



**Luciana C.A. de Carvalho**

**Uma abordagem da Teoria de  
Opções Reais em Tempo Discreto**

**Dissertação de Mestrado**

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

Orientador: Prof. Marcelo Cabús Klotzle  
Co-Orientador: Prof. Luiz Eduardo Teixeira Brandão

Rio de Janeiro, setembro de 2005

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.



**Luciana C.A. de Carvalho**

**Uma abordagem da Teoria de  
Opções Reais em Tempo Discreto**

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

**Prof. Marcelo Cabús Klotzle**

Orientador

Departamento de Administração - PUC-Rio

**Prof. Antônio Carlos Figueiredo**

Departamento de Administração - PUC-Rio

**Prof. Luiz Eduardo Teixeira Brandão**

Co-Orientador

Departamento de Administração - PUC-Rio

**Prof. Celso Funcia Leme**

COPPEAD

**Prof. João Pontes Nogueira**

Vice-Decano de Pós-Graduação do CCS

Rio de Janeiro, 29 de setembro de 2005

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

**Luciana C.A. de Carvalho**

Economista pela PUC-Rio. Atualmente trabalha na Área de Planejamento Financeiro da Coca-Cola.

Ficha catalográfica

Carvalho, Luciana C.A. de

Uma abordagem da Teoria de Opções Reais em Tempo Discreto / Luciana C.A. de Carvalho; orientador: Marcelo Cabús Klotzle. – Rio de Janeiro: PUC-Rio, Departamento de Administração, 2005.

68 f.; 30 cm

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

Inclui referências bibliográficas

1. Administração – Teses. 2. Finanças. 3. Opções Reais. 4. Análise de Projetos. 5. Análise de Decisão. I. Klotzle, Marcelo Cabús. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Departamento de Administração. III. Título.

CDD: 658

À minha família, pela dedicação, confiança e exemplo.

## Agradecimentos

Ao Prof. Luiz Eduardo Teixeira Brandão pela extrema dedicação e transmissão de conhecimentos fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos professores que participaram da comissão examinadora.

Aos professores do Departamento de Administração da PUC-Rio, pela oportunidade de crescimento pessoal e profissional.

A Teresa e ao Leopoldo pela presteza e paciência.

Às colegas Mariana Arozo, Luciana Andrade e Renata Motta, pela ajuda e amizade durante o curso de mestrado.

À minha irmã Viviane, pelo exemplo de força e perseverança.

Aos meus pais, pelo apoio emocional e incentivo constantes.

Ao Bruno, pelo carinho, companheirismo e incentivo inestimáveis.

## Resumo

De Carvalho, Luciana C. A.; Klotzle Marcelo Cabús. **Uma abordagem da Teoria de Opções Reais em Tempo Discreto**. Rio de Janeiro, 2005. 68 p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Os métodos tradicionais de avaliação de projetos vem sendo questionados por não considerarem possíveis incertezas associadas ao investimento. Neste contexto, a Teoria das Opções Reais busca aplicar o conceito de opções a ativos reais, com a finalidade de agregar o valor da flexibilidade gerencial aos métodos tradicionais de avaliação de investimentos. A avaliação por Opções Reais é considerada complexa devido à difícil modelagem de incertezas e das flexibilidades, além da necessidade de se ter mercados completos. Este estudo busca incorporar a flexibilidade gerencial à avaliação de projetos através do uso de Árvores Binomiais de Decisão, com probabilidades neutras ao risco, para a avaliação por Opções Reais em Tempo Discreto. Utilizamos programação dinâmica para a aplicação desta metodologia, a qual é computacionalmente intensa, porém de solução simples e intuitiva. A aplicação prática foi realizada através da valoração da opção de expandir e da opção de abandonar enfrentada por uma empresa de Tecnologia.

## Palavras-chave

Finanças; Opções Reais; Análise de Projetos; Flexibilidade Gerencial; Análise de Decisões

## Abstract

De Carvalho, Luciana C. A.; Klotzle Marcelo Cabús (Advisor). **A discrete time approach of Real Options theory**. Rio de Janeiro, 2005. 68 p. MSc. Dissertation - Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The traditional methods of Valuation are being questioned as they do not consider possible uncertainties related to investment decisions. In this scenario, Real Options Theory applies option's concept to real assets, aiming to add the value of managerial flexibility to traditional Valuation techniques. The evaluation for Real Options is considered complex due to the difficulty of modeling uncertainties and flexibilities, beyond the need to have complete markets. This work aims to add the managerial flexibility to Valuation by binomial lattice and decision tree techniques, with risk neutral probabilities, in a discrete time approach to evaluation for Real Options. Using dynamic programming to apply this method, which is computationally intense, but simple and intuitive. The practical application consists in valuing an option to expand and to abandon faced by an IT company.

## Keywords

Finance; Real Options; Valuation; Decision Analysis, Managerial Flexibility; Decision Analysis.

## Sumário

1.	Introdução	12
1.1.	Objetivos do estudo	14
1.2.	Relevância do Estudo	14
1.3.	Metodologia de Pesquisa	15
1.4.	Estrutura da Dissertação	15
2	Revisão da Literatura	17
2.1.	Conceitos centrais	17
2.2.	Método de Avaliação por Fluxo de Caixa Descontado	18
2.2.1.	Principais Componentes da Metodologia do FCD	19
2.2.2.	Limitações do método	22
2.3.	Método de Avaliação por Opções Reais	23
2.3.1.	Principais Conceitos	23
2.3.2.	Opções Financeiras	24
2.3.3.	Opções Reais	25
2.3.4.	Classificações de Opções Reais	26
2.3.5.	Modelo Black-Scholes	27
2.3.6.	Árvore Binomial	29
3	Modelo Teórico	35
3.1.1.	Considerações Iniciais	35
3.1.2.	Premissa Primeira: Marketed Asset Disclaimer	36
3.1.3.	Premissa Segunda: Movimento Geométrico Browniano	36
3.1.3.1.	Simulação de Monte Carlo	38
3.1.4.	Avaliação	39
4	Aplicação ao Caso de uma empresa de Tecnologia	45
4.1.	Introdução	45
4.2.	O Projeto	45
4.3.	Avaliação por FCD	47
4.4.	Avaliação por Opções Reais	49

4.4.1.	Determinação da Volatilidade do Projeto	50
4.4.2.	Árvore Binomial do Projeto	53
4.4.3.	Árvore de Decisão do Projeto	56
5	Conclusões	64
5.1.	Limitações da metodologia	65
5.2.	Trabalhos Futuros	65
6	Bibliografia	67

## Lista de figuras

Figura 1 - Modelo Binomial	30
Figura 2 - Portfólio Replicante	32
Figura 3 - Árvore de Eventos	41
Figura 4 - Árvore de Decisão	43
Figura 5 - Fluxos de caixa esperados para o projeto	49
Figura 6 - Incerteza do preço (intervalo de confiança de 95%)	52
Figura 7 - Incerteza da quantidade (intervalo de confiança de 95%)	52
Figura 8 - Parâmetros no DPL – Árvore Binomial	54
Figura 9 - Modelo Binomial do Projeto	55
Figura 10 - Árvore Binomial do Projeto	56
Figura 11 - Parâmetros no DPL – Árvore de Decisão	57
Figura 12 - Modelo com Opções	58
Figura 13 - Árvore de Decisão do Projeto	59
Figura 14 - Política ótima de investimentos	61
Figura 15 - Análise de sensibilidade lançamento do Novo Produto	62
Figura 16 - Análise de sensibilidade ao valor de abandono	63

## Lista de tabelas

Tabela 1 - Analogia: Projeto de Investimento e Opção Financeira	26
Tabela 2 - O processo de avaliação em quatro etapas	44
Tabela 3 - Premissas da avaliação por FCD	47
Tabela 4 - Avaliação por FCD	48
Tabela 5 - Resultados da Simulação de Monte Carlo	53
Tabela 6 - Dividendos	54

# 1

## Introdução

A perspectiva de que as decisões de investimento das empresas devem estar voltadas à criação de valor para seus acionistas vem se consolidando nas últimas décadas. Assim, a administração de valor se tornou um desafio para os executivos, que tomam decisões através da avaliação de oportunidades para a empresa. Como efeito, a atividade de avaliação de investimentos vem ganhando destaque, reforçada pela crescente importância da análise e mensuração de valor e risco.

Tradicionalmente, as empresas decidem investir sempre que os benefícios esperados sejam maiores do que os custos envolvidos na implantação do projeto, sendo que tais custos e benefícios são auferidos mediante uma taxa que reflita o custo de capital da empresa e o risco do empreendimento. Esta regra é difundida no meio acadêmico e no empresarial através do método do Fluxo de Caixa Descontado (FCD) ou método do Valor Presente Líquido (VPL), e tem sido amplamente utilizada como base teórica nos últimos 50 anos.

“O Valor Presente Líquido é a ferramenta mais utilizada pelas grandes empresas na análise de investimentos. (...) Foram necessárias quase duas décadas para que o método fosse amplamente aceito. Sem dúvida, esta taxa de adoção foi influenciada pelo surgimento de calculadoras de bolso e dos microcomputadores.” (Copeland e Antikarov , 2002, p.57)

Entretanto, a eficiência dos métodos tradicionais de avaliação começou a ser questionada, por não considerarem possíveis incertezas associadas ao investimento, já que o método do FCD define os fluxos de caixa futuros a partir de informações disponíveis no momento zero. Para Dixit e Pindyck (1994, p.3) o método FCD não considera algumas características básicas que envolvem a decisão de investimento. Logo, a aplicação destes métodos pode induzir a decisões equivocadas ou imprecisas.

Segundo os autores, o processo decisório de investimento, na prática, se caracteriza por três fatores principais. O primeiro deles é a irreversibilidade, ou seja, o custo inicial do investimento é parcialmente ou completamente irreversível, em caso de desistência do investimento. O segundo fator, com o qual o investidor se depara, é a incerteza quanto aos rendimentos futuros do

investimento. Finalmente, o terceiro fator é a flexibilidade, isto é, o investidor, por exemplo, pode escolher o momento mais apropriado para realizar, abandonar ou adiar o investimento na espera de mais informações sobre o futuro.

O ambiente econômico, no qual a maioria das empresas está inserida, é mais volátil e imprevisível do que há alguns anos atrás. Dessa forma, a incerteza associada às decisões de investimentos requer mais sofisticação na forma pela qual os executivos avaliam e quantificam o risco.

A incorporação de condições de incerteza à decisão de investimento foi pioneiramente abordada por Black, Scholes e Merton (1973), que desenvolveram um estudo para avaliação de opções financeiras. A partir deste estudo, a Teoria das Opções Reais buscou aplicar o conceito de opções a ativos reais, ao invés de sobre ativos financeiros, com a finalidade de agregar o valor da flexibilidade gerencial aos métodos tradicionais de avaliação de investimentos.

Contudo, mesmo representando uma importante evolução em relação aos métodos tradicionais, a difusão do método de avaliação por Opções Reais vem sendo dificultada pela complexidade matemática e teórica envolvida. Tal complexidade está associada sobretudo, ao objeto de avaliação, que, ao contrário das opções financeiras, é um ativo real. O ativo básico das opções reais não possui as mesmas características de um ativo financeiro, como séries históricas e preço de mercado, o que torna sua modelagem mais complexa.

Os recentes avanços computacionais tendem a acelerar a difusão do método de avaliação por Opções Reais, tanto para a modelagem contínua quanto para a discreta. Tal método representa uma importante ferramenta no processo de decisão de investimentos, no gerenciamento estratégico das empresas, e na precificação quantitativa de investimentos e empresas como um todo. “No início do novo milênio, a aplicação das opções reais está começando a decolar, quase 30 anos após o trabalho pioneiro de Black, Scholes e Merton.” (Copeland e Antikarov, 2002, p.53)

O problema do investimento sob condições de incerteza justifica, então, a busca de um ferramental de análise preciso e eficiente. Assim, a presente dissertação tem como propósito contribuir para o arcabouço teórico de avaliação de empresas.

## 1.1.

### **Objetivos do estudo**

O presente trabalho busca apresentar a Teoria de Opções Reais como possível resposta aos problemas encontrados nos métodos de avaliação de investimentos considerados tradicionais, à luz da conjuntura de grande incerteza que cerca as decisões de investimento em ambientes caracterizados por alta volatilidade econômica, respondendo à seguinte questão principal:

- Como o modelo de avaliação com base em opções reais poderia favorecer a análise e o direcionamento de investimentos em detrimento dos métodos tradicionais?

Para coletar informações que ajudem na solução do problema principal, este estudo pretende apresentar as teorias de precificação de opções reais, suas características e limitações, e em seguida, exemplificar a aplicabilidade dos conceitos abordados, utilizando-se de um modelo teórico.

Passando do contexto científico para a aplicação prática, este estudo se propõe a oferecer um parâmetro para avaliações futuras, além de reforçar a importância do risco e da incerteza para análise de investimentos.

A presente dissertação pretende expor as idéias sugeridas por Copeland e Antikarov (2002), de como as ferramentas tradicionais de análise de investimentos podem ser utilizadas na solução de problemas de avaliação por opções reais. Espera-se, desta forma, contribuir ao estudo do tema de opções reais, que permanece pouco pesquisado e divulgado entre os profissionais de finanças latino-americanos, cujo ambiente parece ser um dos mais propícios à sua ampla aplicação.

## 1.2.

### **Relevância do Estudo**

O presente estudo é relevante tanto para o meio acadêmico quanto para o meio empresarial. No meio acadêmico, sua importância reside no incremento do arcabouço teórico de avaliação de empresas, refletindo a realidade de risco e incertezas. A partir deste entendimento, será possível o desenvolvimento e refinamento do modelo teórico aqui exposto, em trabalhos científicos posteriores.

Para o meio empresarial, pretende-se auxiliar as decisões de negócios, reforçando a importância do uso de um ferramental adequado ao

considerar um ambiente de incertezas na análise de investimentos.

### **1.3.**

#### **Metodologia de Pesquisa**

O presente trabalho realizará uma revisão bibliográfica em livros, artigos, dissertações e teses sobre o tema, apresentando o estado da arte da teoria de precificação de opções para a análise de projetos de investimento, sob condições de incerteza.

A partir da revisão bibliográfica e apresentação dos modelos de avaliação de opções reais, será proposto um modelo teórico baseado nas idéias de Copeland e Antikarov (2002). Em seguida, tal modelo será aplicado a um caso de difícil modelagem enfrentado por uma empresa do setor de tecnologia.

Os resultados serão apresentados quantitativa e qualitativamente, sendo comentados e comparados aos resultados obtidos pelo método tradicional de avaliação (FCD), de forma conclusiva.

### **1.4.**

#### **Estrutura da Dissertação**

O presente estudo foi organizado da seguinte maneira. O capítulo 1 introduz as preocupações concernentes à avaliação de investimentos em ambientes empresariais cercados de incerteza e apresenta as principais questões que serão abordadas e a metodologia utilizada para a elaboração desta dissertação. O capítulo 2 descreve os diversos métodos de avaliação existentes e apresenta o modelo de opções reais. Além disso, revisa os conceitos associados a avaliação de investimentos, percorrendo os métodos de precificação de opções mais utilizados. Este capítulo expõe a analogia existente entre as opções financeiras e as opções reais, apresentando a metodologia, seus conceitos matemáticos e os tipos mais comuns de opções reais encontrados na prática. O capítulo 3 propõe o modelo teórico para precificação de opções. O capítulo 4 expõe uma aplicação prática da utilização da metodologia de opções reais, agregando os diversos conceitos mencionados anteriormente, em uma simulação de um caso hipotético, e seus resultados. Já o capítulo 5 apresenta as considerações finais, revê as questões que o estudo propôs abordar, com base nos dados e informações obtidos no decorrer

das etapas anteriores, e apresenta as conclusões da pesquisa. O capítulo 6 exhibe as referências bibliográficas utilizadas.

## 2

### Revisão da Literatura

#### 2.1.

##### Conceitos centrais

A avaliação ou valoração de empresas tem sido o ferramental mais utilizado para a concepção de modelos que resultem em um preço justo de mercado, considerando os riscos assumidos pelo investidor.

Segundo CORNELL (1993, p.7), o objetivo de uma avaliação é o de estimar o valor justo de mercado. Assim, quando o ativo avaliado é um projeto, o resultado de sua avaliação expõe o valor que o projeto pode agregar aos negócios da empresa. Portanto, tal valor é utilizado para a tomada de decisões gerenciais e estratégicas da empresa.

Copeland *et al.* (2000, p.3, p.21) acreditam que os métodos de avaliação são uma ferramenta importante no processo decisório. Afinal, por trás da técnica de avaliação está a crença de que maximizar o valor para o acionista deve ser a meta fundamental de todas as empresas. Para o autor, “o valor é a melhor métrica de desempenho porque é a única que exige informação completa. Para compreender plenamente o processo de criação de valor é preciso usar uma perspectiva de longo prazo, gerenciar os fluxos de caixa tanto da demonstração dos resultados como do balanço patrimonial e saber como comparar os fluxos de caixa de diferentes períodos ajustados por seus riscos.”

Como já mencionado na Introdução do presente estudo, a eficiência dos métodos tradicionais de avaliação, como o FCD, vem sendo questionada, por ignorarem características básicas abordadas pelo método de Opções Reais. Isto porque tal método permite agregar à análise de investimento, não só os benefícios oriundos da flexibilidade gerencial, mas também os riscos associados a projetos realizados em um ambiente incerto.

Para Dixit e Pindyck (1994), os conceitos principais associados ao método de Opções Reais são: irreversibilidade, incerteza e a flexibilidade. A interação destes conceitos não é considerada adequadamente pelos métodos tradicionais de avaliação de investimentos. Para Copeland e Antikarov (2002, p.113), “O VPL pressupõe implicitamente que não há flexibilidade na tomada de decisões”. ROSS

*et al.* (1995, p.181) definem que a análise convencional do VPL é relativamente estática, diante do ambiente dinâmico com o qual a maioria das empresas se depara.

Estes conceitos fazem com que uma oportunidade de investimento seja análoga à uma opção financeira, isto é, uma firma com a oportunidade de investir, detém uma opção de compra. A firma, então, possui o direito e não a obrigação de comprar um ativo (o projeto) no futuro, ao preço de exercício determinado (o valor do investimento). Logo, quando a firma decide realizar o investimento, analogamente, ela exerce uma opção. A opção de investir, então, possui um valor que deve ser considerado como custo de oportunidade no momento do investimento. Embora o investimento seja irreversível, ao longo da vida da opção a firma tem a possibilidade de exercê-la quando as condições de mercado forem mais favoráveis.

## 2.2.

### **Método de Avaliação por Fluxo de Caixa Descontado**

O princípio básico associado a este método é o de valor presente, no qual o valor de qualquer ativo é o valor dos fluxos de caixa futuros dele esperados, descontado por seu custo de oportunidade no tempo.

Assim, a avaliação por FCD se divide basicamente em duas etapas: a estimação dos fluxos de caixa do projeto e a estimação de uma taxa de desconto, a qual será utilizada para trazer a valor presente todos os fluxos de caixa futuros e o valor residual, definido como perpetuidade.

A perpetuidade pressupõe que o fluxo de caixa do período analisado estende-se infinitamente. O valor residual seria, então, o valor presente destes fluxos de caixa calculados para o último ano do período em análise. Este valor, por sua vez, também é trazido à data inicial do fluxo.

Copeland *et al.* (2000, p.65), defendem o método de fluxo de caixa descontado (FCD) como o mais apropriado para a tomada de decisão. Para o autor a técnica do FCD captura todos os elementos que afetam o valor de maneira abrangente, porém direta. Além disso, ela encontra forte sustentação em pesquisas sobre como os mercados realmente avaliam projetos.

DAMODARAN (1997, p.15) destaca que a taxa de desconto será uma função do grau de risco inerente aos fluxos de caixa estimados, com taxas maiores para ativos mais arriscados e taxas mais baixas para projetos mais seguros.

Tal metodologia, portanto, tem como característica principal explicitar os direcionadores de valor<sup>1</sup> para a formação do valor, além de permitir a simulação de diferentes cenários, premissas macroeconômicas, operacionais e financeiras para a projeção dos fluxos de caixa, expondo ao investidor os benefícios gerados pelo projeto avaliado.

### 2.2.1.

#### Principais Componentes da Metodologia do FCD

A abordagem por FCD requer a definição dos seguintes fatores:

a) A projeção do fluxo de caixa e os direcionadores de valor que a definem, como, por exemplo, a taxa segundo a qual o faturamento, os lucros e a base de capital da empresa estão crescendo, e o retorno sobre o capital investido. Para Copeland *et al.* (2000, p.127), “Esses direcionadores de valor são consistentes com o bom senso. (...) uma empresa que cresça rapidamente valerá mais do que uma empresa semelhante, que obtenha lucros menores(...)”

b) O Valor da Perpetuidade representa o valor presente do fluxo de caixa após a projeção explícita, ao se assumir premissas perpétuas sobre os resultados do projeto. O estado de equilíbrio ao final da projeção é representado pela taxa estimada de crescimento constante “g” atribuída ao negócio.

O valor está vinculado diretamente aos fluxos de caixa futuros que o projeto é capaz de gerar. Na maioria das avaliações, supõe-se que o horizonte de projeção é infinito, ou seja, que o projeto gerará recursos contínua e infinitamente. Todavia, há um consenso entre diversos autores que o período explícito de projeção deve ser suficientemente longo, até que o projeto alcance estabilidade. Então, o Valor da Perpetuidade pode ser definido conforme equação 2.1:

---

<sup>1</sup> *Value Drivers*

$$V_{n-1} = \frac{FC_n}{(i - g)} \quad \text{Equação 2.1}$$

Na qual:

$FC_n$  = valor do  $n$ ésimo fluxo de caixa, a partir do qual supõe-se a estabilidade

$i$  = taxa de desconto do fluxo de caixa

$g$  = taxa de crescimento do fluxo de caixa

c) A Taxa de Desconto é a taxa utilizada para calcular o valor presente dos fluxos de caixa projetados e do valor residual, e deve refletir o retorno mínimo exigido pelos investidores, dado certo grau de risco, que justifique o aporte dos recursos no projeto.

O custo médio ponderado de capital<sup>2</sup>, muitas vezes utilizado como taxa de desconto, é adequado ao desconto do fluxo de caixa de um projeto, por refletir ambas as fontes de recursos envolvidas. O WACC consiste em uma ponderação entre o custo do capital próprio e o custo do capital de terceiros em função do percentual destes na estrutura de capital.

Segundo DAMODARAN (1997, p.59), o custo de capital próprio é equivalente ao custo do patrimônio líquido, sendo que a abordagem pelo modelo de risco e retorno é descrita pelo CAPM<sup>3</sup>.

Há portanto, dois caminhos para o valor, ou seja, um deles projetando o fluxo de caixa gerado a ser descontado pelo WACC, ou como alternativa, projetar o fluxo de caixa para o acionista e descontá-lo pela taxa calculada pelo CAPM.

A taxa de desconto WACC pode ser definida através da seguinte fórmula, na qual  $E/(D+E)$  representa a participação de capital próprio e  $D/(D+E)$  representa a participação do capital de terceiros no capital total da empresa.

$$WACC = R_E \times \frac{E}{(D+E)} + R_D \times \frac{D}{(D+E)} \quad \text{Equação 2.2}$$

<sup>2</sup> WACC – Weighted Average Cost of Capital

<sup>3</sup> Capital Asset Pricing Model

O custo do capital de terceiros é calculado pela ponderação das taxas às quais a empresa obtém seus financiamentos e empréstimos, ou seja, o retorno que os credores exigem por seu capital.

As obrigações financeiras correntes da empresa, como as contas a pagar, têm um custo de capital exatamente igual ao das outras formas de dívida, mas esse custo está implícito no preço pago aos insumos que as geram e, portanto, está incluído nos custos operacionais e no fluxo de caixa da empresa (Copeland *et al.*, 2000, p.222). Apenas os impostos que se aplicam realmente as despesas com juros devem ser usados para compor a taxa de desconto. Os outros impostos ou créditos devem ser incorporados diretamente no fluxo de caixa (Copeland *et al.*, 2000, p.389).

O custo do capital próprio ( $R_E$ ), é calculado através do CAPM, sendo função de uma série de parâmetros, conforme expresso na fórmula a seguir. Em linhas gerais, o CAPM, ou coeficiente de custo do capital próprio, resulta da soma da taxa de retorno dos títulos sem risco e da taxa de risco sistemático da empresa (beta), multiplicada pela taxa de prêmio relativa ao risco de mercado.

$$R_E = R_F + \beta \times [E(R_M) - R_F] \quad \text{Equação 2.3}$$

Na qual:

$R_E$  = custo do capital próprio

$R_F$  = taxa isenta de risco

$\beta$  = beta alavancado aplicável

$E(R_M)$  = retorno esperado sobre o índice de mercado

$[E(R_M) - R_F]$  = prêmio de risco do mercado acionário

A taxa isenta de risco ( $R_F$ ) é calculada em função do investimento considerado de menor risco disponível no mercado. O beta ( $\beta$ ) é um indicador da variação de determinado ativo em relação ao mercado, ou seja sua volatilidade.

Estes componentes, quando reunidos permitem calcular o valor do projeto através da metodologia de FCD.

$$Valor = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad \text{Equação 2.4}$$

Na qual:

Valor = valor do projeto

$FC$  = fluxos de caixa projetados

$i$  = taxa de desconto para os fluxos de caixa

$n$  = número de períodos do fluxo de caixa

## 2.2.2.

### Limitações do método

Por meio da análise do FCD, um projeto é aceito se possuir um valor positivo ( $VPL \geq 0$ ), e recusado se apresentar valor negativo ( $VPL < 0$ ). Já na teoria de opções reais, o fato de apresentar um valor positivo ( $VPL > 0$ ) é insuficiente para a tomada de decisão, pois pode ser mais vantajoso adiar o investimento para uma data futura. Ao mesmo tempo, enquanto o método do FCD rejeita os projetos com valor negativo ( $VPL < 0$ ), com a teoria de opções reais é possível recomendar tais investimentos.

O método do FCD define os fluxos de caixa futuros a partir de informações disponíveis no momento zero, não considerando a flexibilidade gerencial, ou seja, um possível ajuste realizado pelo gerente no futuro, ao observar novas condições de mercado. Na prática, as decisões gerenciais podem se alterar à medida que novas informações de mercado surgirem, e conseqüentemente, o projeto apresentará novos fluxos de caixa. Por não captar possíveis incertezas associadas ao investimento e a flexibilidade gerencial, o método do FCD pode subestimar o valor final do projeto, e até mesmo, declará-lo inviável.

Copeland *et al.* (2000, p.65) afirmam que: “A análise do fluxo de caixa descontado tende a subestimar o valor de um projeto porque ela é ineficaz ao capturar adequadamente os benefícios da flexibilidade operacional e outros fatores estratégicos como investimentos subsequentes”. Copeland e Antikarov (2002) apontam o VPL como um cálculo estático, que deixa de levar em consideração opções de um projeto de investimento. “Entre tais opções, está a de expandir ou prolongar o projeto, se os resultados forem melhores do que o esperado, ou reduzi-lo ou abandoná-lo, se seus resultados forem piores do que o esperado”.

Damodaran (2002, p.343) também critica a avaliação pelo fluxo descontado, alegando que “deixa de levar em consideração as opções que estão embutidas em muitas empresas”.

Há uma tendência dos principais autores em afirmar que o método de avaliação por Opções Reais é mais abrangente, já que este leva em consideração a existência de flexibilidade em decisões gerenciais.

## 2.3.

### Método de Avaliação por Opções Reais

#### 2.3.1.

##### Principais Conceitos

A Teoria de Opções Reais vem ganhando atenção de pesquisadores e gerentes por ser capaz de incorporar ao valor de um investimento, a flexibilidade gerencial associada ao mesmo. Tal flexibilidade expande o valor da oportunidade do investimento pela melhoria do potencial de ganhos, enquanto limita as perdas relativas às expectativas iniciais do executivo sob uma administração passiva.

Os conceitos principais associados ao método de Opções Reais são:

- **Irreversibilidade:** O custo inicial do investimento é ao menos parcialmente perdido. Não se pode recuperar este investimento inicial caso haja mudança de idéia quanto à decisão de investir. Para Dixit e Pindyck (1994, p.6) o FCD assume que, ou o investimento é reversível e pode de alguma forma ser recuperado, ou se for irreversível, a firma deve realizar o investimento em um momento específico, sem opção de adiá-lo. Alguns projetos podem, de fato, corresponder a esta realidade, contudo, a maioria dos investimentos em projetos é irreversível.
- **Incerteza quanto aos benefícios futuros do investimento:** O melhor que o investidor pode fazer é atribuir probabilidades aos possíveis resultados (Dixit e Pindyck 1994, p.3). Assim, o valor da opção de investir será diretamente afetado pelo grau de incerteza associado ao projeto.
- **Flexibilidade:** Muitas vezes, o investidor pode realizar o projeto no momento em que julgar mais conveniente. Logo, na prática, pode haver opção de adiar o investimento. Evidentemente, considerações

estratégicas podem levar a empresa a não adiar, ou até mesmo, antecipar o projeto. Portanto, é necessário comparar os custos de adiamento com o benefício gerado pelo mesmo.

A interação dos conceitos de irreversibilidade, incerteza e flexibilidade acima mencionados fazem com que uma oportunidade de investimento seja análoga à uma opção financeira, isto é, uma firma com a oportunidade de investir, detém uma opção de compra. A firma, então, possui o direito e não a obrigação de comprar um ativo (o projeto) no futuro, ao preço de exercício determinado (o valor do investimento). Logo, quando a firma decide realizar o investimento, analogamente, ela exerce uma opção. A opção de investir, então, possui um valor que deve ser considerado como custo de oportunidade no momento do investimento (RIGOLON, 1999).

### 2.3.2.

#### Opções Financeiras

Uma opção de compra<sup>4</sup> é um direito que seu detentor tem de comprar um ativo por um preço de exercício estabelecido, em uma data futura determinada (data de exercício). A opção de compra será exercida se o valor de mercado do ativo, na data de exercício, for superior ao preço de exercício da opção.

Uma opção de venda<sup>5</sup> é um direito que seu detentor tem de vender um ativo por um preço de exercício pré-estabelecido, em uma data futura determinada (data de exercício). A opção de venda será exercida se o valor de mercado do ativo, na data de exercício, for inferior ao preço de exercício da opção.

As opções também podem ser diferenciadas quanto à data de exercício. As opções européias são aquelas onde o exercício somente ocorrerá na data de exercício determinada, enquanto que as opções americanas podem ser exercidas a qualquer momento até a data de vencimento.

Copeland e Antikarov (2002, p.6) definem uma opção como “o direito, e não a obrigação, de empreender uma ação (por exemplo, diferir, expandir, contrair ou abandonar) a um custo predeterminado que se denomina preço de exercício, por um período preestabelecido – a vida da opção”.

---

<sup>4</sup> call option

<sup>5</sup> put option

Copeland e Antikarov (2002, p.13) afirmam que as opções reais se classificam pelo tipo de flexibilidade que oferecem. “Uma opção de diferimento é uma opção de compra americana encontrada na maioria dos projetos em que existe a possibilidade de adiar o início de um projeto. A opção de abandono de um projeto por um preço fixo (mesmo que esse preço decline com o tempo) é formalmente uma opção de venda americana. Também o é a opção de contração (reduzir a dimensão) de um projeto, mediante a venda de uma fração do mesmo a um preço fixo. A opção de expansão de um projeto, pagando-se mais para aumentá-lo, é uma opção de compra americana. Opções de conversão são portfólios de opções de compra e venda americanas que permitem seu detentor trocar a um custo fixo entre dois modos de operação.”

### 2.3.3.

#### Opções Reais

Os principais modelos de avaliação de opções utilizam um conjunto básico de variáveis que necessitam ser conhecidas ou estimadas para que possam fornecer o preço da opção. Em resumo, uma opção real, da mesma forma que uma opção financeira, está sujeita a cinco variáveis básicas:

- **Preço do ativo subjacente (S):** é o preço de mercado do ativo. No caso de opção real, os executivos podem influenciar esta variável, enquanto que no caso de opção financeira, o preço é definido pelo mercado.
- **Preço de exercício (K):** é o preço pelo qual o detentor da opção pode exercê-la.
- **Tempo até o vencimento (T):** fração do prazo de vencimento da opção.
- **Taxas de juros (r):** é a taxa de juros que influi na determinação do preço da opção, ou seja, quanto maior a taxa, maior o valor da opção.
- **Volatilidade ( $\sigma$ ):** é o movimento que sofre o ativo subjacente com o passar do tempo. Indica a incerteza (ou risco) quanto aos retornos proporcionados por este ativo. Quanto maior o risco, maior a probabilidade da opção gerar ganhos.

Projeto		Opção Financeira		Variável
Valor Presente do Projeto	⇒	Preço do Ativo Subjacente	⇒	S
Investimento Inicial	⇒	Preço de exercício	⇒	X
Vida Útil do Projeto	⇒	Tempo até o Vencimento	⇒	t
Taxa de Desconto	⇒	Taxa de Retorno Livre de Risco	⇒	r
Incerteza sobre o Fluxo de Caixa	⇒	Volatilidade	⇒	$\sigma$

Tabela 1 - Analogia: Projeto de Investimento e Opção Financeira

Dentre os itens apresentados, as quatro primeiras variáveis são intuitivas, no entanto, a volatilidade ( $\sigma$ ) é a mais difícil de ser determinada, pois não é diretamente observada e precisa, portanto, ser estimada.

A volatilidade histórica é medida normalmente pelo desvio padrão dos movimentos no preço do ativo subjacente no passado, expressa em percentual, e calculada, na maioria das vezes, para períodos pequenos e recentes.

Um ativo com volatilidade muito baixa não deverá sofrer grandes alterações no preço futuro, o que significa um pequeno risco na negociação do ativo. Da mesma forma, um ativo subjacente com grande volatilidade, ou muito volátil, poderá sofrer grandes mudanças no preço.

Os modelos de avaliação de opções envolvem matemática avançada. Contudo, devido à sua rápida capacidade de resposta, e por serem programáveis em microcomputadores e calculadoras, estes modelos vem sendo cada vez mais aceitos pelos profissionais de mercado.

#### 2.3.4.

#### Classificações de Opções Reais

Copeland *et al.* (2000) classifica as opções sobre investimentos em 5 categorias mutuamente excludentes, que, todavia, não esgotam todas as possibilidades com as quais o investidor se depara.

- **opção de abandono:** A opção de abandonar o projeto equivale a uma opção financeira de venda. Se os resultados ficarem aquém do esperado, o investidor pode decidir abandoná-lo ou vendê-lo, e realizar o valor de liquidação esperado. Neste caso, esse valor pode ser visto como o preço de exercício da opção de venda, e o ato de abandonar o projeto equivale a realizar esta opção. Portanto, um projeto que pode ser abandonado ou vendido pode valer mais do que o mesmo projeto sem esta possibilidade.

- **opção de adiamento:** A opção de adiar um investimento é análoga a uma opção financeira de compra. Copeland et al. (2000) ilustra este tipo de opção com um exemplo de uma reserva de petróleo. O proprietário da reserva pode adiar o processo de exploração até o preço do petróleo subir, ou seja, há flexibilidade gerencial para adiar o investimento. Como a opção de adiar o investimento concede ao investidor um direito, e não uma obrigação, este projeto pode valer mais do que se não houvesse esta possibilidade.
- **opção de expansão:** A opção de expandir um investimento é, também, análoga a uma opção financeira de compra, por conceder ao investidor o direito, mas não a obrigação, de fazer investimentos posteriores, como por exemplo, aumentar a capacidade de produção. Logo, um projeto que possa ser expandido pode valer mais do que o mesmo projeto sem a flexibilidade da expansão.
- **opção de contração:** A opção de contrair o projeto equivale a uma opção financeira de venda. Da mesma forma que a administração tem flexibilidade para expandir o projeto, por outro lado, pode optar por contrair a capacidade de produção, caso as condições de mercado sejam desfavoráveis, por exemplo. Logo, um projeto que possa ser contraído pode valer mais do que o mesmo projeto sem esta flexibilidade.
- **opção de mudança:** A opção de mudar pode ser equivalente, tanto à uma opção de compra quanto de venda. Copeland et al. (2000) ilustra esta situação com um exemplo de projeto, cuja operação pode ser ativada ou desativada dinamicamente, ou alternada entre dois locais distintos. Tal projeto pode valer mais do o mesmo que não possua tal flexibilidade.

### 2.3.5.

#### **Modelo Black-Scholes**

Um grande avanço no estudo de opções foi realizado na década de 1970 por Fisher Black, Myron Scholes e Robert Merton, com um trabalho ganhador do Prêmio Nobel (1997), criando um modelo para a avaliação de opções européias, que deu origem ao conhecido modelo Black-Scholes, Merton. Antes da

abordagem ao modelo, convém explicitar alguns conceitos importantes associados a este modelo.

Um processo estocástico descreve a evolução probabilística do valor de uma variável ao longo do tempo. Uma maneira intuitiva de se visualizar o processo estocástico de uma variável é através da simulação do comportamento desta variável. A distribuição de probabilidade para a variável pode ser obtida através da Simulação de Monte Carlo.

Um dos processos estocásticos usualmente assumido para ativos é um Movimento Geométrico Browniano<sup>6</sup>, no qual o logaritmo da variável subjacente segue um processo generalizado de Wiener. Por sua vez, o processo generalizado de Wiener corresponde ao processo estocástico no qual uma alteração na variável em questão, em um determinado espaço de tempo  $\Delta t$ , segue uma distribuição normal, com média e variância, ambas proporcionais a  $\Delta t$ .

Em outras palavras, esta premissa implica que a distribuição probabilística dos preços do ativo que segue um MGB, é lognormal e, por conseqüência, a distribuição probabilística das taxas de retorno calculadas de forma contínua entre duas datas é normal.

O modelo Black-Scholes parte do conceito de que o ativo objeto de uma opção segue um comportamento estocástico contínuo, na forma de um MGB.

A fórmula do modelo Black-Scholes, Merton, que é amplamente utilizada pelo mercado financeiro adota seguintes premissas básicas:

- O preço dos ativos tem uma distribuição lognormal, com  $\mu$  e  $\sigma$  constantes, sendo  $\mu$  o retorno esperado do ativo e  $\sigma$  a volatilidade do preço do ativo.
- A taxa de juros livre de risco ( $r$ ) é constante.
- Não existem custos de transação, impostos ou margens, e todos os ativos são perfeitamente divisíveis.
- O ativo objeto (ação) não paga dividendos ou qualquer outro rendimento durante a vida da opção.
- Não existem oportunidades de arbitragem livre de riscos.
- A negociação com o ativo subjacente é contínua (e não discreta).

---

<sup>6</sup> Geometric Brownian Motion.

O modelo é definido conforme equação 2.5.

$$V = SN(d_1) - Ke^{-rt}N(d_2) \quad \text{Equação 2.5}$$

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{K}\right) + \left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right)t}{\sigma\sqrt{t}} \quad \text{Equação 2.6}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{t} \quad \text{Equação 2.7}$$

Na qual:

$V$  = Valor da opção

$S$  = valor atual do ativo subjacente

$K$  = preço de exercício da opção

$t$  = vida remanescente até o vencimento da opção

$\mu$  = taxa de juros livre de risco correspondente à vida da opção

$\sigma^2$  = variância do logaritmo neperiano (ln) do valor do ativo subjacente

No modelo Black-Scholes, no entanto, a posição montada na carteira equivalente só é livre de risco por períodos muito curtos, praticamente instantâneos, o que denota uma diferença fundamental do modelo binomial.

O modelo binomial, a ser apresentado no item 2.3.6, busca aplicar o conceito de opções a ativos reais, ao invés de sobre ativos financeiros, com a finalidade de agregar o valor da flexibilidade gerencial aos métodos tradicionais de avaliação de investimentos.

### 2.3.6.

#### Árvore Binomial

Cox, Ross e Rubinstein (1979) apresentaram um modelo alternativo, mais simples e intuitivo, para a avaliação de opções. A construção de árvores binomiais, ao modelar a distribuição lognormal contínua, representa os diversos resultados que podem ser assumidos pelo preço do ativo subjacente durante a vida da opção.

O modelo, ilustrado na Figura 1, considera  $S$  o preço atual da ação. A cada período, o preço ( $S$ ) é multiplicado por uma variável aleatória,  $u$  ou  $s$ , e o preço se desloca para cima até  $Su$  com probabilidade  $p$  e para baixo, até  $Sd$ , com probabilidade  $1-p$ . Se o preço se move para  $Su$ , supomos que o *payoff* da opção é  $f_u$ , e caso no do deslocamento para  $Sd$ , consideramos  $f_d$  o *payoff* da opção.

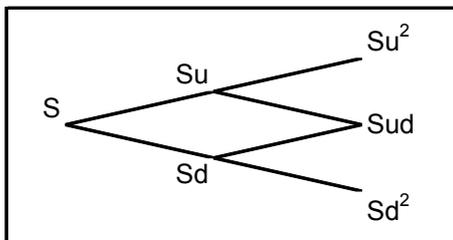


Figura 1 - Modelo Binomial

Hull (2002) generaliza o modelo binomial, a partir de um portfólio com  $\Delta$  ativos, que o tornam livre de risco. Para tanto, os movimentos ascendentes e descendentes devem ser iguais conforme equação 2.8.

$$Su\Delta - f_u = Sd\Delta - f_d \quad \text{Equação 2.8}$$

ou

$$\Delta = \frac{f_u - f_d}{Su - Sd}$$

Neste caso, o portfólio sem risco deve ser remunerado à taxa livre de risco ( $r$ ), e o *payoff* esperado da opção no período  $t$  é definido conforme equação 2.9.

$$E(S_t) = pf_u + (1-p)fd \quad \text{Equação 2.9}$$

Na qual:

$$p = \frac{e^{rt} - d}{u - d} \quad \text{Equação 2.10}$$

Logo, ao definirmos  $p$  como a probabilidade de subida ou descida, assumimos que o retorno do ativo equivale à taxa livre de risco. Dessa forma, a

premissa básica adotada pelo modelo é a da avaliação neutra ao risco, isto é, o retorno esperado para os ativos é a taxa livre de risco, e ainda, os fluxos de caixa futuros podem ser descontados pela taxa livre de risco, desde que o ajuste ao risco seja efetuado nas probabilidades  $p$  e  $1-p$ .

Os parâmetros  $u$  e  $d$  são definidos considerando a volatilidade ( $\sigma$ ) do preço do ativo, em um determinado intervalo de tempo  $\Delta t$ . Assim, obtêm-se os seguintes valores para as variáveis aleatórias  $u$  e  $d$ :

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad \text{Equação 2.11}$$

$$d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad \text{Equação 2.12}$$

- **Decision Tree Analysis (DTA)**

Ao mapear possíveis ações gerenciais, baseadas nos possíveis estados da natureza, as árvores de decisão (DTA) tentam capturar o valor da flexibilidade gerencial em instantes de decisão futuros. Esta modelagem, em tempo discreto, propõe a construção de uma árvore com nós de decisão, nos quais o executivo pode utilizar informações disponíveis naquele momento, para maximizar o valor do projeto.

Com DTA, algumas limitações do FCD podem ser superadas, já que o executivo pode exercer um gerenciamento ativo no projeto, afastando incertezas presentes no início do mesmo.

Entretanto, um aspecto relevante desta abordagem deve ser observado. A otimização que ocorre em cada instante futuro, representados pelos nós de decisão, altera os fluxos de caixa esperados, e conseqüentemente, os riscos associados ao projeto. Assim, quando a flexibilidade gerencial é considerada, o desvio padrão, é distinto daquele associado ao projeto sem flexibilidade. Portanto, a taxa ajustada ao risco aplicada à avaliação com flexibilidade, para determinação do valor do projeto com opções reais, não será a mesma utilizada como taxa de desconto do projeto sem flexibilidade gerencial.

Torna-se necessário, então, determinar as taxas corretas de desconto. Uma solução para este problema é utilizar o método do portfólio replicante para definir

taxas ajustadas ao risco. Através do princípio de não-arbitragem o valor corrente do portfólio replicante deve ser igual ao valor do projeto. Considerando um valor para o projeto ( $V$ ), o portfólio replicante de um período pode ser definido conforme Figura 2.

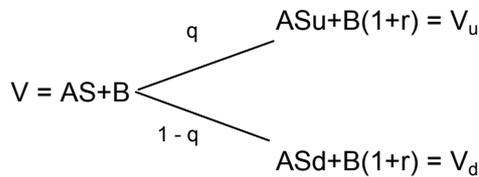


Figura 2 - Portfólio Replicante

No qual:

$A$  = quantidade

$S$  = preço do projeto

$B$  = valor investido num projeto livre de risco

$r$  = juros pagos pelo projeto livre de risco

$u$  = número maior que 1, refletindo um aumento no valor do projeto

$d = 1/u$  = número menor que 1, refletindo um decréscimo no valor do projeto

$V_u$  = Valor assumido pelo portfólio caso o valor do projeto aumente

$V_d$  = Valor assumido pelo portfólio caso o valor do projeto diminua

Para que este portfólio replicante represente o valor do projeto, os parâmetros  $A$  e  $B$  devem ser determinados. Desenvolvendo o sistema de equações, formado pelos possíveis valores assumidos pelo portfólio ao final do período, os valores de  $A$  e  $B$  são definidos conforme equações 2.13 e 2.14.

$$A = \frac{V_u - V_d}{S(u - d)} \quad \text{Equação 2.13}$$

$$B = \frac{uV_d - dV_u}{(u - d)(1 + r)} \quad \text{Equação 2.14}$$

Se  $A$  e  $B$  representam a replicação do portfólio do projeto ao final de cada período, então sob a condição de não arbitragem, o valor presente de  $AS+B$ , deve corresponder a  $V$ , no instante inicial do mesmo.

Contudo, para cumprir o objetivo de ajustar o risco para o projeto, o exercício do portfólio replicante deve ser repetido a cada nó da árvore. Dessa forma, tal abordagem se torna muito complexa para modelagens com um número maior de períodos.

Convém ressaltar que a principal vantagem desta abordagem é não haver necessidade de se estimar a probabilidade  $q$  de um aumento no preço do projeto. Porém, caso o valor de  $q$  fosse conhecida, a taxa de desconto apropriada ao projeto poderia ser obtida diretamente através da equação 2.15.

$$V = \frac{quV_u - (1-q)dV_d}{(1+k)} \quad \text{Equação 2.15}$$

Na qual:

$k$  = taxa de desconto

Nesta abordagem alternativa a do portfólio replicante, se considerarmos a taxa de desconto  $k$  igual à taxa  $r$  livre de risco, já conhecida, a equação 2.15 pode ser resolvida apenas para a probabilidade neutra ao risco  $p$ . Dessa forma, o ajuste ao risco do projeto passa a ser garantido pelas probabilidades de variação no preço do ativo, ao invés de pela taxa de risco ajustada.

Substituindo os valores de  $A$  e  $B$  já determinados, na relação  $V=AS+B$ , temos a seguinte equação resultante para o valor do projeto:

$$V = \frac{pV_u + (1-p)V_d}{(1+r)} \quad \text{Equação 2.16}$$

Na qual a probabilidade neutra ao risco  $p$  é definida por:

$$p = \frac{(1+r-d)}{(u-d)} \quad \text{Equação 2.17}$$

Em outras palavras, o valor presente da opção é igual aos retornos esperados, multiplicados pelas probabilidades que os ajustam a seus riscos. Assim, o numerador da equação 2.16 se torna um fluxo de caixa que pode ser descontado a uma taxa livre de risco.

As probabilidades neutras em relação ao risco não são as probabilidades objetivas que utilizamos ao estimar a probabilidade de que um evento qualquer. São simplesmente uma conveniência matemática destinada a ajustar os fluxos de caixa, de modo que possam ser descontados a uma taxa livre de risco.

Esta abordagem alternativa possui uma grande vantagem em relação ao portfólio replicante. Como as probabilidades neutras em relação ao risco são apenas uma função da taxa livre de risco e dos movimentos ascendentes e descendentes,  $u$  e  $d$ , elas permanecem constantes de nó para nó de decisão, enquanto que as taxas ajustadas ao risco variam. Dessa forma, sua implementação torna-se mais fácil do que a abordagem do portfólio replicante. Copeland e Antikarov (2002) provaram que as duas abordagens geram os mesmos resultados.

Adicionalmente, o Movimento Geométrico Browniano com volatilidade constante é a premissa mais adotada para o processo estocástico associado ao valor de um projeto, o que implica na constância dos valores de  $p$  e  $1-p$  e em sua aplicação ao longo da árvore, na qual  $A$  e  $B$  são calculados a cada nó. Conforme já mencionado, os movimentos ascendentes e descendentes,  $u$  e  $d$ , da árvore de decisão podem ser calculados através das equações 2.10 e 2.11, nas quais  $\sigma$  é a volatilidade do projeto.

Convém ressaltar que, a premissa do MGB pode não ser aplicável a todas as situações, e também não é pré-requisito para a abordagem realizada com Copeland e Antikarov (2002).

## 3

### Modelo Teórico

O modelo teórico proposto neste estudo se baseia em duas premissas. A primeira delas tem origem no trabalho de Copeland e Antikarov (2002), que recomendam o uso do valor presente do próprio projeto, sem flexibilidade, como ativo subjacente sujeito a risco. Já a segunda premissa assume que o processo estocástico normalmente assumido pelo ativo é um Movimento Geométrico Browniano. Conforme já mencionado, sob este processo, os retornos ao detentor do ativo num curto intervalo de tempo, apresentam distribuição normal, e o valor do ativo apresenta distribuição lognormal (Hull, 2002).

#### 3.1.1.

##### Considerações Iniciais

A hipótese de que o mercado é completo é frequentemente utilizada na avaliação pelo método de Opções Reais, e é o que torna possível a avaliação neutra ao risco.

Para Brandão (2002), o fundamento teórico que está por trás desta hipótese, é o mesmo aplicado às opções financeiras, e como tal, parte do princípio da não arbitragem para determinar que o valor de um projeto é idêntico ao de um portfólio dinâmico de mercado, que replique perfeitamente as características estocásticas desse projeto. Assim, o mercado é completo quando existe um número suficiente de ativos linearmente independentes que possibilite a estruturação de um portfólio replicante. Além disso, quando o mercado é completo, o ajuste ao risco pode também ser efetuado nas probabilidades de variação do preço do ativo em questão. Este ajuste é simplesmente uma aplicação do princípio da não arbitragem, a qual postula que os preços dos ativos devem ser consistentes, não permitindo lucros sem risco. Portanto, é possível obter uma distribuição neutra a risco, cujo retorno esperado de qualquer ativo equivale à taxa livre de risco sempre que o mercado é completo.

Quando o mercado é incompleto, não é possível obter um portfólio replicante, ou seja, não há um portfólio dinâmico de mercado que replique as características estocásticas do projeto em questão. Nestes casos, não é possível

determinar uma taxa de risco de mercado para o projeto. Para Dixit e Pindyck (1994), a solução deste problema pode ser obtida considerando-se uma taxa de desconto exógena.

### 3.1.2.

#### **Premissa Primeira: *Marketed Asset Disclaimer***

Copeland e Antikarov (2002) propõem uma alternativa a um portfólio de mercado, que consiste em adotar o valor presente do próprio projeto como valor do ativo básico do portfólio replicante. Os autores argumentam que não há ativo mais bem correlacionado ao projeto do que ele mesmo. Assim, o valor do projeto definido pelo FCD, utilizando-se do WACC como taxa de desconto, seria a melhor estimativa do valor de mercado, caso o projeto fosse um ativo negociado. Esta premissa, nomeada pelos autores de *Marketed Asset Disclaimer* (MAD), torna o mercado completo, permitindo então, uma avaliação neutra ao risco na solução do problema.

### 3.1.3.

#### **Premissa Segunda: *Movimento Geométrico Browniano***

A abordagem proposta por Copeland e Antikarov (2002) pressupõe que as opções associadas a um projeto podem ser avaliadas pelos métodos tradicionais de avaliação de opções, ou seja, considerando neutralidade ao risco, somente se o valor do projeto varia, ao longo do tempo, seguindo um Movimento Geométrico Browniano.

Os autores se basearam no teorema de Samuelson (1965), que demonstrou que em um mercado eficiente, isto é, considerando que os investidores têm informações completas sobre os fluxos esperados de um ativo, os preços correntes deste ativo já refletem as informações disponíveis. Logo, possíveis variações da taxa de retorno deste ativo serão aleatórias, e portanto, têm distribuição normal.

Apoiando-se nas conclusões de Samuelson (1965), e no estudo de Copeland e Antikarov (2002), assumimos que o valor do projeto varia, ao longo do tempo, seguindo um MGB. Para ilustrar isso, vamos considerar um valor de projeto  $V_i$ , no período  $i$  e  $V_{i+1}$ , no período  $i+1$ . O retorno do projeto, entre os períodos  $i$  e  $i+1$ , será então:

$$\frac{V_{i+1}}{V_i} \quad \text{Equação 3.1}$$

Sob a premissa de que o retorno do projeto segue um *random walk*, o logaritmo do retorno aleatório possui distribuição normal e pode ser definido como:

$$z = \ln\left(\frac{V_{i+1}}{V_i}\right) \quad \text{Equação 3.2}$$

A média e a variância da distribuição normal podem ser determinadas como  $\bar{z}$  e  $\sigma^2$ , respectivamente.

Dessa forma, a premissa segunda deste modelo teórico postula que se o retorno do projeto tem distribuição normal, logo, o processo estocástico do valor do projeto segue um MGB, isto é, o valor projeto tem uma distribuição lognormal. Assim, mudanças em  $V_i$  podem ser modeladas na forma:

$$dV = \mu V dt + \sigma V dw \quad \text{Equação 3.3}$$

Na qual:

$$\mu = \bar{z} + \frac{1}{2} \sigma^2 \quad \text{Equação 3.4}$$

e  $dw$  é o processo de Wiener padrão, conforme definido abaixo:

$$dw = \varepsilon \sqrt{dt} \quad \text{Equação 3.5}$$

A aplicação desta premissa segunda decorre da validade da primeira, de que o valor presente de um projeto é a melhor aproximação de seu valor de mercado. Dessa forma, é possível tratar o projeto como um ativo negociado em mercado e se utilizar do teorema de Samuelson para considerar este mercado eficiente, e portanto definir que as variações de valor do ativo real seguirão um MGB.

Esta premissa segunda é muito importante para análise de projetos que envolvam muitas incertezas, uma vez que permite a combinação de incertezas em

uma única incerteza representativa: a incerteza associada ao processo estocástico do valor do projeto.

### 3.1.3.1.

#### **Simulação de Monte Carlo**

A Simulação de Monte Carlo (SMC) permite determinar o valor esperado e o desvio padrão de uma variável, a partir da distribuição de probabilidades de um conjunto de parâmetros incertos. Logo, os parâmetros do processo estocástico do valor do projeto, tais como média e desvio padrão dos retornos do projeto (distribuição lognormal), e as conseqüentes estimativas do valor presente, podem ser obtidos através da SMC.

A volatilidade da taxa de retorno é o parâmetro que será utilizado para a árvore binomial, e representa a combinação de outras incertezas mais básicas do projeto, como por exemplo, preço, quantidade e custos.

A cada interação dos processos estocásticos dos parâmetros incertos (Variáveis de Entrada) associados ao valor do projeto, a simulação gera um novo conjunto de fluxos de caixa futuros, dos quais um novo valor de projeto é computado. Assim, cada amostra de um conjunto de parâmetros gera uma estimativa do valor presente do projeto,  $VP_o$ . Assim, a partir de um número suficiente de interações, a volatilidade do projeto pode ser determinada.

A SMC pode ser modelada com o auxílio de ferramentas desenvolvidas especialmente para essa finalidade, como é o caso dos softwares Crystal Ball e @Risk. A partir de seus resultados é possível capturar as variáveis mais importantes associadas ao projeto à medida que eventos aleatórios ocorrem. A SMC geralmente segue os seguintes passos:

- a) Modelagem do projeto através de uma série de equações matemáticas para todas as variáveis de entrada importantes, definidas pelo analista. Pode-se levar em consideração as correlações existentes entre as diferentes variáveis ao longo do tempo para realizar a Simulação;
- b) Especificação das distribuições de probabilidade para cada uma das variáveis de entrada, com base num histórico de dados ou no conhecimento e análise da empresa. Para as variáveis mais relevantes, pode-se realizar uma análise de sensibilidade, com o

objetivo de se obter maior precisão em suas distribuições de probabilidade. Já para variáveis não muito relevantes no processo, proceder a uma estimativa simples, determinística.

- c) Obtém-se uma amostra aleatória de valores para o projeto, a partir da distribuição de probabilidades das variáveis de entrada. Dessa forma, pode-se calcular os fluxos de caixa líquidos de cada período e o respectivo VPL do projeto para a amostra considerada;
- d) O processo é repetido diversas vezes, obtendo-se para cada interação um VPL para o projeto. Finalmente, uma distribuição de probabilidades do VPL do projeto pode ser gerada.

A utilização da SMC é especialmente adequada para opções dependentes de múltiplas variáveis<sup>1</sup>.

Dentre as limitações deste método numérico de avaliação, podemos destacar a dificuldade em se capturar corretamente todas as possíveis correlações existentes entre as variáveis de entrada, além da definição das incertezas relacionadas ao projeto em questão.

#### 3.1.4.

##### **Avaliação**

Seja um projeto com vida útil de  $n$  períodos, que demande um investimento inicial  $I$  para sua implantação e que deve gerar fluxos de caixas esperados  $C_i$ , para o qual  $i = 1, 2, \dots, n$ . A taxa de desconto ajustada ao risco do projeto,  $\mu$ , é determinada pelo WACC.

O projeto apresenta flexibilidade gerencial, representada pela administração ativa que seus gerentes podem realizar ao longo do tempo, visando maximizar seu valor. Convém lembrar que, a existência de flexibilidade gerencial altera o risco do projeto, logo a taxa de desconto  $\mu$  deixa de ser a taxa mais apropriada para avaliar o projeto com flexibilidade. Assim, torna-se necessário utilizar as probabilidades neutras ao risco, para que os fluxos do projeto possam ser descontados à taxa livre de risco.

Para Copeland e Antikarov (2002) o processo de avaliação de opções reais se divide em quatro passos. O primeiro é uma análise padrão do valor presente do

---

<sup>1</sup> *Rainbow Options*

projeto sem opções com emprego das técnicas tradicionais, através da projeção dos fluxos de caixa livres ao longo da vida do projeto. Estes fluxos de caixa são descontados a taxa de risco determinada pelo WACC ( $\mu$ ) para determinar o valor presente dos fluxos a cada período, conforme equação 3.6. A princípio, o valor do projeto sem flexibilidade avaliado pelo método tradicional, deve ser igual ao obtido através do modelo binomial.

$$\bar{V}_t = \sum_{i=t}^n \frac{\bar{C}_i}{(1 + \mu)^{i-t}} \quad \text{Equação 3.6}$$

O segundo passo é a construção de uma árvore de eventos, que considera um conjunto de incertezas, que influenciam a volatilidade do projeto. Copeland e Antikarov (2002) ressaltam que a árvore não incorpora decisões, e tem como objetivo modelar a incerteza que influencia o valor do ativo subjacente sujeito ao risco ao longo do tempo. Na maior parte dos projetos, os autores pressupõe que as múltiplas incertezas que influenciam o valor do projeto podem ser combinadas, por meio de uma análise Monte Carlo em uma única incerteza: a distribuição de retornos do projeto. Esta estimativa de volatilidade permite a construção da árvore de eventos.

Sob a premissa de que o retorno do projeto segue um *random walk*, o logaritmo do retorno aleatório possui distribuição normal e, conforme já mencionado, pode ser definido como:

$$z = \ln\left(\frac{V_1}{V_0}\right)$$

Contudo, nem sempre as incertezas podem ser combinadas, tornando-se necessária uma abordagem diferenciada para cada conjunto de incertezas. Copeland e Antikarov (2002) exemplificam com um caso de pesquisa e desenvolvimento de medicamentos, no qual a incerteza tecnológica diminui à medida que a empresa investe em conhecimento, enquanto que a incerteza econômica aumenta com o tempo.

O terceiro passo do processo de avaliação é a determinação das decisões gerenciais a serem tomadas nos nós da árvore de eventos, que a transformam em

uma árvore de decisões. Enquanto que a árvore de eventos modela o conjunto de valores que o ativo subjacente pode assumir ao longo do tempo, a árvore de decisões ilustra os retornos das decisões ótimas.

- **Árvore Binomial do Projeto**

A árvore binomial discreta modela o Valor do Projeto no tempo como um processo estocástico lognormal, conforme o modelo de Cox, Ross e Rubinstein (1979).

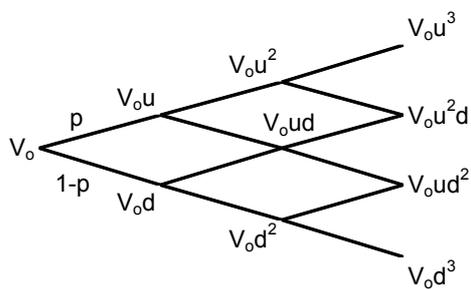


Figura 3 - Árvore de Eventos

Na qual:

$$p = \frac{(e^{r\Delta t} - d)}{(u - d)}; u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}}; d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}}, \text{ conforme já definido no item 2.3.}$$

A volatilidade a cada período na árvore de eventos é  $\sigma\sqrt{\Delta t}$ , onde  $\Delta t$  é o período usado na árvore.

- **Árvore de Decisão do Projeto**

A inclusão de flexibilidades gerenciais no projeto transforma a Árvore Binomial, que considera as incertezas associadas ao projeto, em Árvore de Decisão, que considera incertezas e opções reais.

Segundo Brandão (2002), a fim de atribuir mais flexibilidade à modelagem das opções reais do projeto, pode-se explicitar a função de valor do projeto em termos de uma variável mais básica: o fluxo de caixa do projeto, conforme equação 3.7.

$$\delta_i = \frac{\overline{C_i}}{V_i} \quad \text{Equação 3.7}$$

Na qual:

$V_i$  é o valor do projeto no período  $i$ .

Para obter os fluxos de caixa  $C_i$ , construímos uma árvore onde o valor do projeto é expresso em função dos fluxos, conforme equações abaixo:

$$V_i^u = (V_{i-1} - C_{i-1})u \quad \text{Equação 3.8}$$

$$V_i^d = (V_{i-1} - C_{i-1})d \quad \text{Equação 3.9}$$

Nas quais:

$C_{i-1} = V_{i-1} \delta_{i-1}$  representa o fluxo de caixa pago ao final do período  $i$ .

Assumindo que os retornos do projeto são constantes a cada estado, ou seja, são uma proporção fixa do valor do projeto a cada período, mas variam ao longo do tempo, temos:

$$\delta_i = \frac{\overline{C_i}}{V_i} = \frac{C_{i,j}}{V_{i,j}} \quad \forall j \quad \text{Equação 3.10}$$

Então, o valor do fluxo de caixa a cada período, que provém os valores de cada nó de decisão, pode ser definido conforme equação 3.11. Convém ressaltar que a taxa livre de risco é utilizada, já que consideramos as probabilidades livres de risco.

$$C_{i,j} = \frac{V_{i,j} \delta_i}{(1+r)^i} \quad \text{Equação 3.11}$$

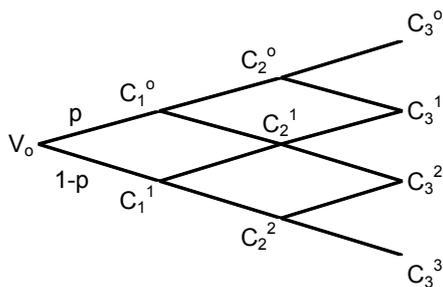


Figura 4 - Árvore de Decisão

O quarto passo consiste na avaliação dos retornos obtidos a partir da árvore de decisões. Ao inserirmos as flexibilidades gerenciais que o projeto apresenta, alteramos o risco associado ao mesmo. Logo, para calcularmos o valor do projeto com opções, torna-se necessário determinar um portfólio de mercado que replique os fluxos futuros do projeto. Outra possibilidade seria utilizar as probabilidades neutras ao risco na avaliação, sob a premissa do Market Asset Disclaimer (MAD), descrita anteriormente. Isto implica em assumir que o Valor Presente do projeto, sem flexibilidade, é o melhor estimador não tendencioso do seu valor de mercado, e assim, modelar o projeto considerando que o mercado é completo, aplicando probabilidades neutras ao risco, e portanto, utilizando a taxa livre de risco para desconto dos fluxos de caixa do projeto.

Assim, a probabilidade neutra a risco  $p$ , assume o seguinte valor:

$$p = \frac{(e^{rt} - d)}{(u - d)} \quad \text{Equação 3.12}$$

A tabela 2 ilustra as etapas do processo de avaliação segundo Copeland e Antikarov (2002)

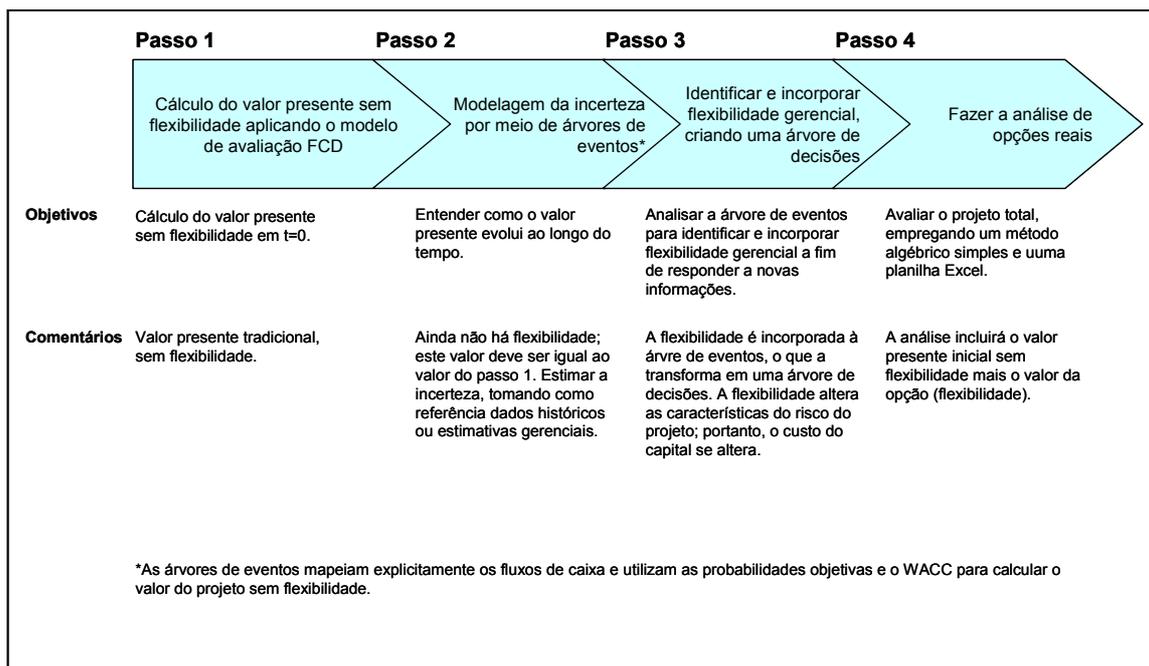


Tabela 1 - O processo de avaliação em quatro etapas

## 4

### Aplicação ao Caso de uma empresa de Tecnologia

#### 4.1.

##### Introdução

O rápido desenvolvimento do segmento de Tecnologia da Informação vem contribuindo de forma decisiva para a transformação do ambiente corporativo. Os atuais sistemas de informação oferecem às empresas, não só melhoria de processos internos, mas sobretudo ganhos de produtividade e vantagens competitivas dentro de sua indústria.

O avanço tecnológico trouxe a necessidade de uma mudança cultural nas organizações, a partir da reciclagem de antigos conceitos e paradigmas. Isto porque, como a geração de informação pode ser automatizada, o foco empresarial está cada vez mais voltado para o uso da informação e sua segurança.

Observa-se então, uma clara mudança no conceito de valor para as empresas, com um enfoque maior em ativos intangíveis como a informação. Como consequência, o segmento de Segurança da Informação ganhou destaque, provocando o surgimento de diversas *start-ups* em todo mundo, a partir da necessidade de garantir confidencialidade e integridade à informação.

Neste contexto, surgiu a empresa GoodTech, objeto deste exemplo de aplicação prática, inspirado no caso da empresa Portes apresentado por Copeland e Antikarov (2002).

#### 4.2.

##### O Projeto

O valor de muitos projetos está condicionado a decisões de investimento futuras, e portanto, não podem ser avaliados por FCD no momento zero. Este estudo de caso mostra como o valor de uma empresa de tecnologia pode ser obtido através do método de avaliação por opções reais. A abordagem por opções reais mostra que investimentos com opções de crescimento embutidas possuem maiores expectativas de retorno que outros. Tal conclusão ajuda a explicar a diferença de performance entre empresas da mesma indústria.

A empresa GoodTech do segmento de Tecnologia da Informação atua no mercado americano há três anos. Recentemente, o CEO notou que sua empresa atingiu um ponto de estagnação em relação às vendas de seus produtos. O principal produto da GoodTech é um software de criptografia de dados (Coding), o qual precisa ser adaptado às necessidades dos clientes, o que cria um obstáculo à sua venda em grandes quantidades pela internet. Além disso, muitas empresas concorrentes comercializam produtos semelhantes no mercado americano.

Dessa forma, o CEO da empresa concluiu que é necessário investimento em pesquisa para desenvolver um novo software (New Coding) com apelo de massa que não demandasse adaptações ao ambiente do cliente. A principal vantagem deste software seria a viabilidade de vendê-lo em larga escala pela internet.

Havia contudo, outro obstáculo: a concorrência de venda pela internet no mercado americano. Além das altas comissões a distribuidores praticadas neste mercado, a venda direta pela internet poderia afastar os atuais distribuidores americanos da GoodTech.

Neste contexto, a empresa vislumbrou uma oportunidade fora do mercado americano: o mercado francês. Na França, a demanda por este tipo de software estava bem aquecida, uma vez que o mercado não estava tão congestionado quanto o americano. Outra vantagem de um novo mercado seria ainda não possuir compromissos com distribuidores locais, o que nos Estados Unidos era um obstáculo à venda pela rede. Embora os clientes franceses tivessem acesso ao mercado americano pela internet, havia ainda uma barreira cultural (lingüística), bem como altos impostos e custos de frete.

A GoodTech, então, se deparou com a oportunidade de abrir uma filial na França para comercializar o seu atual produto, o Coding, sem a concorrência do mercado americano. Com o estabelecimento da GoodTech no mercado francês, a empresa poderia adquirir valiosas informações para o desenvolvimento de um novo software (New Coding), o qual teria alta capacidade de adaptação às necessidades do mercado local. Dessa forma, a partir das condições de mercado que se apresentarem nos próximos anos, a GoodTech poderia optar por lançar o New Coding e comercializá-lo em larga escala pela internet.

O CEO da GoodTech solicitou então ao departamento de planejamento da empresa que realizasse uma avaliação financeira desta oportunidade de investimento.

### 4.3.

#### Avaliação por FCD

A equipe de analistas avaliou a abertura da filial francesa, calculando o valor presente do projeto sem flexibilidade pelo método FCD. Com este objetivo, utilizou valores esperados para o preço, quantidade, custos, investimento, valor final e WACC, considerando as informações disponíveis no momento.

Dentre os custos associados a esta oportunidade, destaca-se um investimento inicial de US\$ 28 milhões em máquinas e equipamentos, com depreciação em 10 anos, e um aluguel anual de US\$ 150 mil para a nova filial francesa. Além disso, estimaram-se gastos com publicidade de cerca de 10% da receita, despesas administrativas de 5% da receita e um custo de US\$ 200 mil para manutenção do site local a cada ano. Para os analistas é razoável supor que este custo de manutenção está relacionado ao volume de vendas realizadas através do site, e deve ser onerado em 10% da variação do mesmo.

A GoodTech estimou que 200 unidades do software Coding seriam comercializadas no primeiro ano do negócio e que as vendas duplicariam em cinco anos, assumindo que o preço do software será reduzido em 30% nos próximos cinco anos.

<b>Despesas</b>	<b>('000)</b>
Investimento inicial em máquinas e equipamentos	USD 28.000
Publicidade (mídia impressa e internet)	10% da Receita Bruta
Administrativas	5% da Receita Bruta
Aluguel de uma sala	USD 150
Manutenção do site (10% aumento das vendas)	USD 200
Custo unitário (redução de 20% em 5 anos)	USD 10
Tributos	30%
<b>Receita</b>	
Quantidade de unidades vendidas (duplicar em 5 anos)	200
Preço unitário (redução de 30% em 5 anos)	USD 30

Tabela 1 - Premissas da avaliação por FCD

Para definição da taxa de retorno esperada para o projeto, os analistas levaram em consideração uma taxa para projetos semelhantes nos Estados Unidos, que seria de 13% ao ano, acrescida de um risco de mercado (estimado em 1% ao ano) e um risco cambial (estimado em 2% ao ano).

Devido à falta de informações, o horizonte de projeção se limita ao sexto ano do projeto, e após esta data foi atribuída uma taxa de crescimento de 3% ao fluxo de caixa esperado, e uma taxa de retorno constante de 11%, para a definição da Perpetuidade do projeto, conforme equação 4.1.

$$\text{Perpetuidade} = \frac{FCL_6 \times (1 + 3\%)}{(11\% - 3\%)} \quad \text{Equação 4.1}$$

Os detalhes da avaliação por FCD, bem como o VPL calculado, são apresentados na tabela 4.

Fluxo de Caixa (mil)	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6
Quantidade (unidades)	-	200	230	265	304	350	402
Preço unitário	-	\$30	\$28	\$25	\$23	\$21	\$20
Custo unitário	-	\$10	\$10	\$9	\$9	\$8	\$8
<b>Receita</b>	-	\$6.000	\$6.348	\$6.716	\$7.106	\$7.518	\$7.954
<b>CPV</b>	-	\$2.000	\$2.185	\$2.387	\$2.608	\$2.849	\$3.113
<b>Faturamento Bruto</b>	-	<b>\$4.000</b>	<b>\$4.163</b>	<b>\$4.329</b>	<b>\$4.498</b>	<b>\$4.669</b>	<b>\$4.841</b>
<i>Margem Bruta (%)</i>		67%	66%	64%	63%	62%	61%
<b>Aluguel</b>	-	\$150	\$150	\$150	\$150	\$150	\$150
<b>Despesas Publicidade</b>	-	\$600	\$635	\$672	\$711	\$752	\$795
<b>Despesas Administrativas</b>	-	\$300	\$317	\$336	\$355	\$376	\$398
<b>Despesas com Manutenção</b>	-	\$200	\$203	\$206	\$209	\$212	\$215
<b>EBITDA</b>	-	<b>\$2.750</b>	<b>\$2.858</b>	<b>\$2.966</b>	<b>\$3.073</b>	<b>\$3.179</b>	<b>\$3.283</b>
<i>Taxa de crescimento do EBITDA (%)</i>			4%	4%	4%	3%	3%
<b>Depreciação</b>	-	\$2.800	\$2.800	\$2.800	\$2.800	\$2.800	\$2.800
<b>Impostos</b>	-	\$0	\$17	\$50	\$82	\$114	\$145
<b>Faturamento Líquido</b>	-	<b>-\$50</b>	<b>\$40</b>	<b>\$116</b>	<b>\$191</b>	<b>\$265</b>	<b>\$338</b>
<b>Investimento Inicial</b>	-\$28.000						
<b>Depreciação</b>	-	\$2.800	\$2.800	\$2.800	\$2.800	\$2.800	\$2.800
<b>Faturamento Líquido</b>	-	-\$50	\$40	\$116	\$191	\$265	\$338
<b>FLUXO DE CAIXA LIVRE</b>	<b>-\$28.000</b>	<b>\$2.750</b>	<b>\$2.840</b>	<b>\$2.916</b>	<b>\$2.991</b>	<b>\$3.065</b>	<b>\$3.138</b>
<b>Perpetuidade</b>							<b>\$40.400</b>
<b>WACC</b>	<b>16%</b>						
<b>VP<sub>0</sub></b>	<b>\$27.331</b>						
<b>VPL<sub>0</sub></b>	<b>-\$669</b>						

Tabela 2 - Avaliação por FCD

Fluxos de caixa esperados

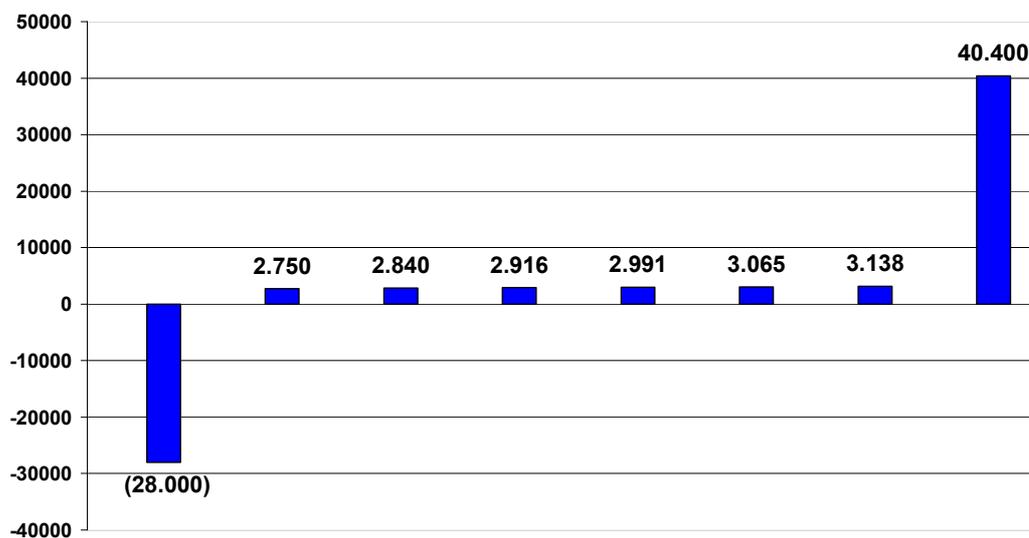


Figura 5 – Fluxos de caixa esperados para o projeto

Como pode ser observado na tabela 4, o projeto possui um VPL negativo de US\$ 669 mil, o que surpreendeu o CEO da GoodTech, que estava seguro de que esta expansão internacional seria uma grande oportunidade. Dessa forma, o projeto não foi implementado.

Por considerar a decisão de não expandir os negócios no mercado internacional precipitada, foi realizada uma nova análise do projeto, incorporando agora eventuais flexibilidades gerenciais que poderiam surgir ao longo dos próximos anos, como o desenvolvimento do software New Coding.

#### 4.4.

#### Avaliação por Opções Reais

Para incorporar flexibilidade gerencial ao valor do projeto foi realizada uma nova avaliação, utilizando o modelo teórico apresentado no Capítulo 3. Identificamos duas opções relevantes para este projeto: a opção de expansão através do lançamento de um novo produto (New Coding) e a opção de abandono do negócio.

Consideramos que o investimento necessário para o lançamento do New Coding é de US\$ 10 milhões e a decisão de expandir as atividades, bem como o momento da expansão dependem do sucesso das vendas na nova filial. Se as vendas do Coding obtiverem êxito no mercado francês, supomos que parte dos clientes, poderiam também adquirir o New Coding, o que resultaria em um aumento do valor do projeto de 20%. Dessa forma, acrescentamos ao projeto a flexibilidade de decidir se e quando o New Coding será lançado no mercado francês.

Há também outra flexibilidade que pode ser incorporada ao projeto. Se a GoodTech não tiver um bom desempenho no mercado francês, os investimentos em equipamentos poderiam ser vendidos. Consideramos que o abandono ao projeto poderia acontecer a qualquer momento a partir do segundo ano do projeto, por um valor de R\$ 14 milhões.

#### 4.4.1.

##### **Determinação da Volatilidade do Projeto**

A volatilidade do projeto será determinada através de simulação de Monte Carlo das variáveis de risco existentes no projeto. Uma vez definido o valor do projeto sem flexibilidade, assumimos que as principais incertezas que poderiam afetar a lucratividade do projeto são a quantidade de unidades vendidas por ano e o preço unitário.

A partir da análise por FCD sabemos que o nível de preço corrente é de US\$30 e que este deve diminuir em 30% até o sexto ano do projeto. Logo, a taxa média constante de variação no preço é de 8%, conforme equação 4.2.

$$P_6 = P_1 e^{Tk} = 30e^{5 \times (-0,08)} = 20 \quad \text{Equação 4.2}$$

No caso das vendas, a análise por FCD considerou que o montante inicial de 200 unidades seria duplicado até o sexto ano do projeto. Assim, a taxa média constante de variação na quantidade é de 14%, conforme equação 4.3.

$$Q_6 = Q_1 e^{Tk} = 200e^{5 \times 0,14} = 400 \quad \text{Equação 4.3}$$

Considerando que as variáveis preço e quantidade se situarão em um intervalo de confiança de 95%, podemos definir este intervalo no ano T, conforme equações 4.4 e 4.5.

$$P_T^+ = P_0 e^{Tk+2\sigma\sqrt{T}}; P_T^- = P_0 e^{Tk-2\sigma\sqrt{T}} \quad \text{Equação 4.4}$$

$$Q_T^+ = Q_0 e^{Tk+2\sigma\sqrt{T}}; Q_T^- = Q_0 e^{Tk-2\sigma\sqrt{T}} \quad \text{Equação 4.5}$$

Assumindo um limite para ambas as variáveis, no caso do preço US\$ 13 e para a quantidade vendida US\$ 220, podemos então calcular a volatilidade a partir das equações 4.6 e 4.7 (derivada das equações 4.4 e 4.5).

$$\sigma_P = \frac{Tk - \ln\left(\frac{P_T^-}{P_0}\right)}{2\sqrt{T}} = \frac{5 \times (-0,08) - \ln\left(\frac{13}{30}\right)}{2 \times \sqrt{5}} = 10\% \quad \text{Equação 4.6}$$

$$\sigma_Q = \frac{Tk - \ln\left(\frac{Q_T^-}{Q_0}\right)}{2\sqrt{T}} = \frac{5 \times (0,14) - \ln\left(\frac{220}{200}\right)}{2 \times \sqrt{5}} = 13\% \quad \text{Equação 4.7}$$

As Figuras 6 e 7 ilustram a faixa de incerteza na qual se situam as variáveis preço e quantidade, respectivamente.

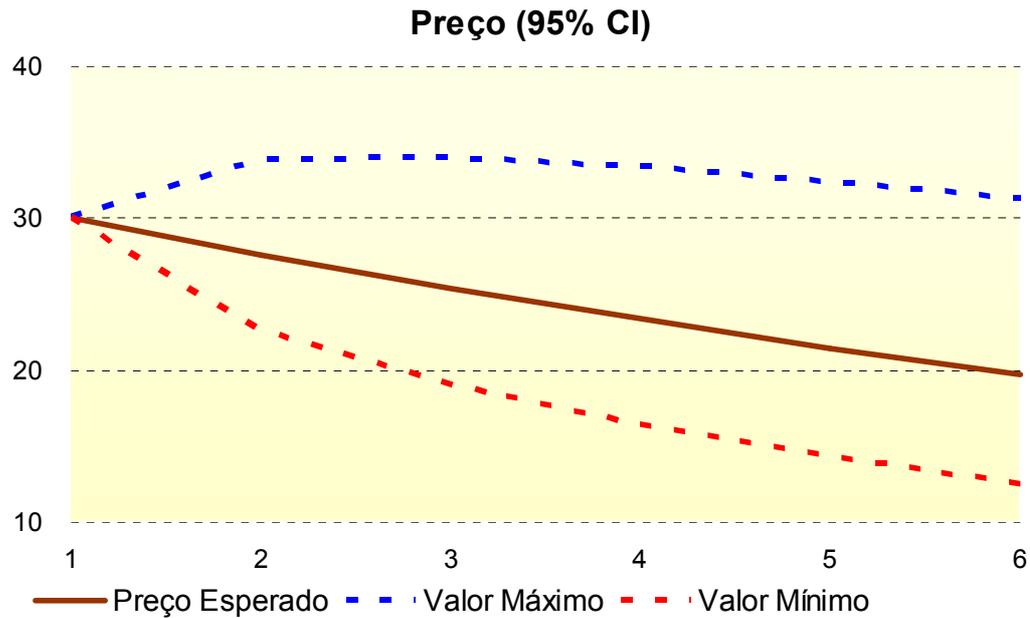


Figura 6 – Incerteza do preço (intervalo de confiança de 95%)

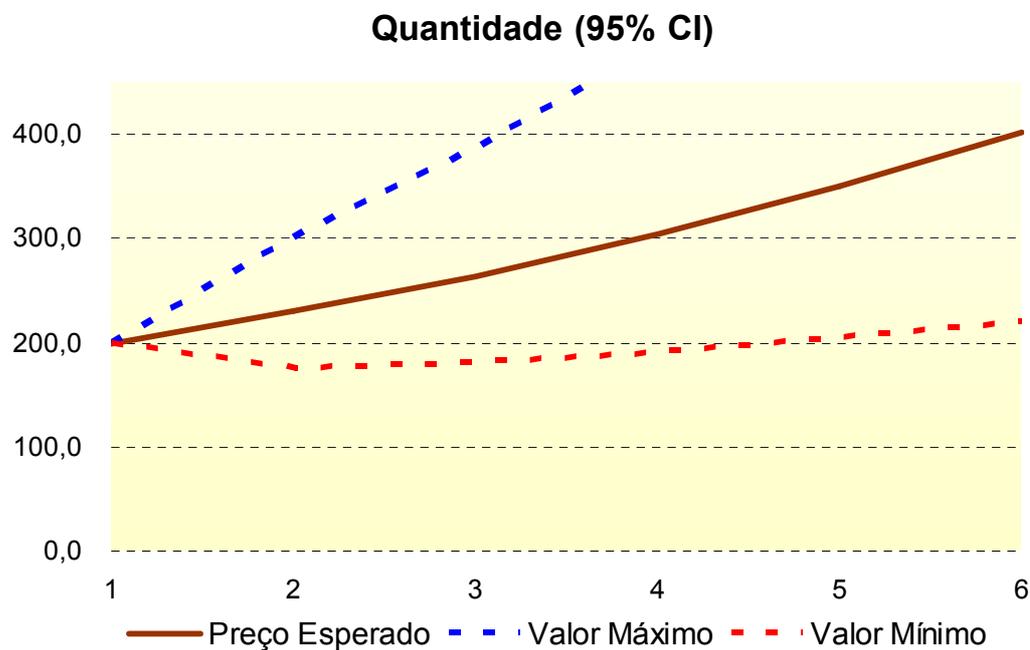


Figura 7 – Incerteza da quantidade (intervalo de confiança de 95%)

Definimos, portanto, que tais variáveis seguem um MGB, como processo estocástico, com média anual de 8% e 14% e volatilidade de 10% e 13%,

respectivamente. Procedemos, então, à Simulação de Monte Carlo para estimar a volatilidade do projeto.

Uma vez determinado o valor de mercado do projeto (Premissa Primeira: Marketed Asset Disclaimer), bem como o processo estocástico das incertezas (MGB), a Simulação de Monte Carlo promove diversas interações entre as variáveis associadas ao projeto. A cada interação obtemos um novo conjunto de projeções para as variáveis estocásticas do modelo, e conseqüentemente para o Fluxo de Caixa, para o Valor Presente e para a taxa de retorno.

Através do software @Risk, foram realizadas 3 simulações com 10 mil interações cada. Os resultados apresentados na tabela 5, indicam que a volatilidade do projeto é de cerca de 0,407.

Simulação	1	2	3
Volatilidade ( $\sigma$ )	40,8%	40,6%	40,7%

Tabela 3 – Resultados da Simulação de Monte Carlo

#### 4.4.2.

#### Árvore Binomial do Projeto

Utilizamos uma árvore de decisão com um modelo binomial para modelar o valor do projeto em função dos seus fluxos de caixa estocásticos, de forma que este siga um MGB (premissa segunda do Modelo Teórico). A aproximação binomial ao MGB foi modelada através do software DPL.

Os parâmetros definidos foram:

- O valor do projeto no período zero ( $VP_o$  da avaliação por FCD) igual a US\$ 27.331 mil;
- A volatilidade  $\sigma$  obtida através da Simulação de Monte Carlo no valor de 40,7%;
- A taxa de retorno livre de risco  $r$ , definida como 8%;
- Os dividendos do projeto obtidos através da avaliação por FCD, conforme tabela 6.

	0	1	2	3	4	5	6
<i>FLUXO DE CAIXA LIVRE</i> =	-\$28.000	\$2.750	\$2.840	\$2.916	\$2.991	\$3.065	\$3.138
<i>Valor do Projeto VP</i> =	\$27.331	\$26.300	\$25.015	\$23.448	\$21.556	\$19.287	\$40.400
<i>Valor Líquido do Projeto VPL</i> =	-\$669	\$29.050	\$27.855	\$26.364	\$24.547	\$22.352	\$43.538
<b><i>Taxa de Dividendos</i> =</b>		<b>0,0947</b>	<b>0,1020</b>	<b>0,1106</b>	<b>0,1218</b>	<b>0,1371</b>	<b>0,0721</b>

Tabela 4 - Dividendos

Os valores de  $u$ ,  $d$  e  $p$  estão incorporados no modelo e calculados de acordo com as fórmulas já apresentadas anteriormente. O Valor da Perpetuidade também é incorporado ao modelo e definido conforme equação 4.8.

$$Perpet = \frac{(1-D_6) \times T_6}{k^6} \quad \text{Equação 4.8}$$

Na qual:

$$k = 1 + r \quad \text{Equação 4.9}$$

A definição dos parâmetros bem como dos fluxos a cada período  $t$  podem ser ilustrados pela Figura 8.



Figura 8 – Parâmetros no DPL – Árvore Binomial

Uma representação simplificada da árvore é mostrada na Figura 9.

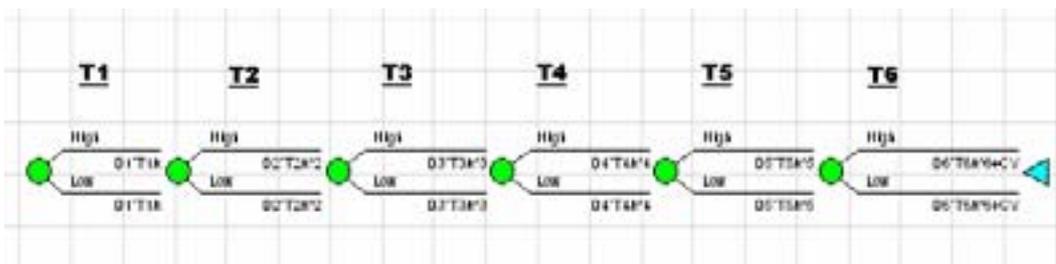


Figura 9 – Modelo Binomial do Projeto

Convém ressaltar que a variável  $T_1$  corresponde ao valor  $VP_0$  multiplicado por  $u$  ou por  $d$ , e que  $T_2$  corresponde a  $T_1$  multiplicada por  $u$  ou por  $d$ , descontado o dividendo correspondente  $D_1$ .

Os fluxos de caixa a cada período são computados conforme equação 3.11 e o valor do projeto é determinado através de programação dinâmica implementada na árvore binomial, descontando os fluxos de caixa esperados através da taxa livre de risco.

Ao modelarmos o projeto sem flexibilidade gerencial obtemos o mesmo valor resultante da avaliação por FCD, conforme árvore apresentada na Figura 10, em apenas 4 níveis.

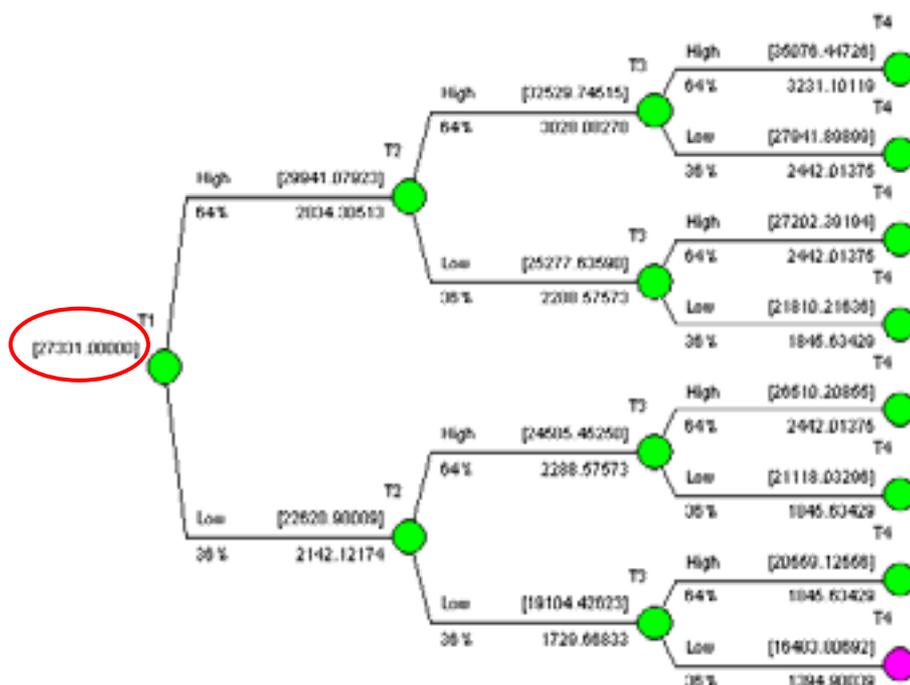


Figura 10- Árvore Binomial do Projeto

#### 4.4.3.

#### Árvore de Decisão do Projeto

Incorporaremos agora as duas opções que representam a flexibilidade gerencial inerente ao projeto: a opção de expansão através do lançamento de um novo produto (New Coding) e a opção de abandono do negócio. Consideramos que ambas as opções podem ser exercidas a qualquer momento a partir do segundo ano do projeto.

Além dos parâmetros definidos para a construção da árvore binomial, consideramos duas novas variáveis, denominadas *PRODUTO* e *ABANDONO*, que representam o investimento de US\$ 10 milhões necessário para o lançamento do New Coding e o valor de US\$ 14 milhões correspondente à venda do negócio, respectivamente.

Conforme já mencionado, se as vendas do Coding obtiverem êxito no mercado francês, supomos que parte dos clientes, poderiam também adquirir o New Coding, e como resultado, o valor do projeto aumentaria em 20%. Assim, acrescentamos 5 nós de decisão, denominados *Novo produto ou Abandono*, um para cada ano do projeto, a partir do Ano 2.

A definição dos parâmetros bem como dos fluxos a cada período  $t$  podem ser ilustrados pela Figura 11. Já a representação simplificada da Árvore é mostrada na Figura 12.

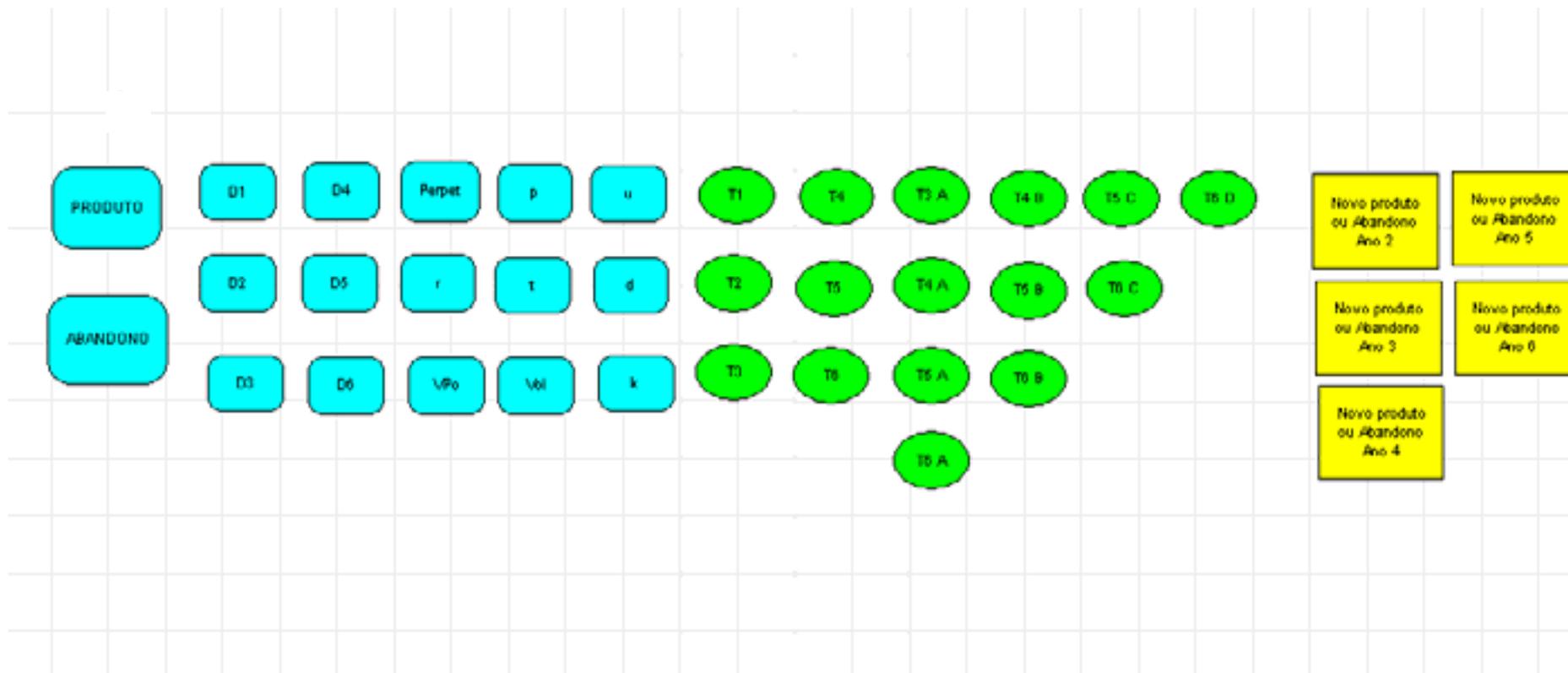


Figura 11 – Parâmetros no DPL – Árvore de Decisão

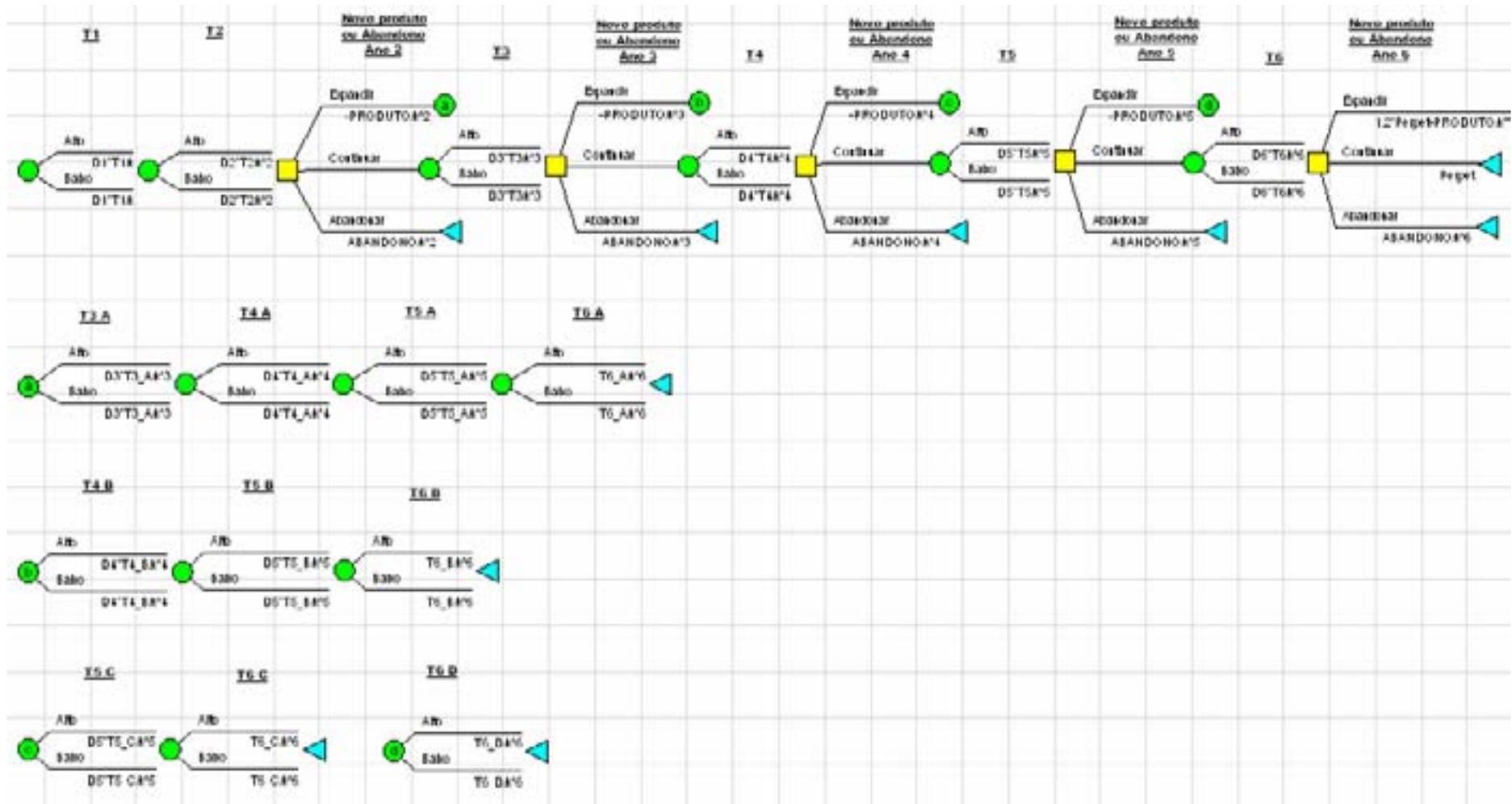


Figura 12 – Modelo com Opções

A análise resumida na Figura 13 mostra que o valor do projeto aumenta de US\$ 27.331 mil para US\$ 30.093 mil com a presença das opções de expansão e abandono. O que o torna bem mais atrativo diante do investimento inicial de US\$ 28 milhões

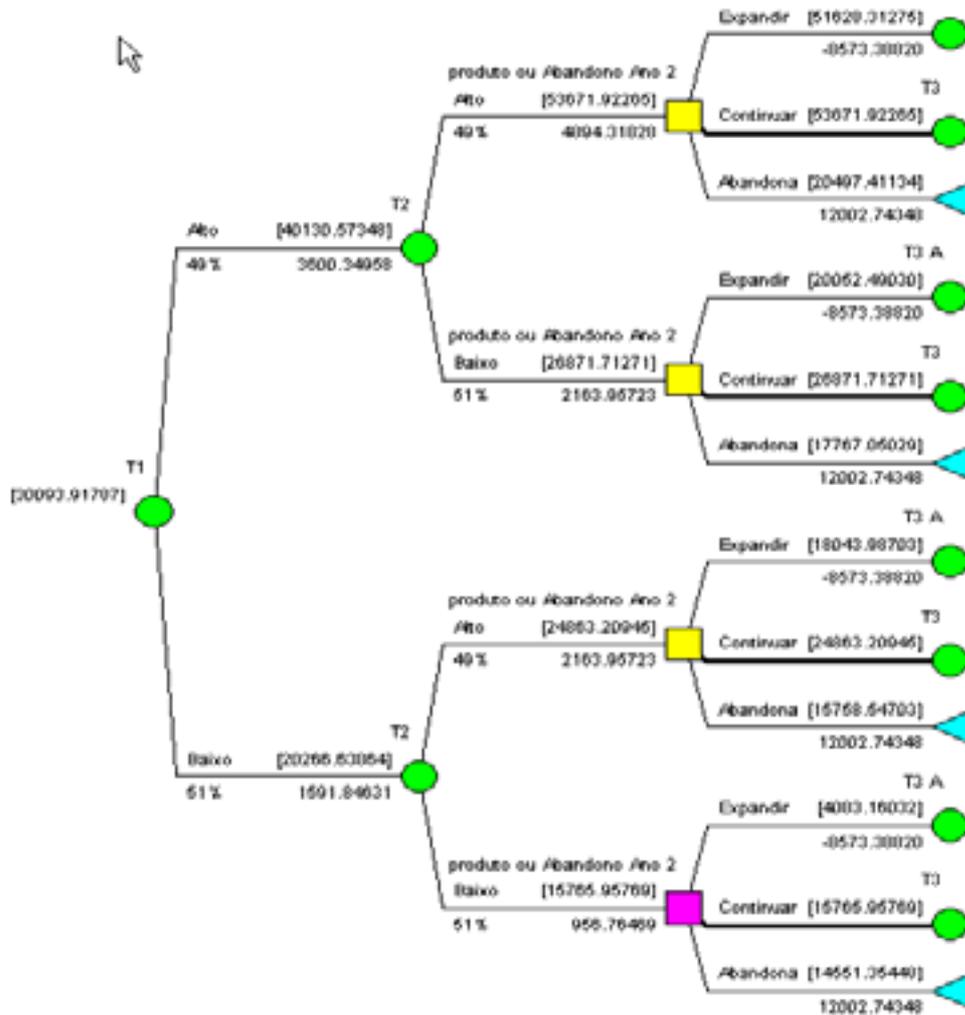


Figura 13 – Árvore de Decisão do Projeto

A política ótima de investimentos ilustrada na Figura 14 mostra que a opção de expansão poderá ser exercida nos anos 4 ou 6 com chance de 6%, enquanto que a opção de abandono poderá ser exercida nos anos 3, 5 e 6 com chance de 13%, 38% e 16%, respectivamente.

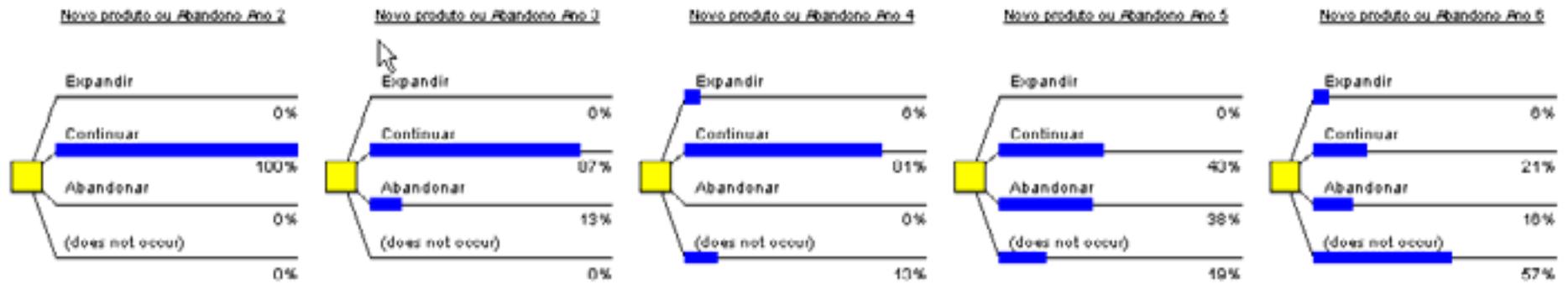


Figura 14 – Política ótima de investimentos

A política ótima de investimentos é mostrada na Figura 14. Observa-se que na maioria das vezes a opção de abandono é exercida em detrimento da opção de expandir. Logo, é possível que o custo de lançamento de um novo produto, no valor de US\$ 10 milhões, esteja muito alto em relação aos fluxos esperados do projeto. Realizamos então uma análise de sensibilidade do valor de expansão do projeto, conforme Figura 15. As mudanças de cores indicam a fronteira na qual ocorre uma alteração na estratégia ótima da empresa.

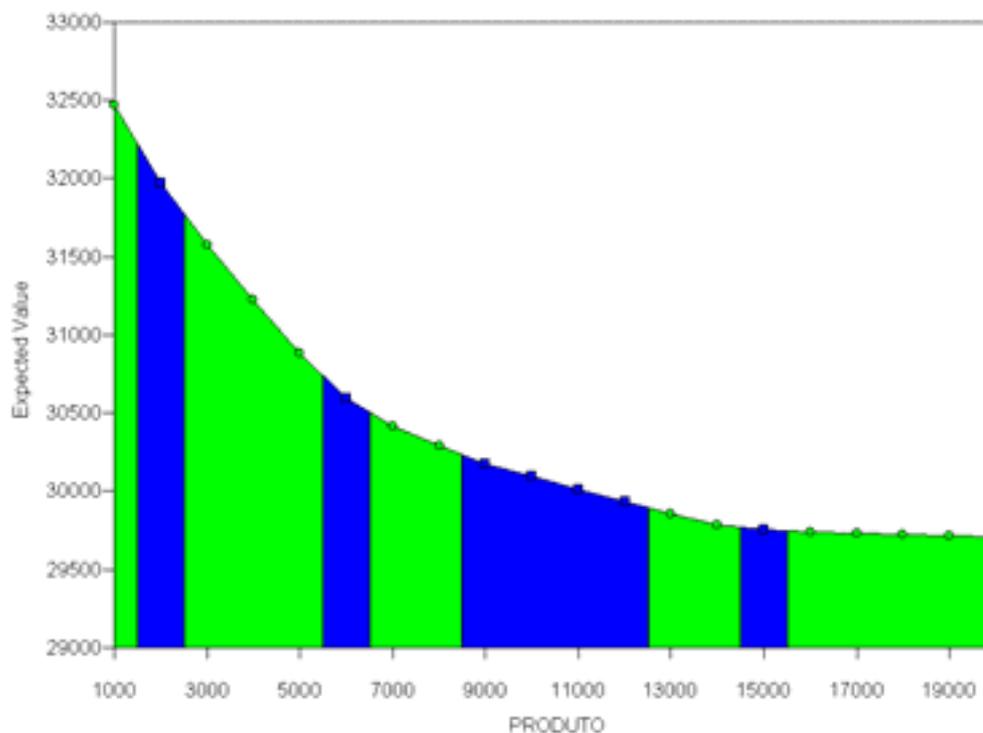


Figura 15 – Análise de sensibilidade lançamento do Novo Produto

Ao observarmos esta análise, percebemos que quanto maior o custo de lançamento do novo produto, menor será o valor do projeto, conforme já esperávamos. Contudo, podemos concluir que o valor do projeto é pouco sensível ao custo de lançamento do novo produto expansão, já que se este fosse 50% inferior (US\$ 5 milhões) o valor do projeto aumentaria em menos de 3%.

Procedemos então à análise de sensibilidade do valor de abandono do projeto conforme Figura 16.

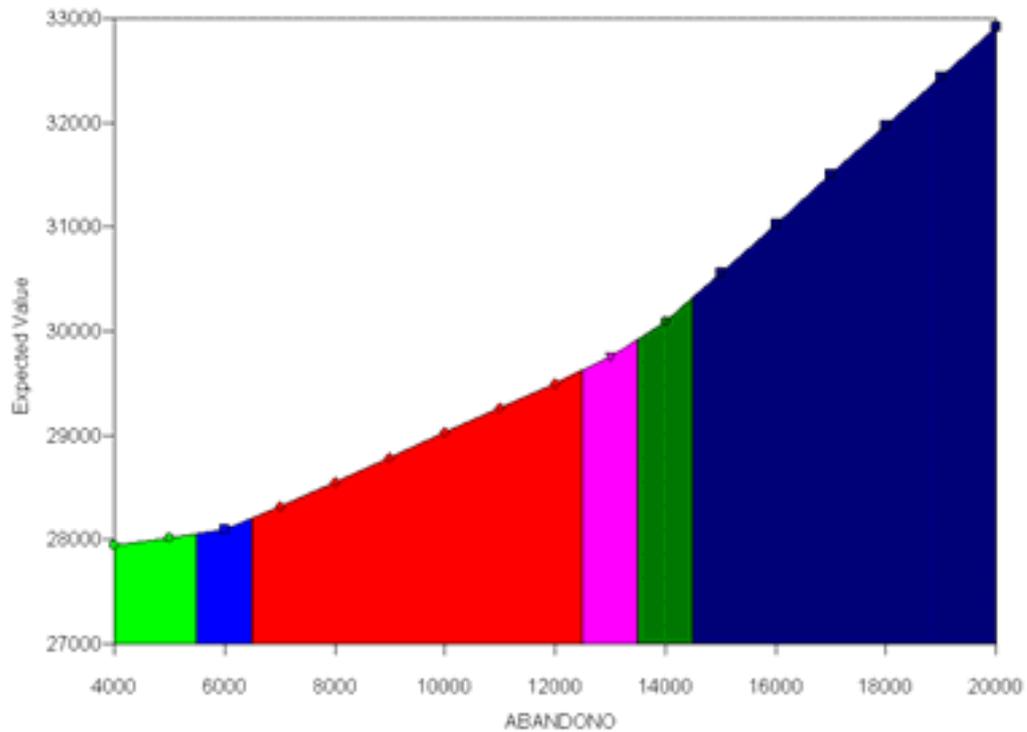


Figura 16 - Análise de sensibilidade ao valor de abandono

A partir desta análise podemos concluir que o valor do projeto é bastante sensível ao valor de abandono, definido como US\$ 14 milhões na avaliação. Caso o valor de abandono fosse cerca de 30% maior, o valor do projeto aumentaria aproximadamente 10%. Dessa forma, o valor de abandono definido na avaliação torna a opção de abandono do projeto bem atrativa.

## 5

### Conclusões

A Teoria de Opções Reais vem sendo cada vez mais reconhecida, tanto no meio acadêmico como no empresarial, como uma importante ferramenta no processo de decisão de investimentos, no gerenciamento estratégico das empresas, e na precificação quantitativa de investimentos e empresas como um todo.

Este estudo buscou apresentar sucintamente o método tradicional de avaliação por FCD, com foco em suas limitações para mensurar possíveis incertezas e a flexibilidade gerencial que cercam as decisões de investimento. Em seguida mostrou os conceitos mais relevantes associados às opções financeiras e aos modelos de precificação de opções (Binomial e Black-Scholes, Merton) e apresentou um modelo teórico para a avaliação de um projeto por opções reais.

Este modelo, desenvolvido a partir dos conceitos de Copeland e Antikarov (2002), apresenta uma maneira simples e intuitiva de se implementar as técnicas de avaliação por opções reais. Através de ferramentas computacionais disponíveis no mercado, foram incluídas na análise diversas incertezas e dois tipos de opções reais. A modelagem do projeto foi realizada através de uma árvore binomial com aplicação de ferramentas de análise de decisão, para incorporar o valor da flexibilidade gerencial ao valor do projeto. O uso de métodos de Árvore de Decisão permite a modelagem de diversos tipos de opção, como por exemplo opções dependentes de múltiplas variáveis.

A aplicação do modelo teórico proposto foi apresentada no Capítulo 4. Como já esperado, o valor do projeto com a presença de opções reais aumenta em relação ao valor do projeto sem flexibilidade. Isto porque a captura do valor da flexibilidade gerencial, obtida através do modelo aqui exposto, pode aumentar o valor do projeto.

Dessa forma, o método FCD ignora o valor das opções existentes nas oportunidades de investimento e pode levar a decisões estratégicas não ótimas para a empresa.

O presente estudo espera ter contribuído para a melhor compreensão das ferramentas de avaliação de projetos por opções reais em ambientes de incerteza.

Apesar da complexidade matemática percebida nos modelos de avaliação de opções reais, é possível desenvolver uma abordagem mais simples e intuitiva.

## 5.1.

### Limitações da metodologia

A principal limitação desta metodologia está relacionada com as premissas adotadas com base nas idéias de Copeland e Antikarov (2002).

A premissa primeira de que o valor presente do projeto, conforme avaliação por FCD, é o melhor estimador do valor de mercado do projeto permitiu considerar que o mercado é completo, e assim, proceder à solução do problema através da utilização de probabilidades neutras ao risco. Contudo, uma vez que esta hipótese não pode ser testada no mercado, ou seja, não há cópias idênticas do projeto sendo negociadas livremente no mercado, o uso desta premissa como um meio de se criar um mercado completo pode levar a erros significativos na avaliação.

Já a segunda premissa do modelo postula que se o retorno do projeto tem distribuição normal, logo, o processo estocástico do valor do projeto segue um MGB, isto é, o valor projeto tem uma distribuição lognormal. Esta premissa é coerente com a teoria de que se o preço de um ativo já considera todas as informações disponíveis em um determinado momento, então variações em seu valor seguirão um *random walk*. Entretanto, a premissa de MGB pode não ser apropriada a todas as situações, sobretudo aquelas que envolvem ativos reais, devido à assimetria de informação. Contudo tal premissa não é considerada pré-requisito para a abordagem de Copeland e Antikarov.

Outra limitação desta metodologia se refere à Simulação de Monte Carlo utilizada para a obtenção da volatilidade do projeto. Dentre as limitações deste método, podemos destacar a dificuldade em se capturar corretamente todas as possíveis correlações existentes entre as variáveis de entrada da simulação, além da definição das incertezas relacionadas ao projeto em questão.

## 5.2.

### Trabalhos Futuros

Várias linhas de trabalhos futuros podem estender os resultados obtidos nesta dissertação, tais como:

- Propor um processo estocástico alternativo ao MGB.
- Considerar outras fontes de incerteza além de preço e quantidade definidas neste trabalho.
- Estabelecer correlação entre as variáveis consideradas como incertas na Simulação de Monte Carlo.
- Utilizar modelos de avaliação de opções em mercados incompletos.

## Bibliografia

BLACK, F., SCHOLLES, M. The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *Journal of Political Economy*, 1973.

BRANDÃO, L. E. T. (2002). Uma aplicação da teoria das opções reais em tempo discreto para avaliação de uma concessão rodoviária no Brasil. Rio de Janeiro. Tese (Doutorado). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

BRANDÃO, L. E. T.; DYER, J.; HAHN W. Using Binomial Decision Trees to Solve Real Option Valuation Problems. Aceito para publicação no *Decision Analysis journal*, 2005.

COPELAND, T.E., ANTIKAROV, V., Opções Reais. Um novo paradigma para reinventar a avaliação de investimentos. Editora Campus, 2002.

COPELAND, T.; KOLLER, T.; MURRIN, J. Avaliação de Empresas "Valuation". MAKRON Books do Brasil Editora Ltda., 2000.

CORNELL, B. Corporate Value Tools for Effective Appraisal and Decision Making. New York: Mc Graw Hill Co., 1994.

COX, J., S. ROSS, M. RUBINSTEIN. Option Pricing: A simplified approach. *J. Financial Econom.* 1979.

DAMODARAN, A. Avaliação de Investimentos - ferramentas e técnicas para a determinação do valor de qualquer ativo. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997.

DIAS, M. A. G. (1996). Investimento sob incerteza em exploração e produção de petróleo. Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

DIXIT, A. K., PINDYCK, R. S., Investment under Uncertainty, Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1994.

HULL, J. C.; Options, Futures, and Other Derivatives Securities. Prentice Hall, 5a ed., 2002.

MERTON, R.C. Theory of Rational Option Pricing. Bell Journal of Economics and Management Science, 1973.

RIGOLON, F. J. Z. (1999). *Opções reais e análise de projetos*. Rio de Janeiro: BNDES. (Texto para Discussão n. 66)

ROSS, S.A., WESTERFIELD, R.W., JAFFE, J.F., Administração Financeira; tradução Antonio Zorato Sanvicente. São Paulo: Atlas, 1995.

YIN, Robert K. Case Study Research. Design and Methods. 2<sup>nd</sup> ed. London. Sage Publications Inc., 1994.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)