

# INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E A FLEXIBILIDADE GERENCIAL: UMA APLICAÇÃO DA TEORIA DAS OPÇÕES REAIS

**Michele Bezerra Saito**

Doutoranda e mestra acadêmica em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

*E-mail:* michele.ufpe@gmail.com

**José Lamartine Távora Júnior**

Doutor e mestre em Engenharia de Produção pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Coppe/UFRJ).

Professor adjunto do Departamento de Economia (Decon), da Pós-Graduação em Economia (Pimes) e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES).

*E-mail:* tavora@ufpe.br

**Marcos Roberto Gois de Oliveira**

Doutor em Economia pelo Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal de Pernambuco (Pimes-UFPE).

Mestre em Administração pelo Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal de Pernambuco (Propad-UFPE).

Professor do Departamento de Ciências Administrativas do Propad-UFPE e do Programa de Pós-Graduação em Economia (Pimes/Centro Acadêmico do Agreste-UFPE).

*E-mail:* mrgois@hotmail.com

## Resumo

Muitas empresas sentem-se forçadas a buscar uma rápida adaptação às mudanças, em um ambiente de incerteza e competição acirrada, procurando investir de maneira a proporcionar seu crescimento. E, para os investidores, incorporar as flexibilidades é uma forma de permitir que o risco e a incerteza, presentes em investimentos de inovação tecnológica, tornem-se uma oportunidade estratégica a ser explorada. O presente estudo mostra que a Teoria das Opções Reais (TOR) é utilizada como método de precificação, por incluir em sua metodologia incertezas e flexibilidades gerenciais, dando ao projeto outra possibilidade, caso pela avaliação tradicional o VPL não seja o desejado. Para empregar a referida teoria, este trabalho analisa a opção de postergar o projeto, cujos valores foram obtidos hipoteticamente, de forma que se possa analisar como a TOR agrega valor, levando em consideração as alterações peculiares do mercado.

**Palavras-chave:** Inovação tecnológica; Opções reais; Flexibilidade gerencial.

## 1

## INTRODUÇÃO

No atual ambiente globalizado, caracterizado por mudanças constantes, as empresas têm enfrentado momentos de intensa competitividade, impondo às mesmas a necessidade de se adaptar e de desenvolver medidas que as façam competir de forma efetiva. A inovação é uma dessas medidas que permitem às empresas aprimorar suas vantagens competitivas.

A incerteza presente nos projetos de inovação tecnológica é um dos motivos que tem feito com que as empresas busquem cada vez mais se aperfeiçoar nas análises, tentando encontrar metodologias mais adequadas para lidar com a incerteza desse tipo de investimento.

A Teoria das Opções Reais vem ocupando cada vez mais espaço, em razão de seu grande diferencial, que é considerar a flexibilidade gerencial, segundo Copeland e Antikarov (2003, p. 5).

A flexibilidade gerencial proporciona à empresa verificar o melhor momento de investir, de forma que ela possa maximizar os lucros e minimizar as

perdas, aspecto de suma importância para as empresas que desejam investir em inovação tecnológica. Conforme Minardi (2004, p. 21-22), “a flexibilidade gerencial é uma possibilidade, mas não uma obrigação de alterar um projeto em diferentes etapas de sua vida útil operacional”.

A inovação tecnológica tem uma importância estratégica para empresas, pois é por meio dela que as empresas conseguem potencializar os diferenciais competitivos que vão garantir sua sobrevivência no médio prazo. “Os benefícios econômicos da invenção surgem a partir da inovação” (BETZ, 1998, p. 4).

Contudo, independente de seu significado, as empresas devem ter em mente que a inovação tem de ser algo cada vez mais presente em seu dia a dia, pois é por meio da inovação que a empresa consegue se diferenciar de seus concorrentes. Assim, as empresas teriam a oportunidade de acessar novos mercados, de conseguir novas parcerias, de adquirir novos conhecimentos e, principalmente, a oportunidade de aumentar seus lucros.

Porém, o grande problema enfrentado pelas empresas é como se manter no mercado de forma competitiva se, na maioria das vezes, não dispõem de recursos suficientes para investir em inovação, que é um processo caro e de grande risco. Ou, se possui algum recurso, muitas vezes o utiliza no momento inadequado, sem ao menos ter sido feita uma análise para saber se naquele momento é viável investir ou não.

O objetivo deste trabalho é apresentar a importância dos projetos de inovação tecnológica para empresas que desejam obter vantagem competitiva, como também avaliar se o projeto deve ser posto em prática, de forma que propicie ao investidor verificar se o momento é adequado para aquele tipo de investimento, permitindo minimizar suas perdas, caso o mercado não se encontre favorável. Para isso, será feita uma aplicação da TOR em um projeto de inovação tecnológica, em que os dados utilizados são hipotéticos, com o intuito de verificar se o investimento trará benefícios futuros para a empresa.

A metodologia escolhida para avaliar o projeto de investimento em estudo é o modelo de opções reais, por considerar a presença de incertezas e flexibilidades gerenciais, e por permitir aos gestores do projeto a tomada de decisão com base em informações mais completas. Esta metodologia calcula os riscos e permite mudanças de decisões ao longo do projeto que fazem com que também haja uma mudança em sua rentabilidade.

## 2

# FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

## 2.1 Avaliação de projetos pelo Fluxo de Caixa Descontado (FCD)

A análise de investimentos em inovação tecnológica permite que se avaliem as vantagens e os impactos do projeto para a empresa, verificando em qual projeto se deve investir e qual parte do orçamento deve ser destinada ao investimento, e para isso pode-se contar com diversas abordagens. No entanto, é importante utilizar a ferramenta mais adequada para cada projeto específico.

O Fluxo de Caixa Descontado é um método de análise muito utilizado pelos analistas financeiros para estimarem o valor de um projeto. Os principais representantes do FCD são o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR).

O VPL leva em consideração o valor do dinheiro no tempo – processo que calcula o valor do ativo no passado, presente e futuro. O VPL é obtido subtraindo-se o investimento inicial de um projeto ( $FC_0$ ) do valor presente de suas entradas de caixa ( $FC_t$ ), descontadas ao custo de oportunidade da empresa ( $k$ ), conforme Gitman (2004):

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+k)^t} \quad (1)$$

Já a TIR representa o valor do custo de capital, que iguala o VPL a zero, tornando-se assim uma taxa que remunera o valor que é investido no projeto:

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} \quad (2)$$

O método FCD tem uma grande desvantagem quando se trata de projeto de investimento, pois leva em consideração apenas a possibilidade de se realizar ou não um investimento. Ou seja, ele sequer tem a opção de, se não for o momento adequado, deixar aquele investimento para outra oportunidade. O método baseado no FCD trabalha sem flexibilidade gerencial.

Segundo Dixit e Pindyck (1994), as grandes mudanças ocorridas no cenário econômico, onde a incerteza impera em quase todos os mercados, tem feito com que as técnicas tradicionais não sejam suficientes para captar determinadas características dos projetos de investimentos, o que muitas vezes conduz a erros graves.

## ■ 2.2 A Teoria das Opções Reais

O ponto central de análise da Teoria das Opções Reais é a valoração do resultado líquido do projeto, considerando as incertezas.

Uma das primeiras aplicações surgiu na área de investimentos em recursos naturais, analisando a opção de abandono de uma mina (BRENNAN; SCHWARTZ, 1985).

Logo em seguida, Paddock, Siegel e Smith (1988) utilizaram a TOR para avaliar o *timing* do desenvolvimento de um investimento, demonstrando empiricamente que tal avaliação levaria a resultados melhores do que pelo método VPL.

No Brasil, da mesma maneira, a utilização tem sido feita em vários setores, como mostra Dias (2008), que usou a TOR para avaliar investimentos sob condições de incerteza na exploração e produção do petróleo. Fez uma combinação da TOR com a teoria dos jogos e com algoritmos genéticos, expandindo mais a utilização do método.

Ainda segundo Dias (2008), Castro analisou, em 2000, por meio da TOR, a flexibilidade de uma usina termoeletrica. Em 2002, Gomes utilizou o método para verificar o melhor momento de se investir em termoeletricidade no Brasil.

O VPL é considerado como ponto de partida para análise da TOR, em que não é levada em consideração a flexibilidade gerencial na tomada de decisão. No entanto, ambas as técnicas levam em consideração todos os fluxos de caixa ao longo da vida de um projeto, sendo considerados abordagens de fluxo de caixa descontado (MINARDI, 2004).

Apesar dessa falha no VPL de ignorar as flexibilidades gerenciais, ainda é bastante utilizado em projetos onde a incerteza é pequena. No entanto, à medida que se trabalha com cenários de grande incerteza e flexibilidades significativas, deve-se reformular o VPL, para que seja possível capturar o valor dessas flexibilidades, como mostra Trigeorges (1997 apud MINARDI, 2004).

$$VPL_{EXPANDIDO} = VPL_{TRADICIONAL} + VALOR_{FLEX.GERENCIAL} \quad (3)$$

Dixit e Pindyck (1994) questionaram bastante a utilização dos métodos tradicionais de análise de investimentos. Para eles, esses métodos podem induzir a decisões equivocadas de investimento, pelo fato de ignorar duas características fundamentais para a decisão de investir: a irreversibilidade do investimento e a possibilidade de adiamento.

Baseado no que foi visto, quando se avalia um projeto por meio da TOR, ao contrário do que parece, não significa que a análise do VPL está sendo abandonada, até porque a opção real inicia-se a partir do VPL, ou seja, a TOR complementa a análise do VPL. Segundo Copeland e Antikarov (2003), pelo método tradicional ignora-se a irreversibilidade do investimento em razão da incerteza, que é pequena. E nas opções reais, trabalha-se com cenários grandes de incertezas e com flexibilidades significativas, tendo como finalidade a lucratividade.

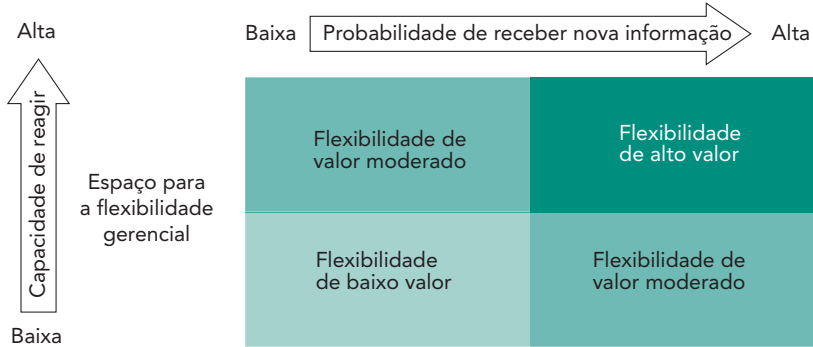
Dixit e Pindyck (1994) definem opção real como a flexibilidade que um gestor possui para tomar decisões de investimento, pois, à medida que novas informações surgem, os mercados vão sendo modificados e, conseqüentemente, as incertezas sobre o fluxo de caixa diminuem. Este acontecimento faz com que os gestores tenham condições de tomar decisões que possam influenciar positivamente o valor final de um projeto.

As opções reais são classificadas pelo tipo de flexibilidade que elas oferecem. Para se ter ideia, existem vários tipos, como: opção expansão, de concessão, opções compostas, opção arco-íris, de abandono, de postergar, de trocar e de combinar.

A Figura 1 apresenta a relação entre a flexibilidade e a probabilidade de obter novas informações ao longo do tempo.

**Figura 1**

**Quando a flexibilidade gerencial é valiosa**



Fonte: Copeland e Antikarov (2001, p. 15).

As decisões estratégicas quase sempre envolvem uma sequência de decisões, sendo que algumas são tomadas imediatamente, enquanto outras são deferidas. É nesse aspecto que a avaliação das opções reais entra em cena, ajudando os gestores na identificação das decisões que serão feitas no futuro, das possibilidades e do momento certo (ECCLES; LANES; WILSON, 1999).

### 2.2.1 Opções Financeiras e Opções Reais

Geralmente, as opções reais são precificadas de maneira análoga às opções financeiras. O ativo subjacente de uma opção financeira é um valor mobiliário como uma ação ordinária, ou um título (ou taxa de juros), enquanto nas opções reais um ativo é algo tangível como uma unidade de negócio, um projeto.

Uma das principais diferenças entre elas é que o ativo-objeto (próprio valor presente do projeto) da opção real não é comercializado no mercado e o detentor da opção financeira não pode afetar o valor do ativo subjacente, mas os executivos que operam os ativos reais do projeto podem, sim, aumentar seu valor.

O Quadro 1 mostra uma analogia entre a opção financeira e a opção real (investir). Observar que o valor de ambas as opções depende dessas cinco variáveis.

## Quadro 1

### Opção financeira e opção real

Itens	Opção financeira	Opção real
Custo (preço corrente do ativo)	Preço de exercício	Investimento
Ativo subjacente	Ação	Projeto (aquisição)
Retorno do ativo	Retorno da ação	Retorno do projeto
Ganhos de capital	Variações no preço da ação	Variações no valor do projeto
Retorno do ativo com dividendos	Fluxo de dividendos de ação	Fluxo de caixa do projeto líquido das variações no seu valor

Fonte: Copeland e Antikarov (2001).

Quando se escolhe um projeto para ser avaliado por meio das opções reais, alguns aspectos devem ser levados em consideração. Conforme Amram e Kulatilaka (1999), é necessário que se verifique se um ou mais critérios necessários ao projeto de investimento se fazem presentes, como:

- existe uma decisão de investimento contingente;
- a incerteza é grande o bastante de forma que o adiamento do investimento até que se tenha mais informações pode ser necessário, evitando investimentos irreversíveis;
- o valor do projeto é capturado em grande parte pela opção de possíveis expansões em vez de fluxos de caixa esperados;
- a incerteza é grande o bastante de forma a tornar a flexibilidade de investir uma importante consideração;
- existirão renovações no projeto e correções de estratégias ao longo da vida do projeto.

Uma das principais vantagens da valoração por opções reais é que os gestores conseguem captar e compreender suas alternativas de investimento. Segundo Saurin (2002), o modelo de avaliações de opções tem um largo campo de utilização em finanças de empresas e é importante na análise de determinação do valor de uma empresa e de outros ativos.

Vários são os modelos existentes para precificar opções, porém o Modelo Binomial e o Modelo Black e Scholes são os mais utilizados. Esses dois mode-



los levam em consideração várias variáveis no momento de se precificar uma opção.

## Modelo de Black & Scholes

Conforme Hull (2002), no início da década de 1970, Fisher Black, Myron Scholes e Robert Merton fizeram um notável avanço no que se refere à questão da precificação de opções, no qual foram envolvidos estudos sobre o desenvolvimento do modelo Black e Scholes. Porém, o reconhecimento da importância desse modelo ocorreu apenas em 1997, quando Myron Scholes e Robert Merton ganharam o Prêmio Nobel de Economia.

O modelo de Black e Scholes leva em consideração essencialmente cinco variáveis: volatilidade; taxa de juros livre de risco; tempo restante para o exercício da opção; preço do ativo-objeto; e preço da opção. A volatilidade é considerada o parâmetro mais crítico para a precificação de opções, pois seus preços são muito sensíveis a mudanças na volatilidade, tendo de a mesma ser estimada. Portanto, para mensurar o valor da volatilidade futura, costuma-se utilizar a volatilidade histórica como uma estimativa para a volatilidade futura. É uma tentativa de encontrar um “preço justo” da opção.

Na realidade, esse modelo proposto por Black e Scholes foi uma tentativa de atingir um preço teórico, pois, por meio dele, os investidores teriam um parâmetro para avaliar se as opções estavam subavaliadas.

O modelo Black e Scholes é uma ferramenta poderosa quando se quer estimar preços de opções de compra e de opção de vendas.

Esta é a fórmula de Black e Scholes (BRASIL et al., 2007) para obtenção do valor de uma opção de compra europeia (*call*):

$$\begin{aligned} C &= SN(d_1) - Xe^{-rt}N(d_2) \\ d_1 &= [\ln(S/X) + (r + 0,5\sigma^2) \cdot T] / [\sigma^2 T]^{0,5} \\ d_2 &= d_1 - [\sigma^2 T]^{0,5} \end{aligned} \quad (4)$$

em que:

$S$  = valor à vista do ativo-objeto;

$X$  = preço de exercício da opção;

$r$  = taxa de juro anualizada;

$e$  = algarismo neperiano;

$\sigma$  = desvio padrão anual da taxa contínua de retorno do ativo-objeto;

$T$  = tempo em anos até o vencimento da opção;

$N(d)$  = probabilidade de uma variável aleatória, de distribuição normal padronizada, ser menor ou igual a  $d$ .

Fórmula de Black e Scholes para obtenção do valor de uma opção de venda europeia (*put*):

$$\begin{aligned} P &= Xe^{-rt}N(-d_2) - SN(-d_1) \\ d_1 &= [\ln(S/X) + (r + 0,5\sigma^2) \cdot T] / [\sigma^2 T]^{0,5} \\ d_2 &= d_1 - [\sigma^2 T]^{0,5} \end{aligned} \quad (5)$$

A principal vantagem deste modelo é a velocidade, que possibilita calcular um número muito grande de preços de opção em um tempo muito curto. No entanto, possui uma grande limitação, que é não poder ser usado para opções de precificação com um preço de exercício estilo americano, uma vez que só calcula o preço da opção em um ponto no tempo, que é na expiração.

O modelo Black & Scholes não considera as etapas ao longo do caminho, onde poderia haver a possibilidade de exercício antecipado de uma opção americana, por isso considera como uma limitação significativa a questão de as opções americanas poderem ser exercidas a qualquer momento, ao contrário das opções europeias, que só podem ser exercidas no vencimento.

## Modelo Binomial

O desenvolvimento deste modelo foi posterior ao modelo de Black & Scholes e tinha por finalidade tornar o estudo das opções mais acessível a um número maior de pessoas, consistindo em um modelo mais simples, que exige apenas conhecimentos elementares de matemática. Esta abordagem binomial foi desenvolvida por Cox, Ross e Rubinstein (1979) na tentativa de definir uma fórmula para apreçamento de opções que permitisse valorar tanto opções

européias como americanas. Mesmo sendo desenvolvido para valorar opções financeiras, este modelo também é muito útil para precificar opções reais.

O modelo binomial é uma forma simplificada de estimar preços de opções. Supõe que o preço de uma ação suba ou caia em intervalos de tempo consecutivos. É um modelo discreto que usa previsões distintas de preços e define subperíodos para examinar o comportamento do preço de uma opção em função do tempo (REILLY; NORTON, 2008).

A grande vantagem deste modelo é que pode ser usado para precificação de opções europeias e americanas. Além disso, suporta várias fontes de incertezas. Por outro lado, a principal limitação é que sua velocidade é relativamente pequena. A aplicação deste modelo envolve a construção da chamada *árvore binomial*, que mostra as diferentes trajetórias que o ativo pode seguir ao longo do caminho, como será demonstrado mais adiante, nas premissas básicas deste modelo.

Como elemento essencial da abordagem clássica para avaliar opções estão as mudanças futuras no preço dos ativos subjacentes, que podem ser sempre simplificadas por duas possibilidades (REILLY; BROWN, 2006). Esse desenvolvimento analítico é parte de uma metodologia de avaliação mais geral, conhecida como modelo de precificação de opções de dois estágios (BARTTER; RENDLEMAN, 1979 apud REILLY; BROWN, 2006).

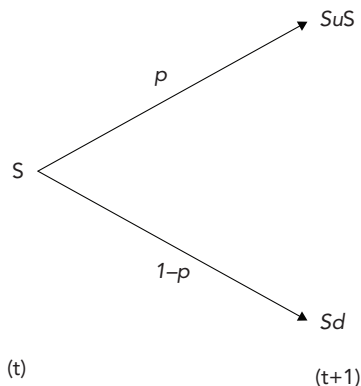
Para se determinar o valor exato de uma opção de compra (*call*) será necessário que se tenha, conforme mostrado por Cox, Ross e Rubinstein (1979): 1. preço de exercício ( $X$ ); 2. preço do ativo subjacente ( $C$ ); 3. a média dos movimentos de subida ( $u$ ) e descida ( $d$ ) no preço do ativo subjacente; 4. taxa de juros ( $r = 1 + r_f$ ), sendo ( $r_f$ ) a taxa de juros livre de risco.

Este modelo possui como premissa fundamental, segundo Minardi (2004), o fato de o preço da ação ( $S$ ) comportar-se de acordo com um processo binomial, em que, para cada período, o ativo só pode assumir dois valores distintos no tempo. Este movimento é, portanto, ascendente, em que ele sobe com um fator ( $u$ ), representando assim um valor maior que o anterior, e o outro movimento é descendente, onde o ativo cai com um fator ( $d$ ), com probabilidade ( $q$ ) e ( $1 - q$ ).

Os valores de  $u$  e  $d$ , conforme mostrados na Figura 2 a seguir, representam as taxas de retorno, caso o ativo se mova para cima ou para baixo. Já os valores  $uC$  e  $dC$  representam o quanto o preço do ativo ( $C$ ) que está no tempo  $t$  valerá no tempo  $t+1$ , ou seja, se o ativo estiver subindo, no tempo  $t+1$  ele valerá  $uC$  com probabilidade  $p$ , caso contrário, o ativo valerá  $dC$  com probabilidade  $(1-p)$ .

Figura 2

Árvore binomial de um passo: possíveis movimentos de um ativo



Fonte: Minardi (2004).

em que:

$S$  = valor à vista do ativo-objeto (na data zero);

$(u \times S)$  = valor maior da opção em  $t+1$ , caso o preço suba;

$(d \times S)$  = valor menor da opção em  $t+1$ , caso o preço caia;

$u$  = taxa de crescimento do preço do ativo-objeto;

$d$  = taxa de redução do preço do ativo-objeto;

$p$  = probabilidade do preço da ação subir em um período;

$1-p$  = probabilidade do preço da ação cair em um período.

Segundo Amram e Kulatilaka (1999), existem três vantagens para o modelo binomial de precificação de opções:

- abrange uma ampla gama de aplicações das opções reais, incluindo aquelas com alguma complexidade;
- a abordagem é confortável para muitos usuários, porque embora seja consistente com a valoração de opções, ele também mantém a aparência de análise do fluxo de caixa descontado;

- a incerteza e as consequências dos contingentes de decisões são definidas de uma forma muito natural.

## 3

### METODOLOGIA

No que se refere à aplicação da Teoria das Opções Reais, o escolhido foi o Modelo Binomial de precificação.

Os dados utilizados são hipotéticos, partindo do pressuposto de uma empresa que deseja investir em inovação tecnológica, onde em cada caso será analisada a metodologia utilizada para se verificar em qual momento será melhor investir.

As etapas utilizadas nesta metodologia foram baseadas em Copeland e Antikarov (2001), como também em Leite Filho (2008), a saber:

- determinação do Valor Presente Líquido do projeto de investimento;
- modelagem das incertezas por meio da Simulação Monte Carlo;
- obtenção da volatilidade por meio da regra E-V Markowitz;
- aplicação do Modelo de Precificação Binomial e Construção da Árvore Binomial;
- análise das Opções Reais.

#### Determinação do Valor Presente Líquido do projeto de investimento

O primeiro passo consiste na estimação do Valor Presente Líquido (VPL) do projeto, em que este VPL será calculado, sem flexibilidade, por meio da metodologia tradicional do fluxo de caixa de determinada empresa que investe em tecnologia. Nesta etapa, o objetivo principal será calcular o valor presente sem flexibilidade em  $t = 0$ .

#### Modelagem das incertezas por meio da Simulação Monte Carlo

Serão assumidas quatro variáveis de incertezas: receita, custo, investimento e taxa mínima de atratividade. A combinação dessas incertezas serão os dados

de entrada para obtenção da distribuição de probabilidade do retorno. Tendo-se, portanto:

$$r = Fd(t) ; c = Fd(t) ; i = Fd(t) ; tma = Fd(t)$$

em que, respectivamente,  $r$ ,  $c$ ,  $i$  e  $tma$  são a receita, o custo, o investimento e a taxa mínima de atratividade, que serão combinados em um único modelo de cálculo de VP, por meio da Simulação Monte Carlo (SMC).

Para fazer esta simulação, será utilizado o programa *Crystal Ball* de análise de risco, que calcula  $n$  casos, mantendo a entrada de dados e os resultados de cálculos como cenários individuais. A análise desses cenários revela a escala de resultados possíveis e sua probabilidade de ocorrer, verificando qual entrada tem um efeito maior em seu modelo.

Com a SMC, para cada ano ( $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ ) serão gerados vários cenários, permitindo uma estimativa do valor presente desse projeto, como visto no referencial teórico. Esse cálculo será repetido 10 mil vezes, de forma que seja obtida uma estimativa adequada.

### Obtenção da volatilidade por meio da regra E-V Markowitz

A volatilidade é a medida da taxa de variação de um ativo durante determinado período, sendo considerada como a medida de incerteza. A volatilidade do projeto é obtida por meio da abordagem consolidada da incerteza, em que todas as incertezas consideradas sobre o valor do ativo são combinadas em uma única incerteza: a variação percentual do VP do projeto ao longo do tempo. Tendo-se:

$$\sigma^2(VPL) = \sum_{i=1}^n \rho_i VPL_i^2 \cdot \left( \sum_{i=1}^n \rho_i VPL_i \right)^2 \quad e \quad (6)$$

$$\sigma(VPL) = \sqrt{\sigma^2(VPL)}$$

em que:

$\sigma^2(VPL)$  = Variância do retorno; e  $\rho$  = Probabilidade do retorno.

A volatilidade, segundo Leite (2008), é obtida dividindo o desvio padrão pela média do  $VPL_{\text{PROBABILÍSTICO}}$ , onde ambos são obtidos por meio da simulação. Como a equação abaixo:

$$V = \frac{\sigma VPL_{\text{PROBABILÍSTICO}}}{\mu VPL_{\text{PROBABILÍSTICO}}} \quad (7)$$

em que:

$\sigma$  = desvio padrão dos valores do  $VPL_{\text{PROBABILÍSTICO}}$ ;

$\mu$  = média dos valores do  $VPL_{\text{PROBABILÍSTICO}}$ .

## Aplicação do Modelo de Precificação Binomial e Construção da Árvore Binomial

Nesta etapa, será utilizado o Modelo Binomial proposto por Cox, Ross e Rubinstein (1979), que avaliou a volatilidade do valor presente do investimento, sendo o valor do projeto determinado por meio dos movimentos ascendentes e descendentes, representados por  $u$  e  $d$ , e pelas suas probabilidades  $p$  e  $(1-p)$ . De acordo com Hull (2002), é indicado, quando utilizarmos o modelo binomial na prática, que empreguemos mais de 30 passos para obtermos uma boa estimativa.

Desta forma, usaremos as equações do modelo binomial:

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad (8)$$

$$d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}} = 1/u \quad (9)$$

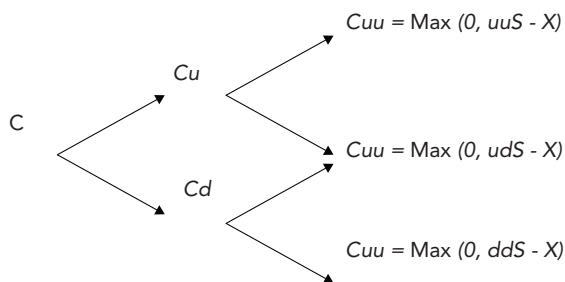
$$p = (e^{r\Delta t} - d)/(u - d) \quad (10)$$

Após o cálculo da volatilidade, será modelada a árvore binomial. Segundo Minardi (2004, p. 39), “quanto maior o número de períodos do modelo binomial e menor o intervalo de tempo do período, maior será a exatidão de sua solução”.

O cálculo remissivo do valor da opção será feito avaliando-se primeiro o valor da opção no último período. Em seguida, continuará com o cálculo remissivo da opção para todos os períodos que o precedem, de forma que se obtenha o valor da opção do primeiro período. A Figura 3 demonstra esse cálculo.

**Figura 3**

**Cálculo da árvore binomial do valor da opção**



Fonte: Minardi (2004).

**Análise das Opções Reais**

Após calcular o VPL do projeto considerando as incertezas e flexibilidades, teremos o valor das opções reais. A diferença entre o valor presente expandido e o valor presente tradicional será o próprio valor das opções, como descrito na fórmula (1) rerepresentada abaixo:

$$VPL_{EXPANDIDO} = VPL_{TRADICIONAL} + VALOR_{FLEX.GERENCIAL} \quad (11)$$

Esta última etapa tem por objetivo avaliar o projeto total. A Teoria das Opções Reais incluirá o valor presente sem flexibilidade, mais o valor da opção (flexibilidade). Com grande incerteza e flexibilidade gerencial, o valor da opção será substancial.

Nesta metodologia, as principais características de um projeto de investimento são levadas em consideração, como a questão da irreversibilidade, deixando claro que na maioria dos projetos esse valor inicial é quase ou total-



mente irreversível. Outra característica importante se refere às incertezas que se fazem presentes em um projeto e, por fim, à questão da adaptação do projeto a situações inesperadas no mercado, permitindo que seu investimento seja prorrogado.

## 4

# APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os dados foram obtidos por meio de situações hipotéticas, cujo intuito é demonstrar como a Teoria das Opções Reais (TOR) pode ser aplicada em diferentes cenários.

### Cálculo do VPL

Nesta etapa foi considerado um fluxo de caixa inicial, onde foi suposto que a empresa previa um fluxo de caixa com perspectivas de retorno esperado no valor de R\$ 20 milhões para os próximos anos. Porém, surge uma situação imprevista, em que há uma previsão de crise para os primeiros 16 trimestres, ocorrendo uma saída da mesma apenas a partir do 17º trimestre. Neste caso, os custos tiveram certo aumento no terceiro e no quarto anos, seguindo com apenas um pequeno decréscimo nos anos seguintes. Isso fez com que o retorno esperado ficasse na faixa de R\$ 5 milhões no período da crise e, após seu término, permanecesse no valor de R\$ 18 milhões, ficando abaixo do que inicialmente a empresa estava esperando. O projeto em questão obteve um VPL menor que zero, portanto, nesta avaliação ele deve ser rejeitado, como mostra a Tabela 1.

**Tabela 1**

### Resultado do VPL Tradicional Esperado com crise econômica

Resultado	
Investimento Inicial	R\$ 15 milhões
VPL Tradicional Esperado com crise	R\$ -67,98 milhões

Fonte: Elaborada pelos autores.

No entanto, a empresa baseada no VPL tradicional com perspectiva de crise, conforme mostrado na Tabela 1, toma a decisão de postergar o investimento. Neste novo fluxo de caixa da opção de postergar o projeto, os investimentos só ocorreram a partir do terceiro ano, no valor de R\$ 20 milhões, os custos seguiram nos anos seguintes aos investimentos na faixa de R\$ 5 milhões, e o retorno esperado, em torno de R\$ 22 milhões. Ou seja, o retorno foi maior do que se esperava inicialmente com as projeções de fluxo de caixa antes da crise.

A melhor decisão tomada pelo investidor foi a opção de postergar o investimento, onde se obteve um VPL maior do que zero e o projeto, nesse determinado momento, será aceito, conforme Tabela 2 abaixo.

**Tabela 2**

### Resultado do VPL Tradicional Esperado

Resultado	
Investimento Inicial	R\$ 15 milhões
VPL Tradicional Esperado após saída da crise	R\$ 153,80 milhões

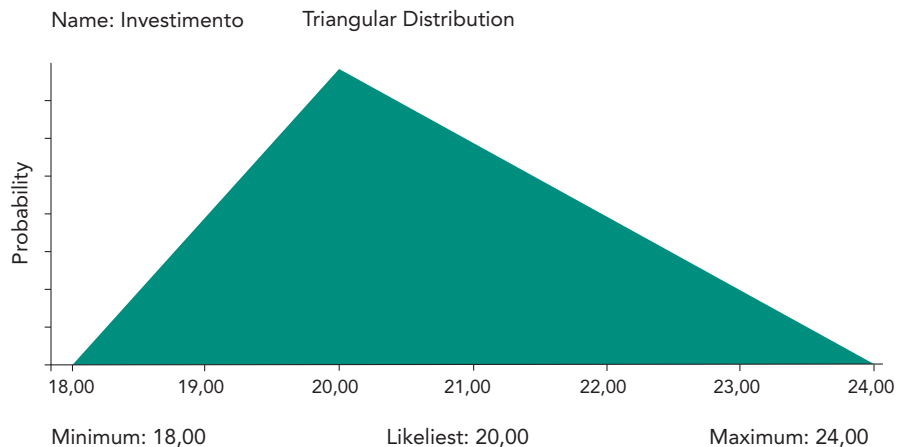
Fonte: Elaborada pelos autores.

### Simulação

Para a simulação foi levado em consideração apenas o  $VPL_{\text{DETERMINÍSTICO}}$  (R\$ 153,80 milhões) da opção de postergar o investimento após a saída da crise, em que, para a variável investimento, foi adotada a mesma distribuição, que é a triangular, definindo-se, portanto, seus percentuais de crescimento mínimo, máximo e o esperado. O limite de variação considerado foi:  $-10\%$  a  $+20\%$  do valor do investimento, conforme ilustra o Gráfico 1 a seguir.

## Gráfico 1

### Modelagem da 1ª variável de entrada de investimentos



Fonte: Elaborado pelos autores, com o auxílio do Crystal Ball.

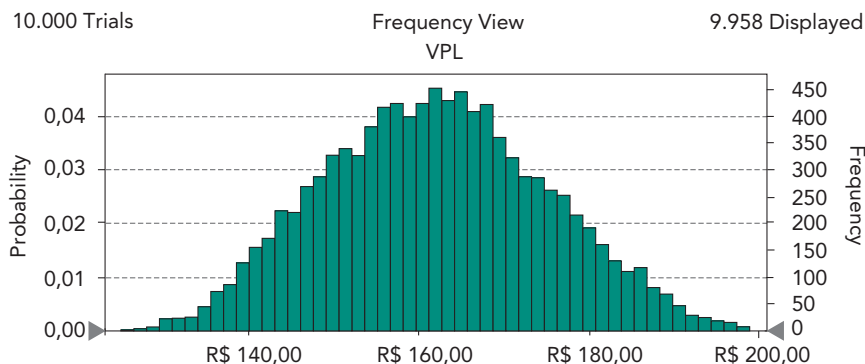
Da mesma forma, os custos receberam igual tratamento utilizado para a primeira variável, atribuindo, portanto, os limites de variação de:  $-10\%$  a  $+10\%$  dos custos. A distribuição triangular também foi utilizada para a distribuição de probabilidade. A terceira variável considerou os limites de variação:  $-10\%$  a  $+20\%$  das receitas. E, na última variável de entrada, a TMA, o limite de variação ficou entre:  $-2,5\%$  a  $+3,5\%$ .

Geradas as 10 mil interações e definidas as variáveis de saída, rodam-se as simulações, obtendo-se o VPL médio, que é obtido por meio da SMC, que foi de R\$ 162,05, acima do encontrado no modelo determinístico, R\$ 153,80. O desvio padrão encontrado foi de R\$ 13,13.

Outro aspecto analisado é que o menor VPL obtido nas simulações foi de R\$ 121,95 e o maior VPL foi de R\$ 203,83, como mostra a Figura 6, na qual, de acordo com o modelo estocástico desenvolvido, 100% dos valores do VPL encontram-se entre os valores máximos e mínimos.

## Gráfico 2

### Distribuição de probabilidade do investimento



Fonte: Elaborado pelos autores, com o auxílio do Crystal Ball.

## Resultado da SMC

Conforme a Tabela 3, o  $VPL_{\text{DETERMINÍSTICO}}$ , obtido por meio do fluxo de caixa projetado, foi negativo, assim como o  $VPL_{\text{PROBABILÍSTICO}}$  obtido por meio da simulação. Neste caso, inicialmente, conclui-se que o projeto deve ser rejeitado, pois de acordo com o critério de decisão, o VPL foi negativo e não deve ser aceito.

### Tabela 3

Resultado da SMC – em um primeiro momento, onde existia a possibilidade de uma crise

Resumo da SMC	
Investimento Inicial	15,00
$VPL_{\text{DETERMINÍSTICO}}$	-67,98
$VPL_{\text{PROBABILÍSTICO}}$	-66,44
Volatilidade do $VPL_p$	-0,11

Fonte: Elaborada pelos autores.

No entanto, com uma perspectiva de saída da crise, decide-se então postergar o investimento, onde, por meio da SMC, concluiu-se que o  $VPL_{\text{DETERMINÍSTICO}}$ , foi menor que o  $VPL_{\text{PROBABILÍSTICO}}$ . Portanto, o projeto deve ser aceito.

**Tabela 4**

**Resultado da SMC**

Resumo da SMC	
Investimento Inicial	15.000.000,00
$VPL_{\text{DETERMINÍSTICO}}$	153,80
$VPL_{\text{PROBABILÍSTICO}}$	162,05
Volatilidade do $VPL_p$	0,08

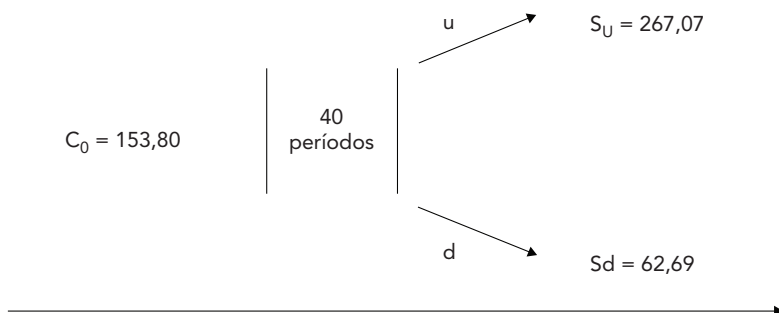
Fonte: Elaborada pelos autores.

**Precificação Binomial e Árvore de Eventos**

A árvore de eventos para a opção de postergar o investimento foi calculada com 40 períodos. Neste projeto, foi levada em consideração a opção de postergar o investimento por um ano, podendo a mesma ser exercida a qualquer momento. Esta é a chamada opção americana – a opção europeia só pode ser exercida no prazo previsto. Verificar Figura 4 abaixo.

**Figura 4**

**Árvore Binomial do  $VPL_{\text{PROBABILÍSTICO}}$  em 40 períodos**



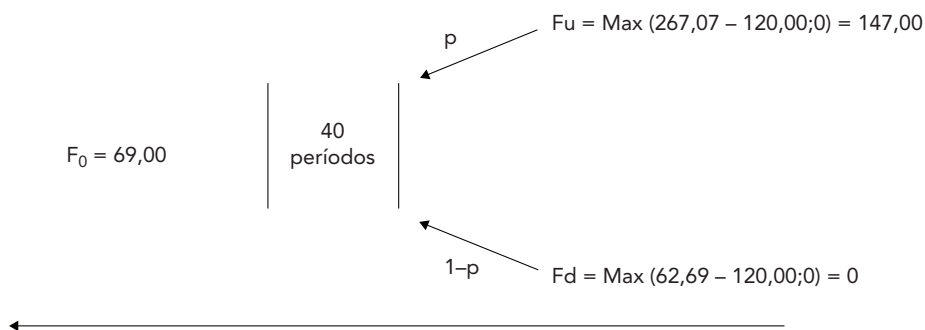
Fonte: Adaptada de Leite (2008).

em que:

$$u = 1,014352; d = 0,985851$$

A Figura 5 ilustra a árvore regressiva para o cálculo da opção de postergar o investimento.

**Figura 5**  
Cálculo regressivo do valor da opção



Fonte: Adaptada de Leite (2008).

em que:

$$p = 0,753625; 1-p = 0,246375$$

### Valor da opção

Por meio da análise das opções reais, verifica-se que o projeto com a opção de postergar após a saída da crise, ou seja, iniciando o investimento no 3º ano, adicionou ao  $VPL_{\text{TRADICIONAL}}$  o valor de R\$ 69.000,00.

O cálculo do  $VPL_{\text{EXPANDIDO}}$  segue descrito abaixo:

$$VPL_{\text{EXPANDIDO}} = VPL_{\text{TRADICIONAL}} + \text{VALOR}_{\text{FLEXIBILIDADE GERENCIAL}}$$

$$VPL_{\text{EXPANDIDO}} = 153.800,00 + 69.000,00$$

$$VPL_{\text{EXPANDIDO}} = 222.800,00$$

De acordo com a análise das opções reais, verifica-se que o projeto com a opção de postergar permite que o investidor, durante este tempo, avalie as condições de mercado, obtendo melhores informações e analisando algumas incertezas, evitando, assim, perdas maiores. Neste caso, quando o investidor em uma primeira situação observou que o projeto naquele momento não era viável, a decisão de postergar e não de abandonar o projeto foi a melhor escolha, permitindo ao investidor obter lucros futuros. O  $VPL_{EXPANDIDO} = R\$ 222.800,00$  demonstra que o projeto em questão é viável.

## 5

### CONCLUSÕES

Na pesquisa executada, foi salientada a importância dos projetos de inovação tecnológica para empresas que desejam obter vantagem competitiva, assim como se procurou estudar a questão da análise de investimentos de projetos que, com a inovação tecnológica, possui uma característica peculiar, que é a incerteza agregada, fato que justifica uma atenção especial ao tema proposto, em face da capacidade da TOR em capturar o valor proveniente da flexibilidade gerencial de um projeto.

É uma forma de verificar a continuidade do projeto, ou seja, se ele deve ser posto em prática, possibilitando ao investidor uma flexibilidade maior no que se refere à detecção de falhas, permitindo-lhe estabelecer medidas para evitar perdas maiores caso o investimento seja feito no momento em que o mercado não se encontre favorável.

Neste trabalho foi analisado um caso clássico de opções reais: o de postergar o projeto, supondo que no primeiro momento em que o mercado estava em crise aquele investimento traria prejuízo e, em vez de cancelar o projeto, o investidor esperasse mais um pouco até que o mercado se estabilizasse novamente, permitindo-lhe auferir lucro.

Ao término do estudo do projeto de postergar o investimento, verificou-se que a TOR é uma ferramenta muito importante para as empresas, além de ser eficiente e capaz de trazer para o investidor uma oportunidade de se obter dados mais precisos a respeito do projeto do que os métodos determinísticos.

A Teoria das Opções Reais proporciona ao investidor um nível de informação que o auxilia na detecção de possíveis falhas gerenciais, aumentando as-

sim a probabilidade de o investimento ser bem-sucedido, trazendo benefícios futuros para a empresa.

## TECHNOLOGICAL INNOVATION AND FLEXIBILITY MANAGEMENT: AN APPLICATION OF THE REAL OPTIONS THEORY

### Abstract

Many companies are being forced to seek rapid adaptation to changes in a world of tough competition and uncertain future, trying to invest that provides their growth. In this scenario, the investments must create new opportunities, and incorporate the flexibilities is a way to allow that risk and uncertainty, presents in investment of technological innovation be seen as strategic opportunities to be exploited. The present study shows that the Real Options Theory will be used to value method, because it includes in its methodology the possibility of uncertainty and management flexibility, which give the project another possibility, if the traditional NPV valuation is not desired. Employment of that theory, this paper examines the option of postponing the project, whose values were hypothetically. So that we can analyze how the TOR can add value to these projects, taking into account the peculiar changes in the market.

**Keywords:** Technology innovation; Real options; Management flexibility.

### Referências

AMRAM, M.; KULATILAKA, N. *Real options: managing strategic investment in uncertainty world*. Boston: Harvard Business School Press, 1999.

BETZ, F. *Managing technological innovation: competitive advantage from change*. 2. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 1998.

BRASIL, H. G. et al. *Opções reais: conceitos e aplicações a empresas e negócios*. São Paulo: Saraiva, 2007.

BRENNAN, M. J.; SCHWARTZ, E. S. Evaluating natural resource investments. *Journal of Business*, v. 58, n. 2, p. 135-157, 1985.



COPELAND, T.; ANTIKAROV, A. *Opções reais: um novo paradigma para reinventar a avaliação de investimentos*. Tradução Maria José Cyhlar. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

\_\_\_\_\_. *Real options: a practitioner's guide*. New York: Texere, 2003.

COX, J.; ROSS, S.; RUBINSTEIN, M. Option pricing: a simplified approach. *Journal of Financial Economics*, New York, v. 7, n. 3, p. 229-264, Sept. 1979.

DIAS, M. A. G. *Opções reais híbridas com aplicação em petróleo*. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

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

ECCLES, R. G.; LANES, K. L.; WILSON, T. C. Are paying too much for that acquisition? *Harvard Business Review*, Cambridge, July/Aug. 1999.

GITMAN, L. J. *Princípios de administração financeira*. Tradução Antônio Zoratto Sanvicente. 10. ed. São Paulo: Addison Wesley, 2004.

HULL, J. C. *Option, futures and other derivatives*. 5. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002.

LEITE FILHO, G. D. S. *Justificativa de investimentos em tecnologias avançadas de manufatura: um framework para avaliação da opção de esperar, sob a ótica das opções reais*. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção)–Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

MINARDI, A. M. A. F. *Teoria das Opções aplicada a projetos de investimento*. São Paulo: Atlas, 2004.

PADDOCK, J.; SIEGEL, D.; SMITH, J. Option valuation on claims on physical assets: the case of offshore petroleum leases. *Quarterly Journal of Economics*, Cambridge, v. 103, n. 3, p. 479-508, Aug. 1988.

REILLY, F. K.; NORTON, E. A. *Investimentos*. Tradução Verice Translate. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

REILLY, F. K.; BROWN, K. C. *Investment analysis and portfolio management*. 8. ed. International student edition. Independence: Thomson, 2006.

SAURIN, V. Aspectos básicos do modelo de avaliação de opções reais. *RCA – Revista da Ciência da Administração*, Florianópolis, v. 4, n. 6, p. 61-68, jan./jun. 2002.