixo anual (próprio do <i>XPTO</i>)	233.435
Depreciação anual	4.680
Custo indireto (10% sobre o total indireto da DSAM)	21.543
Overhead da empresa X	193.884

Custos e Despesas

Vida Útil e Custo Histórico ou Afundado

A vida útil do projeto é estimada em 9 anos. O valor residual é nulo. Assim:

Vida Útil do Projeto = 9 anos

Valor Residual = 0 (zero)

Até o final do ano de 1998, quando a empresa teria que decidir se venderia os direitos do produto ou se o desenvolveria e o comercializaria, os custos afundados haviam sido de:

Alocável diretamente (próprio do <i>XPTO</i>)	R\$ 778.118
Indireto (92,3% do custo alocável diretamente)	R\$ 718.090
Total	R\$ 1.496.208

Custo Histórico

Para se obter os valores dos investimentos no início do ano de 1997 e 1998, os quais serão utilizados na aplicação da teoria das opções reais, será adotado o seguinte procedimento. Considera-se que o investimento total de R\$ 1.496.208 tenha sido feito mensalmente. Desta forma, dividindo-o por vinte e quatro meses, tem-se um investimento mensal de R\$ 62.342, que levado ao início dos anos de 1997 e 1998, utilizando-se a taxa TMA da empresa, que é de 1,245% ao mês, obtem-se os valores apresentados na tabela 5.1. Também são apresentados os investimentos totais levados ao início de 1997 e ao início de 1999. Assim:

Investimentos em Pesquisa	
Inv. Início de (1997)	690.944
Inv. Início de (1998)	690.944
VP Invest. Início de (1997)	1.286.585
VP Invest. Início de (1999)	1.731.229

Investimentos em Pesquisa

Desta forma, caso opte-se pela venda dos direitos de comercialização a terceiros, o preço de exercício da opção de venda será o valor de mercado do projeto na data de exercício e o valor do ativo subjacente seria o quanto pode-se apurar pela comercialização própria. O valor desta

opção deve ser comparado com o prêmio (quanto se investiu em pesquisa). No caso de optar-se pela comercialização própria, o valor presente do investimento em pesquisa no início de 1997 deve ser considerado o *prêmio* da opção de compra, os custos de produção e comercialização como o preço de exercício e o fluxo de caixa do projeto, obtido pela comercialização própria, é considerado o ativo subjacente.

Projeção do Fluxo de Caixa

A projeção do fluxo de caixa para o produto será feita de duas maneiras, através de uma análise determinística. Também foi elaborada uma análise probabilística, entretanto, optou-se por não apresentá-la neste apêndice.

Análise Determinística

Para uma TMA de 16% a. a. e assumindo-se o fluxo de caixa para $n = 9$ períodos, é possível se calcular o valor presente do fluxo de caixa para a receita total (RT), para os investimentos totais (Inv.) e para o fluxo de caixa líquido (FCL) para os três cenários possíveis, levando este valor ao ano de 1999. Também é possível se calcular o valor presente líquido da receita total (RT), do investimento total (Inv.) e do valor do projeto utilizando-se a distribuição beta.

É importante salientar que os valores para investimentos (Inv.) das tabelas já incluem: custo variável, custo fixo, depreciação, custos indiretos, *overhead*, imposto de renda e contribuição social. Vejamos como ficaria o ano de 1999. Ver exemplo da tabela (Demonstração das receitas, despesas e taxas diversas para o ano de 1999), abaixo.

Histórico	(1) 1999		
	Otimista	Pessimista	Provável
Cenário			
Licença	1.852.578	142.506	855.036
Serviço	555.773	42.752	256.511
Receita Total Líquida de Impostos	2.408.351	185.258	1.111.547
Custos + Despesas			
Custo Variável	168.077	12.929	77.574
Custo Fixo	233.435	233.435	233.435
Depreciação	4.680	4.680	4.680
= Total (Custos alocáveis diretamente)	406.192	251.044	315.689
Custo Indireto	21.543	21.543	21.543
<i>Overhead</i>	193.884	193.884	193.884
Total (Custos + Despesas)	621.619	466.471	531.116
= Resultado Operacional	1.786.732	(281.213)	580.431
(-) Imposto de Renda (25%)	446.683	(70.303)	145.108
(-) Contribuição Social (8%)	142.939	(22.497)	46.434
= Resultado Operacional Líquido	1.197.111	(188.413)	388.889
+ Depreciação	4.680	4.680	4.680
= Fluxo de Caixa Líquido	1.201.791	(183.733)	393.569

Demonstração das receitas, despesas e taxas diversas para o ano de 1999.

Fluxo de Caixa Determinístico

Histórico	(1) 1999	(2) 2000	(3) 2001	(4) 2002	(5) 2003	(6) 2004	(7) 2005	(8) 2006	(9) 2007
Fluxo de Caixa Otimista									
Receita Total (RT)	2.408.351	3.343.903	4.435.072	4.846.900	4.604.555	3.295.892	2.714.264	1.841.822	1.260.194
Investimentos (Inv)	1.206.560	1.567.267	2.005.315	2.193.193	2.147.869	1.681.360	1.437.448	1.071.581	827.669
Fluxo de Caixa Líquido (FCL)	1.201.791	1.776.636	2.429.757	2.653.707	2.456.686	1.614.532	1.276.816	770.241	432.525
Fluxo de Caixa Provável									
Receita Total (RT)	1.111.547	2.287.934	3.009.513	3.991.565	4.119.865	2.714.264	1.841.822	1.260.194	581.628
Investimentos (Inv)	717.978	1.166.823	1.456.919	1.858.958	1.953.271	1.437.448	1.071.581	827.669	543.105
Fluxo de Caixa Líquido (FCL)	393.569	1.121.111	1.552.594	2.132.607	2.166.594	1.276.816	770.241	432.525	38.523
Fluxo de Caixa Pessimista									
Receita Total (RT)	185.258	1.055.969	2.059.140	2.708.562	3.392.830	1.841.822	1.260.194	581.628	96.938
Investimentos (Inv)	368.991	699.637	1.091.321	1.357.605	1.661.375	1.071.581	827.669	543.105	339.845
Fluxo de Caixa Líquido (FCL)	(183.733)	356.332	967.819	1.350.957	1.731.455	770.241	432.525	38.523	(242.907)

Estimativa do Fluxo de Caixa Para Cada Um dos Três Cenários.

	Valor Presente do FC em 1999		
	RT	Inv	FCL
FC Otimista	15.478.115	7.466.713	8.011.402
FC Provável	11.055.704	5.740.554	5.315.151
FC Pessimista	6.779.708	4.065.699	2.714.010

Valor Presente do Fluxo de Caixa Para RT, Inv. e FCL Para os Três Cenários em 1999.

VPL da RT (dist. Beta)	11.080.107
VPL do Inv. (dist. Beta)	5.749.104
VPL do Proj. (dist. Beta)	5.331.002
VPL pela distribuição beta (1999)	

Valor Presente Líquido da RT, Inv. e Valor do Projeto no ano de 1999 Utilizando a Distribuição Beta.

APÊNDICE B

ARTIGOS RESULTANTES DA DISSERTAÇÃO ATÉ A DATA DA DEFESA.

XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), 17 a 19 de outubro, Salvador, Bahia, Brasil.

- Captando o Valor da Flexibilidade Gerencial Através da Teoria das Opções Reais;
- Teoria das Opções Reais: Uma Abordagem Estratégica Para Análise de Investimentos.

CAPTANDO O VALOR DA FLEXIBILIDADE GERENCIAL ATRAVÉS DA TEORIA DAS OPÇÕES REAIS

Eng. Elieber Mateus dos Santos – Mestrando em Eng. de Produção

Departamento de Engenharia de Produção da Escola Federal de Engenharia de Itajubá –
EFEI eliebersantos@yahoo.com.br, Av. BPS, 1030, Pinheirinho, CEP: 37500-903 - Itajubá-
MG

Prof. Dr. Edson de Oliveira Pamplona

Departamento de Engenharia de Produção da Escola Federal de Engenharia de Itajubá
pamplona@iem.efei.br, Av. BPS, 1030, Pinheirinho, CEP: 37500-903 - Itajubá-MG

Abstract:

The purpose of this paper is to show two traditional investment methods analysis: the Discounted Cash Flow (DCF) and the Decision Tree Analysis. Despite being largely used, they have some limitations, as will be shown. To fulfill the methods gaps an interesting solution, which has been receiving great interest from managers and practioners, is the Real Options Theory (ROT). To demonstrate the power of this theory an illustrative example is approached. The findings reveal that the use of traditional methods might under evaluate some investments, and that the Real Options Theory is efficient in capturing the value of managerial flexibility. Consequently, the Real Options Theory proves to be a fruitful option to evaluate projects.

Key words: Real Options, Managerial Flexibility, Traditional Methods Analysis.

1. Introdução

O ambiente econômico no qual a maioria das companhias está operando é muito mais volátil e imprevisível do que vinte anos atrás – em parte por causa da globalização dos mercados ligada ao aumento da flutuação das taxas de câmbio, em parte pela indução das mudanças tecnológicas que tomam parte do mercado. Entretanto, a incerteza requer que os administradores se tornem muito mais sofisticados na forma como avaliam e quantificam o risco. É importante que estes compreendam melhor as opções que suas companhias possuem ou quais são capazes de criar. As opções criam flexibilidade, e, num mundo de incertezas, a habilidade de se avaliar e usar a flexibilidade é crítica (DIXIT & PYNDICK, 1995).

Apesar do amplo uso de técnicas tradicionais de orçamento de capital, críticas têm surgido contra o uso estático das mesmas. A crítica está no fato de que estas técnicas são baseadas somente no retorno financeiro. As técnicas usam somente fatores tangíveis e não levam em consideração os fatores intangíveis, tais como: futura vantagem competitiva, futuras oportunidades, flexibilidade gerencial. Muitos salientam que estas questões presentes nas técnicas de orçamento de capital tradicionais se tornam um problema,

especialmente em projetos presentes em ambientes incertos (KALLBERG & LAURIN, 1997).

Acadêmicos e práticos de corporações têm, devido aos problemas das técnicas de orçamento de capital tradicionais, procurado por novos métodos de avaliação destes projetos. Uma nova técnica de orçamento de capital é a incorporação das *Opções Reais*. A abordagem das opções reais tem o potencial de avaliar o valor do projeto proveniente de uma ativa administração e interações estratégicas (TRIGEORGIS, 1996). Neste contexto, a *Teoria das Opções Reais* (TOR), vem ganhando a atenção de pesquisadores e gerentes em todo o mundo, tendo havido um maior desenvolvimento nos últimos anos, uma vez que a teoria é capaz de captar a flexibilidade gerencial na tomada de decisões de investimentos (TRIGEORGIS, 1993; KULATILAKA, 1993; DIXIT & PINDYCK, 1994; INGERSOLL & ROSS, 1992; NICHOLS, 1994, LUEHRMAN, 1998).

Uma análise de investimentos que consiga captar o valor da flexibilidade gerencial num ambiente de incertezas, feita por uma administração ativa que procure criar opções, tende a gerar opções que valorizam o empreendimento. Neste sentido, o artigo se propõe a abordar duas tradicionais técnicas de avaliação de investimentos, o *Fluxo de Caixa Descontado* (FCD) e a *Análise por Árvore de Decisões*, discorrendo-se sobre suas limitações e apontando-se para a emergente *Teoria das Opções Reais* como um método que vem corroborar para o preenchimento das lacunas das técnicas atualmente utilizadas na maioria das corporações. A demonstração da eficácia da utilização da *Teoria das Opções Reais* será feita através de um exemplo ilustrativo.

2. Modelos Tradicionais de Orçamento de Capital

Os modelos de orçamento de capital mais comumente usados pelas corporações, atualmente, envolvem o modelo básico do fluxo de caixa descontado, mais precisamente a utilização do VPL (Valor Presente Líquido) juntamente com a taxa interna de retorno e a análise por árvore de decisões. Estes modelos serão discutidas a seguir.

2.1. O Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR)

A questão da análise e seleção de projetos, ou, numa perspectiva mais ampla, da escolha entre alternativas de investimento disponíveis para um investidor é, sem dúvida, uma das questões cruciais da teoria econômica aplicada. A abordagem padrão começa com uma visão geral do problema, sendo introduzidos conceitos básicos de valor do dinheiro no tempo, custo de oportunidade, mercados financeiros e taxas de juros, e uma síntese dos conceitos básicos de matemática financeira. Em seguida, estes conceitos são utilizados para definir o Valor Presente Líquido (VPL). Para calculá-lo é necessário somar todos os fluxos de caixa líquidos proporcionados pelo investimento em determinado projeto, trazidos a valor presente a uma taxa de desconto predeterminada e subtraí-lo do valor do investimento inicial.

Em princípio, cada projeto possui seu próprio custo de capital. Na prática, as firmas agrupam projetos similares em classes de risco, e usam o mesmo custo de capital para projetos de uma mesma classe. A existência de VPL positivo é definida como o critério básico de aceitação de determinado projeto, e a ordenação de VPL's o critério de escolha entre diversas alternativas de investimento. Tais critérios são comumente comparados a

outros, como o cálculo da Taxa Interna de Retorno (TIR) e de tempo de *payback*, e o VPL é apresentado como o critério financeiramente mais correto (MACEDO, 1999).

A técnica da TIR apresenta diversos problemas: a hipótese de reinvestimento (o cálculo da TIR assume implicitamente que todos os fluxos de caixa gerados pelo projeto podem ser reinvestidos à TIR); a violação do princípio da aditividade (a escolha entre projetos mutuamente exclusivos muda, caso eles sejam combinados a um terceiro projeto) e a ocorrência de múltiplas TIR's, caso ocorra mais de uma mudança de sinal nos fluxos de caixa estimados. Outro problema inerente ao cálculo de TIR's: é mais fácil obter maiores TIR's se o volume de capital a ser investido é pequeno e a vida útil do projeto é curta. Projetos de longa duração e intensivos em capital tendem a ser descartados pelo critério da TIR, mesmo apresentando VPL substancial (MACEDO, 1999).

A análise tradicional desconsidera o fato de que o nível de risco do projeto é afetado pela flexibilidade que as decisões gerenciais proporcionam. Projetos que podem ser alterados, ou mesmo abandonados diante de condições adversas, oferecem menos risco, especialmente se parte do investimento inicial puder ser recuperada. A única maneira de considerar esse efeito na abordagem tradicional é através de ajustamentos arbitrários na taxa de desconto. A explicação para o uso de taxas de desconto muito elevadas, que prejudicam muito a avaliação de oportunidades de investimento, pode ser o uso impróprio das taxas de desconto como fator de ajustamento dos valores estimados no projeto a riscos não bem determinados, as *hurdle rates* (DIXIT & PINDYCK, 1994; SMIT & ANKUM, 1993; KEMNA, 1993; DIAS, 1996).

2.2. Limitações do Fluxo de Caixa Descontado

“O Fluxo de Caixa Descontado não está somente errado, ele está muito errado”.

Desta maneira, DIXIT & PINDYCK (1994) afirmam que o problema deste modelo está no fato de que não pode captar o valor da flexibilidade administrativa. Esta habilidade da administração, de revisar o projeto inicial quando incertezas futuras são resolvidas ou apresentam-se de forma diferente da prevista, não é captada pelo modelo. O modelo não pode capturar os investimentos que caem em ambas as categorias, por exemplo, quando um investimento irreversível puder ser postergado.

Mesmo quando não se usa formalmente a teoria das opções, as decisões de investimento nas empresas de sucesso são muito mais coerentes com a teoria das opções do que com a teoria tradicional do FCD. Executivos, percebendo que a ferramenta de FCD é muito pobre em captar possibilidades relevantes do projeto, se valem da *intuição de negócios*, não investindo imediatamente em projetos só por causa de uma análise estática ter indicado um VPL positivo, e nem rejeitam projetos “estratégicos” só por causa de um relatório indicar VPL's negativos para os mesmos (DIAS, 1996).

Desta forma, pode ser correto aceitar projetos cujo VPL *estático* é negativo, se o *prêmio de opção* existir e exceder a esse valor. E, contrariamente ao senso comum, grande incerteza, altas taxas de juros e investimento de longo prazo não são valores que reduzem o valor de uma oportunidade de investimento. Os efeitos negativos destes fatores sobre o VPL *estático* podem ser compensados pelo *prêmio de opção* proporcionado pela flexibilidade gerencial

Segundo MYERS (1987), a técnica tradicional do VPL não avalia opções corretamente sendo que a *ponte* entre o planejamento estratégico e a teoria de finanças deve ser construída de duas maneiras: aplicando corretamente a teoria já consolidada e

estendendo-a de forma a considerar as interações entre os investimentos de hoje e as oportunidades de investimento futuras. Ele aponta o uso da teoria de opções como a linha de pesquisa mais promissora neste sentido.

Como é mostrado por DIXIT & PYNDICK (1994), a incerteza técnica incentiva o investimento passo a passo, no sentido da redução da variância dessa incerteza. É como se o investimento tivesse um benefício adicional (quantificável pela teoria das opções) de redução da incerteza técnica. Esse benefício adicional é chamado de *valor-sombra* (*shadow value*), pois é um valor que não aparece diretamente no fluxo de caixa, logo, o FCD não “enxerga” esse valor, outra limitação importante desse método.

O que está se tentando trazer para dentro de uma análise financeira são as mudanças de planos por parte das empresas em virtude das alterações nas condições do mercado. Daí o conceito de VPL estendido, que é o valor de mercado de um determinado projeto, sendo o resultados do somatório entre o VPL estático (sem conter as opções) e o valor das opções que a empresa tem. Para fazer essa extensão pode-se usar métodos qualitativos (baseados em experiências e *know-how* – um julgamento subjetivo) quanto quantitativos (Modelo Binomial de Avaliação de Opções ou o Modelo de Black & Scholes (1973)).

2.3 Análise por Árvore de Decisões

A abordagem da análise por árvore de decisões para o orçamento de capital pode levar em consideração decisões futuras feitas pelos gerentes e incorporar alguma flexibilidade administrativa no projeto. Investimentos são freqüentemente divididos em uma série de sub-investimentos que serão realizados em diferentes estágios da vida do projeto. A implementação destes investimentos no futuro dependerá de algum evento do futuro, capacitando aos investidores a decidir investir ou não no futuro (DIXIT & PINDYCK, 1994 ROBERTS & WEITZMAN, 1981).

O método da *árvore de decisões* representa uma tentativa de considerar alternativas existentes ao longo do tempo num processo decisório. De acordo com o artigo de MAGEE (1964), a árvore de decisões é um meio de mostrar a anatomia de uma decisão de investimento e de mostrar a interação entre a decisão presente, eventos possíveis, ações de competidores e possíveis decisões futuras e suas conseqüências. No entanto essas árvores podem se tornar bastante complexas, quando se procura representar todos os pontos (*nós*) de decisão relevantes, assim como os eventos possíveis em cada instante. Quanto mais complexo for o processo decisório, mais complexa será a árvore. No entanto, o modelo tem a vantagem de explicitar as opções gerenciais disponíveis, o que ajuda a entender o processo decisório, desenvolvendo a intuição de negócios.

A avaliação de um simples projeto, com as características descritas na tabela 2.1, através do VPL tradicional, da análise por árvore de decisões e pela teoria das opções reais, revela resultados diferentes, como será demonstrado.

Análise de Projeto de P&D			
Ano	Investimento (\$)	Fluxo de Caixa	Probabilidade (%)
0	10	0	
1	30	0	
2	80	225	25
		120	50
		64	25

Tabela 2.1 – Dados de um projeto (KALLBERG & LAURIN, 1997).

Para uma taxa de desconto ajustada ao risco de 15% e utilizando-se o FCD, obtem-se um valor presente líquido de:

$$VPL = -10 - 30x(1.15)^{-1} - 80x(1.15)^{-2} + (225x0.25 + 120x0.5 + 64x0.25)x(1.15)^{-2} = \$3.42 ,$$

o que denotaria a aceitação do projeto. Através da análise pela árvore de decisões, o valor seria obtido da seguinte forma:

$$VPL = -10 - 30x(1.15)^{-1} + [(225-80)x0.25 + (120-80)x0.5 + (0)x0.25]x(1.15)^{-2} = \$6.45$$

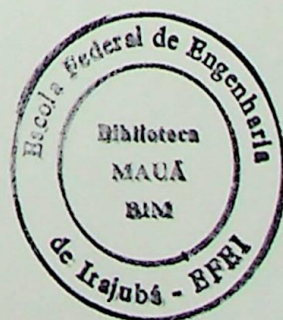
O valor obtido (VPL=\$6.45) considera a flexibilidade de investir ou não na data 2, pois se o fluxo de caixa no ano 2 se revelar baixo, o investimento não será realizado. Este valor é mais preciso do que os \$3.42 dado pela regra básica do VPL, mas ainda é incorreto. Embora este modelo possa considerar a flexibilidade dos administradores, ainda apresenta problemas como o aumento da complexidade à medida que se aumentam as variáveis e os resultados, além da taxa de desconto não poder ser a mesma quando é considerada a possibilidade de abandono (TRIGEORGIS, 1996).

3. Análise de Investimentos Utilizando a Teoria das Opções Reais

Uma *opção real* é a flexibilidade que um gerente tem para tomar decisões a respeito de ativos reais. Ao passo que novas informações vão surgindo e as incertezas sobre o fluxo de caixa vão se revelando, os administradores podem tomar decisões que venham a influenciar positivamente o valor final de um projeto (DIXIT & PINDYCK, 1994). As decisões com as quais os administradores freqüentemente se deparam são: qual o momento certo de investir, de abandonar ou parar temporariamente um projeto, de modificar as características operacionais do projeto ou ainda trocar um ativo por outro? Desta forma, um projeto de investimento de capital pode ser considerado como um conjunto de opções reais sobre um ativo real, o projeto.

O fator *tempo* influencia fortemente as decisões de investimento em ativos reais. Um investimento retorna um fluxo de caixa futuro, o qual é afetado pelas incertezas do mercado (custos de matéria-prima, demanda, preço de venda, etc) e pelas decisões a serem tomadas pelos concorrentes no futuro, o que pode vir a alterar o panorama do mercado. Para se tomar uma decisão hoje, a empresa precisa levar em consideração estes fatores. As técnicas de avaliação de investimento que consideram as decisões gerenciais devem ser capazes de lidar com as contingências futuras. Qualquer decisão que venha a "matar" uma opção deve ser evitada, dando maior preferência às decisões que aumentam a flexibilidade administrativa frente às incertezas do mercado (LUEHRMAN, 1998; QUIGG, 1993, MAJD & PINDYCK, 1987).

Para que seja possível uma boa avaliação de um projeto de forma que possa maximizar seu retorno, faz-se necessário o conhecimento das oportunidades embutidas no mesmo, de tal forma que o administrador possa saber quando e qual será a melhor decisão a ser tomada. Vários são os tipos possíveis de opções para um dado projeto. TRIGEORGIS (1993), apresenta as seguintes: deferimento de um investimento, escalonamento (*time-to-build option*), expansão, contração, parada de operação (*shut down*), abandono, mudança de uso (*inputs e outputs*) e de crescimento. Entretanto, conforme ressaltam AMRAM & KULATILAKA (1999), a maior parte do desafio de se considerar a abordagem das opções



nas estratégias repousa na identificação da gama total de opções que se possui, separando-as umas das outras e decidindo-se qual é a de maior valor.

Usando-se uma fórmula para precificação de opção binomial passo-a-passo, é possível se calcular o valor do projeto, ou seja, assume-se que o valor do projeto move-se para cima ou para baixo em pontos discretos no tempo. Isto é feito usando a fórmula para opção de compra em um período. Para o projeto analisado, a taxa ajustada ao risco e a taxa livre de risco são, respectivamente, 15% e 10%. A principal opção embutida no projeto é a *time-to-build* (investimento escalonado). As fórmulas são dadas na figura 3.1.

Modelo binomial para precificação de opção de compra para um projeto (para um período)		
$F = \frac{pFu + (1 - p)Fd}{r}$ $F_u = \text{Max}(uV - I, 0)$ $F_d = \text{Max}(dV - I, 0)$ $p = \frac{r - d}{u - d}$	Notação	FCD estendido – incluindo a opção de flexibilidade em cada período
	F	Valor do projeto se o valor bruto aumenta em valor
	F _u	Valor do projeto se o valor bruto diminui em valor
	F _d	Valor bruto do projeto
	V	Probabilidade neutra ao risco
	P	
	r	1 + taxa livre de risco
	u	1 + mudança percentual no valor bruto entre períodos, se o valor bruto aumenta.
	d	1 + mudança percentual no valor bruto entre períodos, se o valor bruto diminui.

Figura 3.1 – Modelo de precificação de opção binomial para um período (KALLBERG & LAURIN, 1997).

A distribuição do fluxo de caixa e suas probabilidades reais correspondentes podem ser replicadas em uma árvore binomial. Neste caso, as probabilidades reais q e $1 - q$ em cada ramo são iguais a 0.5.

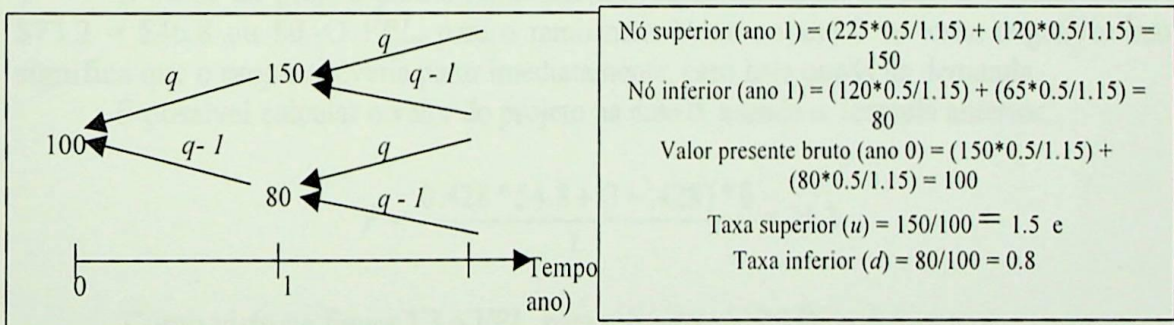


Figura 3.2 - Árvore Binomial

Todos os parâmetros agora estão disponíveis para a probabilidade neutra ao risco e podem ser inseridas na equação. Assim:

$$p = (1.1 - 0.8) / (1.5 - 0.8) = 0.428$$

Quando se incluem os investimentos na árvore binomial estes devem ser seus equivalentes certos (ver tabela 3.2). Isto desde que todos os fluxos na árvore sejam descontados à taxa ajustada ao risco. É importante observar que o investimento de \$80 no ano 2 é igual a um investimento de um equivalente certo de \$73.2 quando são descontados

usando suas taxas de desconto correspondentes, por 15% e 10% [$80 \times (1.15)^{-2} = \60.5 o que é igual ao equivalente certo $60.5 \times (1.1)^2 = 73.2$, quando descontado à data zero].

Fluxo de caixa esperado	Equivalente certo do fluxo de caixa
\$30	\$28.7
\$80	\$73.2

Tabela 3.2 – Equivalente certo do fluxo de caixa

Por exemplo, o VPL estendido (VPL_e) para o nó superior, calculado voltando-se um período, do ano 2 para o ano 1, usando as fórmulas da figura 3.1, fornece:

$$F = \frac{0.428 * 151.8 + (1 - 0.428) * 46.8}{1.1} = 83.5$$

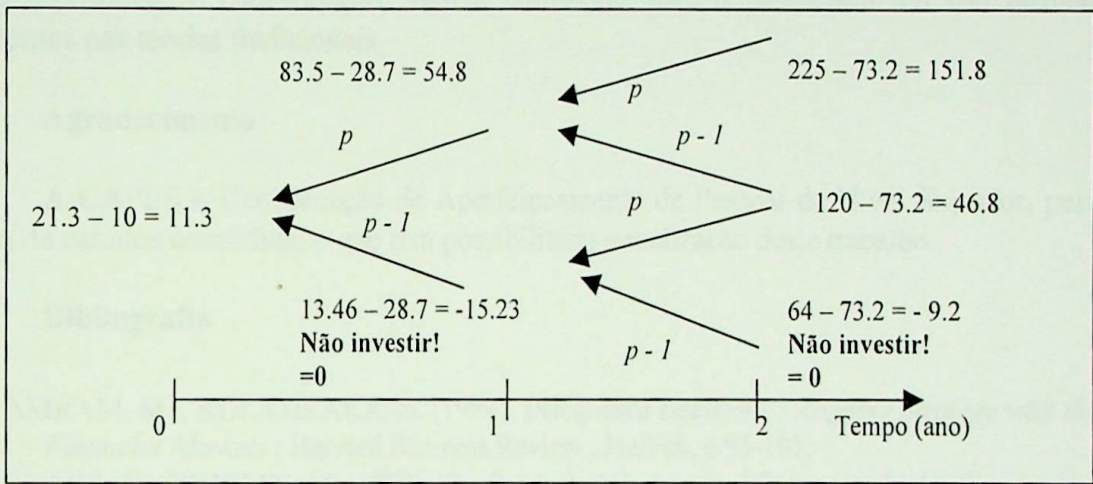


Figura 3.3 – Árvore Binomial (KALLBERG & LAURIN, 1997).

O valor do projeto para o ramo inferior (baixa demanda) no ano 2 é então $\$120 - \$73.2 = \$46.8$ ou $\$0$. O VPL_e para o ramo mais baixo no ano 2 se torna negativo. Isto significa que o projeto deveria parar imediatamente, caso haja queda na demanda.

É possível calcular o valor do projeto na data 0, usando a fórmula anterior.

$$F = \frac{0.428 * 54.8 + (1 - .428) * 0}{1.1} = 21.3$$

Como visto na figura 3.3 o VPL_e para o projeto de P&D na data zero é:

$$VPL_e = \$21.3 - \$10 = \$11.3$$

Comparando este valor com aquele obtido pelo tradicional VPL, que havia fornecido um valor de $\$3.42$, revela-se que a inclusão da flexibilidade presente no projeto, a *time-to-build option*, tem um valor de:

$$\text{Valor da opção} = VPL_e - VP_t = \$11.3 - \$3.4 = \$7.9$$

Os métodos tradicionais de desconto de fluxos esperados falham em captar o valor total do projeto. Tal fato ocorre porque assume-se que a decisão de fazer todos os três

investimentos tenha que ser feita no início do projeto, o que claramente é uma falsa hipótese.

4. Conclusões

No atual ambiente de globalização, mais do que em qualquer outra época, a incerteza econômica tem sido um fator preponderante no processo de tomada de decisões. Neste contexto, as técnicas tradicionais de análise de investimento como o Fluxo de Caixa Descontado (FCD) e a Árvore de Decisões não têm sido capazes de captar o valor da flexibilidade gerencial. O exemplo ilustrativo abordado revelou que a incorporação de tal valor altera significativamente o valor de um projeto, apontando para a procura de novas maneiras de incorporar o valor da flexibilidade gerencial conseguida através de uma administração ativa. Neste sentido, a Teoria das Opções Reais, embora em estágio de desenvolvimento e consolidação, vem a corroborar para o preenchimento das lacunas existentes nas teorias tradicionais.

5. Agradecimento

A CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo bolsa de estudos concedida, o que tem possibilitado a realização deste trabalho.

6. Bibliografia

- AMRAM, M. , KULATILAKA, N. (1999); *Disciplined Decisions : Aligning Strategy with the Financial Markets* ; Harvard Business Review , Jan/Feb, p.95-105;
- BLACK, F., SCHOLES, M. (1973), *The Pricing of Options and Corporate Liabilities*, Journal of Political Economy, v. 81, n. 3, May-June, p. 637-54;
- DIAS, M. A. G. (1996), *Investimento sob Incerteza de em Exploração de Petróleo*, Departamento de Engenharia Industrial, PUC-RJ, Dissertação de Mestrado, Agosto de 1996, 470p;
- DIXIT, A. K., PINDYCK, R. S. (1994), *Investment Under Uncertainty*, Princeton University Press, Princeton, N. J.;
- _____ (1995), *The Options Approach to Capital Investment*, Harvard Business Review, v. 73, n. 1, May/June, p.105-15;
- INGERSOLL, J. E., ROSS, S. A. (1992), *Waiting to Invest: investment and uncertainty*, Journal of Business, v. 65, n. 1, January, p. 1-29;
- KALLBERG, G., LAURIN, P. (1997), *Real Options in R&D Capital Budgeting- A case study at Pharmacia & Upjohn*, Master Thesis, Department of Economics, Gothenburg School of Economics and Commercial Law, Spring;
- KEMNA, A. G. Z. (1993), *Case Studies on Real Options*, Financial Management, autumn, p.259-70;
- KULATILAKA, N.(1993), *The Value of Flexibility: The case study of a dual fuel industrial steam boiler*, Financial Management, v. 22, n. 3, autumn, p 271-80;
- LUEHRMAN, T. A. (1998); *Strategy as Portfolio of Real Options*; Harvard Business Review; Sep/Oct., p 89-99;
- MACEDO, M. A. S. (1999), *Avaliação de Projetos: uma visão da utilização da teoria de opções*, XIX ENEGEP, Novembro, Rio de Janeiro;

- MAGEE, J. F. (1964), *How to Use Decision Trees in Capital Investments*, Harvard Business Review, p. 126-28, Sep/Oct;
- MAJD, S., PINDYCK, R. S. (1987), *Time to Build, Option Value, and Investment Decisions*, Journal of Financial Economics, v. 18, March, p. 7-27;
- MYERS, S. C. (1987), *Finance Theory and Financial Strategy*, Midland Corporate Finance Journal, v. 5, n. 1, p. 6-13, Spring;
- NICHOLS, N. A. (1994), *Scientific Management at Merck: an interview with CFO Judy Lewent*, Harvard Business Review, Jan/Feb, pp 88-99;
- QUIGG, L. (1993), *Empirical Testing of Real Options Pricing Models*, The Journal of Finance, v. 48, n. 2, June, p. 621-639;
- ROBERTS, K. , WEITZMAN, M. L. (1981), *Funding Criteria for Research, Development, and Exploration Projects*, Econometrica, v. 49, n. 5, September, p.1261-88;
- SMIT, H. T. J. , ANKUM, L. A. (1993), *A Real Options and Game-theoretic Approach to Corporate Investment Strategy Under Competition*, Financial Management, v. 22, n. 3, p. 241-250;
- TRIGEORGIS, L. (1993), *The Nature of Options Interactions and the Valuation of Investments with Multiple Real Options*, Journal of Financial and Quantitative Analysis, v. 28, n. 1, march, p. 1-21;
- _____ (1996), *Real Options – Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation*, The MIT Press.

TEORIA DAS OPÇÕES REAIS: UMA ABORDAGEM ESTRATÉGICA PARA ANÁLISE DE INVESTIMENTOS

Eng. Elieber Mateus dos Santos – Mestrando em Eng. de Produção

Departamento de Eng. de Produção da Escola Federal de Engenharia de Itajubá – EFEI
eliebersantos@yahoo.com.br , Av. BPS, 1030, Pinheirinho, CEP: 37500-903 - Itajubá-MG

Prof. Dr. Edson de Oliveira Pamplona

Departamento de Eng. de Produção da Escola Federal de Engenharia de Itajubá – EFEI
pamplona@iem.efei.br , Av. BPS, 1030, Pinheirinho, CEP: 37500-903- Itajubá- MG

Abstract:

In this article the Real Option Theory is presented as a strategic decision making process. The scenery of decisions has changed as a result of the globalization. Therefore, the value of the managerial flexibility must be taken into consideration when evaluating investments. The Real Options Theory is able to take it into account. This article also presents some areas where the theory can be applied, discussing about some important works and real applications in companies. Although the approach can be seen as a strategic and disciplined tool, it also has some limitations, as they will be shown. In conclusion, despite of being in a development process, the theory can enable executives to think clearly and realistically about the complexity and risk in strategic decisions.

Key words: Real Options, Managerial Flexibility, Disciplined Strategy Decision Making

1. Introdução

Muitos acadêmicos e administradores práticos têm reconhecido que a regra do VPL como abordagem para o orçamento de capital não pode capturar a flexibilidade administrativa de adaptar e rever decisões mais tarde em resposta às mudanças inesperadas e ao desenvolvimento do mercado (TRIGEORGIS, 1996).

No atual mercado, caracterizado pela mudança, incerteza e interações competitivas, entretanto, a realização dos fluxos de caixa previstos irá provavelmente diferir do que é esperado inicialmente pela administração. À medida que novas informações chegam e a incerteza sobre as condições do mercado e o futuro fluxo de caixa é gradualmente melhor compreendida, a administração pode ter uma flexibilidade valiosa para alterar sua estratégia operacional para capitalizar oportunidades futuras favoráveis ou diminuir perdas.

A flexibilidade da administração em adaptar suas futuras ações em resposta às futuras alterações do mercado expande o valor da oportunidade do investimento pela melhoria do potencial de ganhos, enquanto limita as perdas relativas às expectativas iniciais da administração sob uma administração passiva. A assimetria resultante criada pela adaptabilidade requer uma regra para um “VPL expandido” que reflita os dois valores componentes: o tradicional (estático ou passivo) FCD direto do fluxo de caixa, e o valor da opção de operação e adaptabilidade estratégica (MINARDI, 2000).

Do exposto, o artigo se propõe a apresentar a maneira como a Teoria das Opções Reais (TOR) tem sido encarada por acadêmicos e práticos, discorrendo-se também sobre a abrangência de suas aplicações e apontando-a como um dos métodos que melhor se adapta ao novo cenário das decisões de investimentos. Embora possa ser vista como uma metodologia de decisão disciplinada, a Teoria das Opções Reais, como toda teoria em processo de difusão e estabilização, apresenta suas limitações, o que não a impede, entretanto, de ser capaz de captar o valor da flexibilidade conseguida através de uma administração ativa, possibilitando refletir de forma mais real e precisa o processo de tomada de decisão de investimentos.

2. Um Novo Cenário Para as Decisões

As mudanças que estão se processando na natureza da competição e a pressão crescente da globalização faz do investimento o fator mais importante da vantagem competitiva. O objetivo de uma empresa deve ser a criação de um sistema no qual os gerentes irão fazer investimentos que maximizem o valor em longo prazo de suas companhias (PORTER, 1992), sendo que as vantagens competitivas podem se apresentar em dois tipos básicos: *menores custos* que os rivais e *habilidade de diferenciação* (PORTER, 1991).

Recentemente muitos economistas e pesquisadores têm explorado o conceito básico de que o pensamento de investimento como opções muda substancialmente a teoria e prática acerca do processo de tomada de decisão em investimento de capital. Neste abordagem, o projeto é visto como uma opção que pode ser exercida ou não, segundo as condições do mercado. A Teoria das Opções Reais vale-se dos métodos de precificação de opções financeira para avaliar os projetos.

Tradicionalmente as faculdades de administração e economia têm ensinado os administradores a operarem sob a premissa de que as decisões de investimento podem ser reversíveis se as condições mudarem ou, irreversíveis, à medida que forem um investimento do tipo *agora ou nunca*. Mas, tão logo tenha surgido o pensamento de oportunidades de investimento como opções, esta premissa mudou. Irreversibilidade, incerteza e a possibilidade de se postergar o investimento (*timing*), entretanto, alteram a decisão de investimento de maneira crítica (DIXIT & PYNDICK, 1995).

O início de funcionamento da ALCA (Área de Livre Comércio das Américas), previsto para janeiro de 2005, contribuirá ainda mais para a incerteza nas relações comerciais. Neste ambiente de extrema competição as empresas precisam se adaptar rapidamente às mudanças, procurando investir em projetos que venham a criar opções para as corporações, ao invés de “matá-las”. Neste sentido as técnicas tradicionais de avaliação de investimentos parecem não captar o valor real de muitos projetos, o que tem apontado para a utilização de métodos mais sofisticados de avaliação de investimentos. A Teoria das Opções Reais (TOR) vem a corroborar neste sentido, uma vez que pode ser vista como uma abordagem estratégica e disciplinada na análise de investimentos.

3. Teoria das Opções : Uma Variedade de Aplicações

A avaliação por opções reais tem sido aplicada em vários contextos, tais como investimentos em fontes de recursos naturais, desenvolvimento de terras, *leasing*,

manufatura flexível, regulamento de subsídios governamentais, pesquisa e desenvolvimento (P&D), novos empreendimentos e aquisições, investimentos estrangeiros e estratégicos, casos de divórcio, escolha de emprego etc.. Além do desenvolvimento teórico, as aplicações das opções reais estão recebendo uma atenção crescente por parte das corporações, como será visto.

3.1 Alguns Trabalhos Importantes

As primeiras aplicações surgiram na área dos investimentos em recursos naturais devido à disponibilidade de recursos comercializados ou preços de *commodities*, alta volatilidade e longa duração, resultando em maior e melhor estimativa do valor das opções. BRENNAN & SCHWARTZ (1985) foram os primeiros a utilizar a teoria para avaliação de recursos naturais, avaliando as opções de parada temporária ou abandono de uma mina. PADDOCK, SIEGEL & SMITH (1988) avaliam as opções inseridas em reservas não-desenvolvidas de petróleo.

Na área do desenvolvimento de terras, TITMAN (1985), mostra que o valor de uma área desocupada deveria refletir não somente o valor básico de seu melhor uso imediato (construção imediata de um edifício, por exemplo), mas também o valor da opção de se esperar seu desenvolvimento para que a terra seja convertida nas suas melhores alternativas num futuro uso.

Na área da manufatura flexível, a flexibilidade conseguida pelos sistemas flexíveis de manufatura, tecnologia flexível de produção ou outro maquinário que tenha múltiplo uso tem sido analisada com a perspectiva das opções por KULATILAKA (1988), TRIANTIS & HODDER (1990), entre outros.

Para investimentos estrangeiros, BALDWIN (1987), discorre sobre a possibilidade de instalação de uma planta fabril em vários locais, a possibilidade de *timing* e a de construção seqüencial quando as empresas analisam o cenário do mercado global. KOGUT & KULATILAKA (1994), PENNING & LINT (2000), entre outros, examinam as opções de entrada, capacidade e de adequação para empresas multinacionais sob operações em um ambiente de taxa de câmbio volátil. ALVAREZ (1999) usa a TOR para discorrer sobre a saída ótima do mercado e a avaliação de projetos sob demanda incerta.

KALLBERG & LAURIN (1997) valem-se da TOR para orçamento de capital em um estudo de caso de uma empresa do setor farmacêutico. DIAS (1996) em sua dissertação de mestrado analisa investimentos sob incerteza em projetos de exploração e produção de petróleo, enquanto CASTRO (2000), também em uma dissertação de mestrado, utiliza a mesma TOR para avaliação de investimento de capital em projetos de geração termoelétrica no setor elétrico brasileiro.

MCDONALD & SIEGEL (1986) desenvolvem um modelo sobre o valor da espera por melhores condições e MCDONALD & SIEGEL (1985), desenvolvem e estudam uma metodologia para avaliar projetos de investimentos, onde existe uma opção de parar a produção temporariamente sem custos, quando a variável custo excede os ganhos operacionais. ROBERTS & WEITZMAN (1981) examinam projetos com investimentos seqüenciais usando um modelo que realça o papel da coleta de informação. Em seu modelo cada estágio de investimento promove informação que reduz a incerteza do valor do projeto completado. Isto é mais aplicável a projetos de P&D para os quais o papel da aprendizagem é crítico.

Além de aplicações econômicas, a teoria das opções reais pode ser usada para a análise de problemas sócio-econômicos, tais como os problemas de casamento, suicídio e mudanças de opinião pública, conforme indicado no livro de DIXIT & PINDYCK (1994). No artigo de DIXIT & PINDYCK (1995), são analisados os problemas de escolha de uma carreira profissional e do casamento. Existe até um artigo sobre divórcio usando a teoria de opções reais (MUHTASEB,1995 *apud* DIAS, 1996).

3.2 Teoria das Opções Reais nas Empresas

Em entrevista (NICHOLS, 1994), a CFO J. Lewent, de uma das grandes empresas farmacêuticas dos EUA, a Merck & Co., Inc., declarou que a empresa usa a teoria das opções especialmente na análise de *joint ventures* para a pesquisa e desenvolvimento de novos produtos, declarando inclusive que “*para mim, todos os tipos de decisões de negócios são opções*”. Em outro artigo, KEMMA (1993) divide suas experiências na Shell ao analisar casos que envolviam as opções de *timing*, de crescimento e abandono em investimentos de extração de petróleo.

TRIGEORGIS (1996) destaca outras empresas que têm considerado ou vêm adotando a teoria das opções na análise de seus projetos, como a RTZ Corporation e a Newmont Mining Corporation, na área de recursos naturais; a Digital Equipment Corporation e a Cray Research na área de informática; a Ford Motor Company e “diversas” empresas japonesas, na indústria automobilística.

Alguns exemplos de projetos que foram analisados com ajuda da moderna teoria das opções reais são destacados por TRIGEORGIS (1996): (a) a companhia de telecomunicações US West, em projetos de alta tecnologia como a fabricação de telefones celulares e *papers* especiais; (b) a Digital Equipment Corporation, usou essa teoria já no final dos anos 80, para construir uma fábrica de semicondutores (o que mostrou que a fábrica valia mais do dobro do que era mostrado pelo FCD); e (c) apresenta detalhes de dois projetos da Merck and Co. que foram feitos com ajuda da teoria das opções, um deles sobre automação industrial, e o outro, mais interessante, sobre a aquisição, por US\$ 6 bilhões, da empresa Medco, que detinha registros detalhados de mais de 30 milhões de pacientes americanos, o que dava novas oportunidades (opções) para crescimento da empresa através do desenvolvimento de novos produtos para estes pacientes (TRIGEORGIS, 1996).

4. Opções Reais: Uma Decisão Estratégica

Uma importante área que merece mais atenção, e onde as opções reais têm potencial de fazer uma diferença significativa é a competição e a estratégia. Vantagens competitivas sustentáveis resultantes de patentes, propriedade de tecnologias, posse de fontes de recursos naturais, capital administrativo, reputação ou nome da marca, poder de mercado, fortalecem as companhias com opções valiosas de crescimento através de futuros investimentos rentáveis e também a possibilitam responder efetivamente à adversidade inesperada ou oportunidades em um ambiente de mudanças tecnológicas e de extrema competição (KESTER, 1984).

A melhor forma de se abordar uma avaliação é olhar a oportunidade como uma sucessão de opções de crescimento. Ao se fazer uma avaliação a questão correta a ser feita não é qual retorno vamos obter de nosso investimento nesta companhia, mas, quão valiosa é a opção de crescimento que será criada pelo investimento sucessivo na companhia?

Respondendo a estas questões naturalmente se conduzirá à questão estratégica chave: Qual estratégia de crescimento criará o maior valor? Quando administradores começam a pensar em termos de opções, eles vêem que o investimento é um sistema *atualizável*, devendo ser considerado como uma série de investimentos feitos em estágios (ECCLES *et al.*, 1999).

Quando executivos criam uma certa estratégia, eles projetam a si próprios e suas organizações no futuro, criando um caminho que vai de onde eles estão até onde eles querem estar alguns anos mais tarde. Mas assim que se inicia neste caminho, começa-se a aprender as condições do negócio, as ações dos competidores, a qualidade do preparo da empresa, etc, sendo necessário se responder com flexibilidade ao que foi aprendido. Infelizmente, a ferramenta mais amplamente utilizada, o Fluxo de Caixa Descontado (FCD), assume que um predeterminado plano será seguido, sem considerar o desdobramento dos eventos. A melhor abordagem de avaliação deveria incorporar tanto a incerteza inerente no negócio quanto a ativa tomada de decisão requerida para uma estratégia de sucesso (LUEHRMAN, 1998).

As decisões estratégicas lidam com a “saúde” de longo prazo de uma empresa. Devido à sua importância, decisões estratégicas devem ser claramente ligadas entre si para se formar um padrão consistente, unificando e direcionando a organização. Este padrão de decisão reflete a estratégia da organização que, por definição, busca efetivamente igualar ou alinhar a capacidade da organização com as oportunidades e ameaças do ambiente. Efetivamente os executivos não tomam muitas grandes decisões, eles se concentram nas mais importantes (HARRISON & PELLETIER, 2000).

Em termos financeiros, *“uma estratégia de negócios é muito mais semelhante a uma série de opções do que a uma série de fluxos de caixa estático”*, conforme ressaltam HARRISON & PELLETIER (2000). A execução de uma estratégia quase sempre envolve a tomada de uma seqüência de decisões maiores. Algumas decisões são tomadas imediatamente, enquanto outras são deliberadamente deferidas. Desta forma os administradores podem otimizar as circunstâncias envolvidas.

Se um executivo se sente compelido a ir adiante em uma aquisição quando os números dizem para parar, analise as razões estratégicas tão rigorosamente quanto puder. Pergunte: O que poderá dar errado? O que ocorrerá se minhas hipóteses sobre a tecnologia e preços estiverem erradas? Quais as mudanças regulatórias poderiam fazer com que o negócio falhasse e qual é esta possibilidade? Como os competidores poderiam reagir de tal forma a me prejudicar, ainda que se prejudiquem? Neste ponto, talvez seja necessário a introdução de uma técnica analítica mais sofisticada, como a *avaliação das opções reais*, que auxilia os administradores a quantificar o potencial, mas não definido, de benefícios futuros, contribuindo também na identificação das decisões a serem feitas no futuro, seu melhor caminho e o momento de fazê-las (ECCLES *et al.*, 1999).

A melhor forma de se abordar uma avaliação é olhar a oportunidade como uma sucessão de opções de crescimento. Ao se fazer uma avaliação a questão correta a ser feita não é qual retorno vamos obter de nosso investimento nesta companhia, mas, quão valiosa é a opção de crescimento que será criada pelo investimento sucessivo na companhia? Respondendo a estas questões naturalmente se conduzirá à questão estratégica chave: Qual estratégia de crescimento criará o maior valor? Quando administradores começam a pensar em termos de opções, eles vêem que o investimento é um sistema atualizável, devendo ser considerado como uma série de investimento feito em estágios (AMRAM & KULATILAKA, 1999).

O real valor das opções reais está não nos resultados de Black & Scholes ou outras fórmulas, mas na reformulação do pensamento dos executivos a respeito de investimento estratégico. Por prover uma introspecção objetiva da incerteza presente em todos os mercados, as opções reais capacitam os executivos a pensar mais claramente e mais realisticamente a cerca da complexidade e risco das decisões estratégicas. Isto traz estratégia e valor para o acionista (AMRAM & KULATILAKA, 1999).

5. Opções Reais: Uma Decisão Disciplinada

Numa pesquisa feita com 75 executivos de 40 companhias diferentes, buscando-se responder às seguintes perguntas – “Como deve-se pensar acerca de quanto se pagar por uma aquisição? E como saber quando abandoná-la? ”, os pesquisadores ECCLES, LANES & WILSON(1999), concluíram que a combinação de um rigor analítico a um processo disciplinado rigoroso pode auxiliar os executivos a guiar a companhia na direção das aquisições corretas a um preço correto.

O autores ECCLES, LANES & WILSON(1999) acreditam que mais da metade dos negócios realizados atualmente irá destruir valor para os acionistas da companhia compradora. Crêem que isto deve-se ao fato de muitas empresas “*negligenciarem a necessidade de um processo analítico disciplinado que garanta o triunfo do negócio, superando a emoção e o ego*”. Tal disciplina é responsabilidade dos executivos e do corpo de diretores. Se as aquisições ou fusões, nos próximos dez anos, não criarem valor para os acionistas maior do que nos últimos cem anos, é porque as companhias não criaram um processo sistemático que ponha estas simples lições em prática.

Uma *decisão disciplinada*, segundo as autoras AMRAM & KULATILAKA(1999), baseia-se em três componentes:

- A decisão é estruturada em termos das opções criadas ;
- Todas as informações relevantes do valor e risco disponíveis no mercado financeiro são levadas em consideração;
- As transações do mercado financeiro são usadas para se adquirir opções ou, de outra forma, aliviar o risco quando for economicamente justificável.

A aplicação da disciplina de mercado muda a maneira dos administradores tomarem decisões, mudando a decisão em si. As opções aumentam o valor de se continuar um projeto porque protegem o ganho potencial total do investimento enquanto reduz a possibilidade de perdas. As companhias podem tirar as informações do mercado financeiro para se medir o valor de suas opções (AMRAM & KULATILAKA,1999).

Ainda que as decisões pareçam distantes do mercado financeiro, estas podem ser disciplinadas. Estas dependem da complexidade das decisões e da distância do mercado. Quando um decisão está próxima ao mercado, ou seja, quando existe um paralelo entre as opções reais e as opções financeiras, estas avaliações podem ser feitas usando fórmulas padronizadas de precificação de opções como a equação do modelo de BLACK & SCHOLE(1973)(AMRAM & KULATILAKA,1999).

6. Opções Reais: Suas Limitações

As ferramentas para avaliar opções existem a cerca de apenas trinta anos, e o conceito de opções reais é ainda mais novo. Não seria surpresa que a determinação do valor de uma opção real permaneça como uma ciência inexata. A aplicação da disciplina do mercado tem seus limites, os quais precisam ser cuidadosamente considerados ao se tomar uma decisão.

As limitações à aplicação da *decisão disciplinada*, conforme apontam AMRAN & KULATILAKA(1999), estão principalmente no:

- **Modelo do risco:** refere-se à diferença entre as respostas do modelo de avaliação e modelo teoricamente correto;
- **Aproximações imperfeitas:** quando não se tem o preço do produto comercializado, aproxima-o pelo preço de um similar;
- **Ausência de preços observáveis:** quando os preços não estão disponíveis no mercado;
- **Ausência de liquidez:** o volume comercializado é tão baixo que qualquer quantia comercializada pode alterar o preço;
- **Risco privado:** é o risco peculiar a uma companhia.

Por causa destas limitações, as respostas obtidas através da abordagem das opções reais podem divergir das melhores respostas teóricas. Apesar destas distorções, a abordagem das opções reais conduz a melhores decisões do que as abordagens tradicionais. Além disto, a *fronteira* das opções reais continua a avançar rapidamente. Estes modelos estão se tornando mais sofisticados e as informações provenientes do mercado estão se tornando mais robustas. Estes limites, de outra forma, crescem pouco (AMRAM & KULATILAKA, 1999).

Por que mais companhias não estão adotando a abordagem das opções reais na tomada de uma decisão estratégica? Os autores acreditam que a abordagem tem sido lenta em difundir no mundo dos negócios porque muito das discussões sobre o assunto têm-se centrado nas equações e modelos. A complexidade das ferramentas tem obscurecido o poder da idéias subjacentes. (AMRAM & KULATILAKA, 1999).

Como afirma DIAS (1996) , “ *tudo indica que a teoria das opções reais ainda será bastante desenvolvida, com novos métodos e modelos mais abrangentes, que deverão se beneficiar dos avanços de ferramentas matemáticas, como o cálculo estocástico e a teoria das equações diferenciais, já que as mesmas são usadas em áreas de interesse de vários ramos da ciência*”.

As opções reais existem em quase toda decisão de negócio e tendem a aparecer em várias formas. “*A maior parte do desafio de se considerar a abordagem das opções nas estratégias repousa na identificação da gama total de opções que se possui, separando-as umas das outras e decidindo-se qual é a de maior valor*” (AMRAM & KULATILAKA,1999).

7. Conclusões

Com a mudança do panorama mundial para a tomada de decisão de investimentos, onde a incerteza impera em quase todos os mercados, a utilização das técnicas tradicionais não tem sido suficiente para captar estas características, o que pode, muitas vezes, conduzir a erros graves, conforme ressaltam DIXIT & PINDYCK (1994).

Neste contexto, a Teoria das Opções Reais vem ganhando grande destaque no meio acadêmico, e, principalmente, nas corporações. Como pôde ser observado, muitas são as possibilidades de aplicação da TOR, indo desde assuntos relacionados à escolha de profissão até mesmo à decisão de transferência de um país para outro em função de mudanças políticas e/ou econômicas.

Como toda teoria incipiente e em processo de difusão e estabilização, a TOR apresenta suas limitações, sendo que a dificuldade para sua difusão e utilização pelas empresas ainda reside, principalmente, no foco na complexidade das equações e modelos. Como expresso por AMRAM & KULATILAKA (1999), o real valor das opções reais está não nos resultados de Black & Scholes ou outras fórmulas, mas na reformulação do pensamento dos executivos a respeito de investimento estratégico. Por prover uma introspecção objetiva da incerteza presente em todos os mercados, as opções reais capacitam os executivos a pensar mais claramente e mais realisticamente acerca da complexidade e risco das decisões estratégicas.

8. Bibliografia

- ALVAREZ, L. H. R. (1999), *Optimal Exit and Valuation Under Demand Uncertainty: A Real Options Approach*, European Journal of Operation Research, v.114, p. 320-29;
- AMRAM, M. , KULATILAKA, N. (1999), *Disciplined Decisions : Aligning Strategy with the Financial Markets* ; Harvard Business Review , Jan/Feb, p.95-105;
- BALDWIN, C. Y. (1987), *Competing for Capital in a Global Environment*, Midland Corporate Finance Journal, v. 5, n. 1, Spring, p. 43-64;
- BLACK, F., SCHOLES, M. (1973), *The Pricing of Options and Corporate Liabilities*, Journal of Political Economy, v. 81, n. 3, May-June, p. 637-54;
- BRENNAN, M. J. , SCHWARTZ, E. S. (1985), *Evaluating Natural Resource Investments*, Journal of Business, v. 58, n. 2, p. 135-57;
- CASTRO, A. L. (2000), *Avaliação de Investimento de Capital em Projetos de Geração Termoelétrica no Setor Elétrico Brasileiro Usando Teoria das Opções Reais*, Dissertação de Mestrado, Dep. de Eng. Ind., PUC/ Rio, Abril de 2000, 106p;
- DIAS, M. A. G. (1996), *Investimento sob Incerteza de em Exploração de Petróleo*, Dep. de Eng. Industrial, PUC/RJ, Dissertação de Mestrado, Agosto de 1996, 470p;
- DIXIT, A. K., PINDYCK, R. S. (1994), *Investment Under Uncertainty*, Princeton University Press, Princeton, N. J.;
- _____ (1995), *The Options Approach to Capital Investment*, Harvard Business Review, v. 73, n. 1, May/June, p.105-15;
- ECCLES, R. G. , LANES, K. L. , WILSON, T. C. (1999); *Are Paying Too Much for That Acquisition?* ; Harvard Business Review, July/August ;
- HARRISON, E. F. , PELLETIER, M. A. (2000), *Levels of Strategic Decision Success*, Management Decision, v. 38, Issue 2.
- KALLBERG, G., LAURIN, P. (1997), *Real Options in R&D Capital Budgeting- A case study at Pharmacia & Upjohn*, Master Thesis, Departament of Economics, Gothenburg School of Economics and Commercial Law, Spring;
- KEMNA, A. G. Z. (1993), *Case Studies on Real Options*, Financial Management, autumn, p.259-70;

- KESTER, W. C. (1984) *Today's Options for Tomorrow's Growth*, Harvard Business Review, v. 62, n. 2, March/April, 1984.
- KULATILAKA, N. (1988), *Valuing Flexibility of Flexible Manufacturing Systems*, IEEE Transactions on Engineering Management, v. 35, n. 4, nov. , p. 250-257;
- KOGUT, B. , KULATILAKA, N. (1994), *Operating Flexibility, Global Manufacturing, and the Option Value of a Multinational Network*, Management Science, v. 40, n. 1, Jan., p. 123-39;
- LUEHRMAN, T. A. (1998); *Strategy as Portfolio of Real Options*; Harvard Business Review; Sep/Oct., p 89-99;
- MINARDI, A. M. A. F. (2000), *Teoria de Opções Reais Aplicada a Projetos de Investimentos*, Revista de Administração de Empresas /EAESP/FGV, São Paulo, v. 40, n. 2, Abr./Jun., p.74-79;
- NICHOLS, N. A. (1994), *Scientific Management at Merck: an interview with CFO Judy Lewent*, Harvard Business Review, Jan/Feb, pp 88-99;
- ROBERTS, K. , WEITZMAN, M. L. (1981), *Funding Criteria for Research, Development, and Exploration Projects*, Econometrica, v. 49, n. 5, September, p.1261-88;
- PADDOCK, J. L. , SIEGEL, D. R. , SMITH, J. L. (1988), *Option Valuation of Claims on Real Assets: The Case of Offshore Petroleum Leases*, Quarterly Journal of Economics, August, p. 479-508;
- PENNINGS, E. , LINT, O. (2000), *Market Entry, Phased Rollout or Abandonment? A Real Option Approach*, European Journal of Operational Research, v.124, p.125-138;
- PORTER, M. E. (1991), *Towards a Dynamic Theory of Strategic*, Strategic Management Journal, v. 12, p. 95-117;
- _____ (1992), *Capital Disadvantage: America's Failing Capital Investment System*, Harvard Business Review, Sep./Oct. , p. 65-82;
- McDONALD, R. L. SIEGEL, D. R. (1986), *The Value of Waiting to Invest*, Quarterly Journal of Economics, Nov. , p. 707-27;
- _____ (1985), *Investment and the Valuation of Firms When There is an Option to Shut Down*, International Economic Review, v.26, n. 2, June, p.331-49;
- TITMAN, S. (1985), *Urban Land Prices Under Uncertainty*, The American Economic Review, v. 75, n. 3, June, p. 505-14;
- TRIANTS, A. J. HODDER, J. E. (1990), *Valuing Flexibility as a Complex Option*, Journal of Finance, v. 45, n. 2 , June, p. 549-65;
- TRIGEORGIS, L. (1996), *Real Options – Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation*, The MIT Press.