

ÁREA TEMÁTICA: FINANÇAS

TÍTULO: A AVALIAÇÃO DE PROJETOS EM AMBIENTE DE INCERTEZAS: MODELOS DE SIMULAÇÃO APLICADOS À TEORIA DE OPÇÕES REAIS

AUTORES

FERNANDO ANTONIO PERRONE PINHEIRO

Fundação Instituto de Administração - FIA

fap.pinheiro@terra.com.br

ALMIR FERREIRA DE SOUSA

Universidade de São Paulo

abrolhos@usp.br

JOSÉ ROBERTO FERREIRA SAVOIA

Universidade de São Paulo

jrsavoia@usp.br

RESUMO

A busca por alternativas de investimento de elevada rentabilidade faz com que o investidor tenha que assumir mais riscos, muitas vezes em projetos pioneiros com elevado nível de inovação. Estes riscos têm diferentes naturezas e são determinantes para o sucesso ou fracasso de um novo projeto. Vários fatores contribuem para elevar estes riscos: a volatilidade dos mercados, o atual nível de competitividade entre as companhias e a curta duração das inovações tecnológicas, dentre outros fatores. Os modelos baseados em opções reais representam uma solução para o problema de avaliação de investimentos altamente susceptíveis às incertezas, apresentando muitas vantagens sobre modelo de fluxo de caixa descontado ao possibilitar a quantificação do valor das opicionalidades detidas pela firma e a flexibilidade de seu valor. Este trabalho traz os comentários de alguns autores sobre as limitações dos modelos baseados no fluxo de caixa descontado, faz uma revisão das diferentes modalidades de opções reais e inclui algumas considerações sobre a aplicabilidade do modelo de Black e Sholes às opções reais. O trabalho apresenta também uma aplicação da teoria de opções reais, através de modelo de simulação estocástico associado à programação linear, visando simular o valor da firma sujeita a múltiplas incertezas.

Palavras chave: avaliação, opções reais, simulação Monte Carlo.

ABSTRACT

The search of high profitable investment alternatives imposes to the investor to run more risks, sometimes in pioneer projects with high level of innovation. These risks have different natures and all of them are determinant for the success or the failure of a new project. Some factors contribute to leverage theses risks, as market volatility, high level of competitiveness among companies, the short duration of the technological innovations, etc. Models based on real options are an interesting approach to value these investments, highly susceptible to uncertainties, showing advantages over the discounted cash flow method by considering the options owned by the firm and the flexibility of its value. This paper brings some comments

about the limitations of the discounted cash flow models, reviews the different types of real options, and includes some considerations about the applicability of the Black and Sholes model to evaluate real options. This paper also presents the use of the real option theory, based on stochastic simulation model associated with linear programming method, in order to simulate the value under multiple uncertainties.

Key words: valuation, real options, Monte Carlo Simulation.

1. Introdução

Diversos autores têm se dedicado ao estudo das opções reais e enfatizam sua utilização. Para Rigolon (1999) a abordagem de opções pode ser útil aos bancos de desenvolvimento, pois permite que estes identifiquem o melhor momento para financiar um determinado investimento; para Monteiro (2003) a volatilidade das economias latino-americanas enaltece o uso das opções reais na análise de projetos; e para Santos e Pamplona (2001) as possibilidades de aplicação da Teoria das Opções Reais são muito amplas e encontram espaço inclusive nas decisões estratégicas das corporações.

A razão pela qual o estudo das opções reais vem se difundindo reside em algumas limitações do modelo de Fluxo de Caixa Descontado - FCD. Para Damodaran (2002 p. 343-344), o FCD tem sido criticado por não considerar uma série de opções que estão embutidas na empresa: uma pequena firma atuando em um mercado muito promissor poderá crescer substancialmente, sem que isto seja considerado. Uma empresa pode deter patentes e licenças e o FCD não considera estes “potenciais” fluxos de caixa. Ou ainda: uma companhia que apresente certo diferencial competitivo poderá vir a tomar decisões de investimento no futuro altamente rentáveis, mas a análise pelo FCD não contempla explicitamente este fato.

Amaro de Matos (2001, p. 33) cita que as incertezas de um negócio são incorporadas em sua taxa de desconto; no entanto, se as circunstâncias tornarem-se desfavoráveis, o administrador pode efetuar correções de rumo, eliminando os resultados ruins. Logo, a existência de opcionalidade faz com que a taxa de desconto não precise ser tão elevada.

Para Copeland e Antikarov (2002, p. 14), o Valor Presente Líquido, ou VPL, não leva em consideração a flexibilidade de valor, pois estão baseados em fluxos de caixa esperados. O VPL não considera os direitos de exploração que a firma possui. O valor da flexibilidade cresce quando existem muitas incertezas acerca do futuro e se a empresa possuir capacidade de reação para lidar com estas incertezas. O Quadro 1 expõe a questão da probabilidade de novas informações e da flexibilidade do valor: empresas situadas em ambiente de poucas incertezas estão sujeitas a menores oscilações de seu valor se comparadas a empresas imersas em ambiente de incerteza; da mesma forma, o valor de companhias com elevada capacidade de reação ao mercado pode variar mais do que o valor de companhias com baixa capacidade de promover re-direcionamentos.

Quadro 1 – Incertezas e a capacidade de reação da firma

		Probabilidade de receber nova informação	
		Baixa	Alta
Capacidade de reação	Alta	Flexibilidade de valor moderado	Flexibilidade de alto valor
	Baixa	Flexibilidade de baixo valor	Flexibilidade de valor moderado

Fonte: Copeland e Antikarov (2002)

A questão da flexibilidade do valor impõe, portanto, que a análise baseada no fluxo de caixa descontado seja revista, já que ela fornece os resultados provenientes de um único cenário. Uma alternativa que se apresenta é a utilização da teoria das opções.

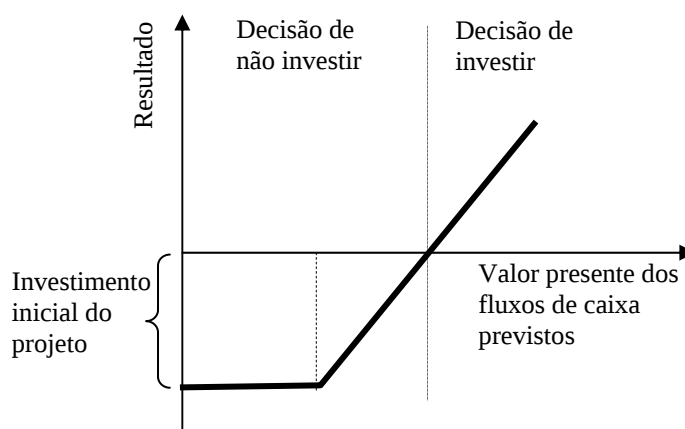
2. A aplicação da teoria das opções ao problema de avaliação

A aplicação da teoria de opções não está restrita aos mercados de derivativos, mas encontra utilidade em outros campos das finanças. Saunders (2000, p. 21) explica que o patrimônio líquido de uma empresa pode ser visto como um direito residual, onde os acionistas só terão direitos a reivindicar sobre os ativos após todo o capital de terceiros haver sido ressarcido; portanto, o capital próprio, sob o ponto de vista do investidor, assemelha-se a uma opção de compra.

Para Copeland e Antikarov (2002, p. 6), opção real consiste no direito de empreender uma ação a um custo pré-determinado e por um período pré-definido. A ação em questão refere-se ao adiamento de um empreendimento, sua expansão ou seu abandono.

A Figura 1 ilustra o diagrama de retornos de uma opção real, onde determinado projeto requer um investimento inicial e pelo qual se pretende obter no futuro um fluxo de caixa. Se o valor presente dos mesmos for inferior ao valor do investimento inicial o projeto não será viável.

Figura 1 – Opções reais e a decisão de investir



O modelo de precificação desenvolvido por Fischer Black e Myron Scholes in 1973, conhecido como Modelo Black & Sholes, ou B&S, também é aplicável às opções reais. Damodaran (2002, p. 358), no entanto, estabelece uma restrição, já que o modelo B&S é aplicável às opções européias e o problema das opções reais requer por vezes o exercício antecipado. Para lidar com este problema, Damodaran (2002, p. 358) sugere a adoção de 3 abordagens: usar o modelo B&S como uma estimativa conservadora do valor real; ou avaliar a opção em cada data de pagamento de dividendo, no caso de o ativo objeto ser uma ação; ou ainda, usar uma versão modificada do modelo binomial.

O modelo B&S pode ser adotado para as opções reais. As variáveis do problema são:

- Prêmio da opção: refere-se ao valor dispendido que irá garantir as condições de escolha futura entre desenvolver ou não um determinado projeto. Pode ser o valor de uma patente ou de uma concessão de exploração de determinado negócio;
- Preço de Exercício: é o valor do investimento do projeto, caso a decisão de desenvolvê-lo seja tomada;
- Preço do Ativo-Objeto: corresponde ao valor presente líquido dos fluxos de caixa

- que o projeto irá proporcionar;
- Volatilidade: corresponde à variabilidade do valor presente dos fluxos de caixa.

Damodaran (2002, p. 361-362) faz algumas considerações sobre a aplicabilidade da teoria de B&S para o problema da avaliação de projetos já que os modelos de precificação de opções requerem que:

- O preço do ativo objeto seja amplamente conhecido (p.ex., ações negociadas em bolsa de valores). Nas opções reais o valor do ativo objeto é calculado com base no fluxo de caixa previsto, isto é, baseia-se em premissas subjetivas;
- Não haja oscilações bruscas em seu preço, o que pode ocorrer com as opções reais;
- A variância seja conhecida e constante: razoável para opções de curto prazo, embora as opções reais sejam de longo prazo;
- O exercício seja instantâneo. No caso de opções reais, o exercício dá-se ao longo do tempo necessário para implantar o projeto em questão, o que pode levar meses.

Santos e Pamplona (2001) consideram ainda a dificuldade em se estabelecer o preço do produto final do projeto analisado, e as situações em que o mercado tem pequena dimensão, fazendo com que um pequeno aumento da oferta provoque a redução do preço de comercialização.

A definição da volatilidade requer maior reflexão, já que o valor de uma opção real é uma função da variabilidade VPL dos fluxos de caixa gerados; ou seja, da variabilidade do valor da firma. O problema se agrava quando se considera um projeto ou empresa nova, sem histórico. Damodaran (2002, p. 369) sugere o uso de *proxies*, como a variância do valor empresarial de companhias do mesmo segmento econômico, ou a variância do valor de projetos de mesma natureza conduzidos pela empresa. Este pressuposto considera que os riscos verificados em empresas já estabelecidas e com históricos de resultados conhecidos serão iguais aos riscos do novo empreendimento, o que pode estar longe da realidade. Uma nova empresa ou um novo projeto pode apresentar riscos substancialmente maiores, mas as oportunidades também o serão. Outra abordagem é dar tratamento individual às incertezas que cercam o projeto, ao invés de estimar a volatilidade dos fluxos de caixa.

De acordo com Copeland, Koller e Murrin (2002, p. 407-409) existem 8 tipos de opções reais: as de adiamento, as de expansão, as de abandono, as de prorrogação ou abreviação, as de ampliação ou redução de escopo, as de mudança, as compostas e as opções arco-íris.

a) Opção de adiamento

Um investidor optará pelo adiamento de um projeto se ele vislumbrar a possibilidade de fazê-lo no futuro em condições mais favoráveis. Um projeto pode não ser viável no instante inicial, pois seu valor presente líquido é negativo, mas novas condições de mercado poderão reverter esta expectativa (AMARO DE MATOS, 2001, p. 33).

Copeland, Koller e Murrin (2002, p. 407) exemplificam a opção de adiamento com a situação do investidor que adquiriu os direitos de exploração de uma reserva de petróleo e decide adiar sua prospecção e extração porque o preço atual da commodity é insuficiente para cobrir os custos envolvidos. No entanto, se o preço do petróleo vier a subir este investidor irá exercer sua opção de explorar a jazida. Esta situação se assemelha a uma *Call* americana, onde o prêmio pago pelo investidor é o valor pago pela concessão de exploração.

Um outro problema típico de opções de adiamento está em seu uso para avaliar o valor de patentes e licenças. Uma patente permite ao seu detentor lançar um produto sem equivalente na concorrência, o que lhe garante altas margens de lucro. No entanto patentes tem vida limitada: seu detentor tem um prazo para desenvolvê-la, do contrário outros poderão fazê-lo. De qualquer forma os investimentos em pesquisa e desenvolvimento farão com que a concorrência mais cedo ou mais tarde desenvolva um produto semelhante.

Em se considerando como prazo da opção o período de rendimentos extraordinários durante o qual a empresa comercializa seu novo produto sem concorrência direta, a decisão de postergar o desenvolvimento desta patente reduz o número de anos com fluxos de caixa extraordinários. Logo, um ano de postergação da patente significa um ano perdido de fluxos de caixa.

Outra consideração a ser feita reside no período de exercício. Os modelos de precificação de opções consideram que o exercício corresponde a um evento instantâneo. O desenvolvimento de patentes ocorre em um tempo considerável, pois requer a mobilização de recursos, contratação de pessoas, esclarecimento ao consumidor e campanha de marketing. A este respeito, é importante que se considere o ciclo de vida do produto, para efeitos de cálculo do VPL.

b) Opção de expansão

A opção de expansão trata da oportunidade de ampliar ou desenvolver um projeto a partir de um investimento realizado. O exercício da opção - representado pelo desenvolvimento do projeto - pode se dar a qualquer momento. Esta opção se equipara a uma *Call* americana.

Damodaran (2002, p. 382) levanta a hipótese de que esta opção pode estar embutida no valor de algumas companhias, o que faria com que elas fossem negociadas com ágio sobre o valor do fluxo de caixa descontado. Esta é a situação de pequenas empresas de crescimento acelerado em mercados de grande expansão. Em caso de sucesso, estas empresas poderiam expandir-se muito mais. Desta forma, estas empresas devem ser avaliadas considerando-se simultaneamente o valor presente líquido dos fluxos de caixa e o valor das opções reais embutidas.

As opções de expansão apresentam como dificuldade o prazo de vencimento indeterminado. No caso das opções de adiamento, o prazo é definido como o horizonte de tempo em que o detentor de um direito deve tomar uma decisão de empreender um novo projeto. No caso das opções de expansão, o investidor não possui estas restrições.

Santos e Pamplona (2002) estudando as opções reais aplicadas a projetos de pesquisa e desenvolvimento (P & D) estabeleceram as seguintes premissas:

- Irreversibilidade: a partir do instante que se investiu em P&D, não mais é possível recuperar estes recursos.
- Incertezas: além das incertezas econômicas, existem aquelas de cunho técnico, pois o objeto de pesquisa poderá não surtir os resultados almejados.
- *Timing*: após a conclusão do processo de P&D, a empresa tem a oportunidade de escolher o momento de introdução do produto, decidir sobre o aumento ou redução de sua produção ou mesmo o abandono.

c) Opção de abandono

É a opção de se abandonar ou vender um projeto, decisão esta tomada à luz da comparação entre o valor de liquidação dos ativos e o valor presente dos fluxos de caixa. Assemelha-se a

uma *Put* americana (pois a decisão de abandonar pode ocorrer a qualquer tempo). Considere-se um projeto de produção de um bem, inicialmente considerado rentável, mas que com o passar do tempo venha a apresentar resultados negativos: se não existirem barreiras jurídicas (ex: um contrato de fornecimento de bens e serviços), o administrador poderá decidir pela interrupção da produção e interromper o ciclo de perdas decorrentes da decisão inicial de empreender o projeto.

d) Opção de prorrogar ou abreviar

É possível prorrogar ou abreviar um contrato por meio de um pagamento. A prorrogação assemelha-se a uma *Call* e o adiamento a uma *Put*. Contratos de arrendamento podem conter cláusulas desta natureza. Exemplo: um contrato imobiliário onde o locatário tem o direito de prorrogar o período de locação, ou abreviá-lo. Cabe ao locador do imóvel estabelecer o quanto valem estas cláusulas, pois elas se constituem em opções concedidas.

e) Opção de ampliação ou redução de escopo

Define-se escopo como o número de atividades abrangidas por um projeto. A ampliação do escopo assemelha-se a uma *Call*. Questões que levam à ampliação ou redução do escopo:

- Possibilidade de verticalizar ou terceirizar determinadas fases da produção;
- Aumento ou redução do público alvo beneficiado por determinado bem ou serviço;
- Considerações sobre a demanda do bem ou serviço oferecido; etc.

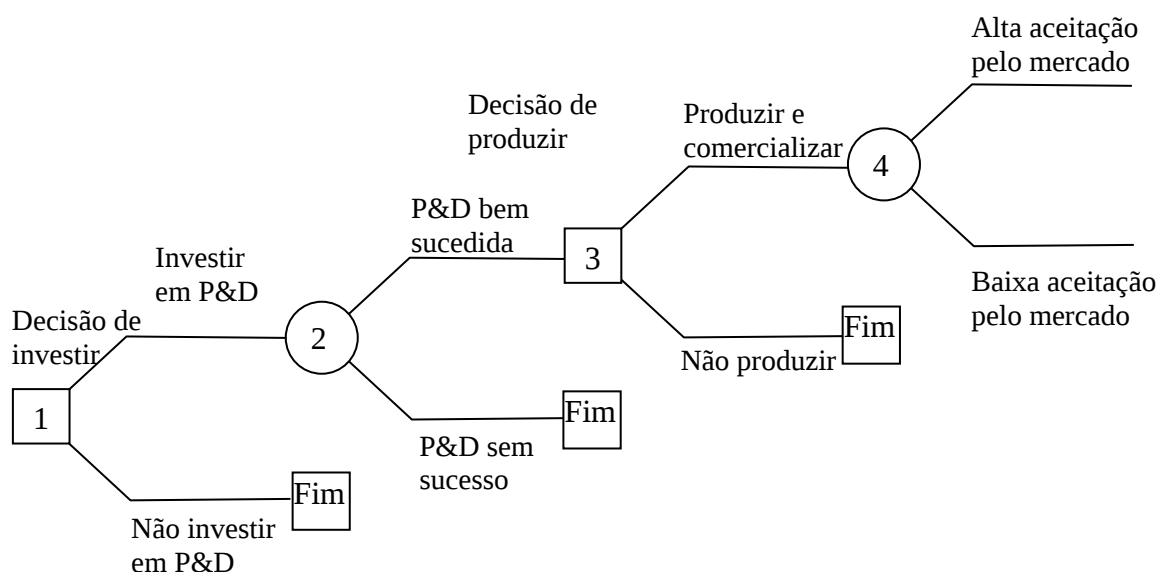
f) Opções de mudança

Aplicáveis às linhas de produção, que podem ser ativadas ou desativadas (*Calls* e *Puts* respectivamente). O administrador poderá decidir pela prorrogação da produção, ou mesmo pela sua ampliação se esta linha de negócios for rentável; ou decidir abreviá-la, reduzi-la ou encerrá-la, por uma questão de baixa rentabilidade, baixa demanda, de produto ou processo substituído com melhor tecnologia ou menor custo. Copeland, Weston e Shastri (2005, p. 333) dão como exemplo um campo onde o petróleo é muito viscoso para ser bombeado, mas sua extração é viabilizada pela injeção de vapor no poço. O custo deste procedimento representa o prêmio da opção e a aposta do decisor é que o preço do petróleo se eleve para compensar este dispêndio.

g) Opções Compostas

São opções sobre opções e são aplicáveis para os investimentos escalonáveis e sequenciais. A título de exemplo, considere-se a fabricação de um bem durável qualquer: o investidor deverá decidir sobre o investimento na linha de produção para posteriormente, em função da demanda por aquele bem, decidir pelo aumento da produção, ou pela sua manutenção ou ainda pelo abandono do negócio. As opções compostas requerem o uso de árvores de decisão para a tabulação do processo decisório face à incerteza. Santos e Pamplona (2002) exemplificam do uso de árvores de decisão, associando investimentos em pesquisa e desenvolvimento e na produção e comercialização de um bem. A Figura 2 esquematiza o problema: em (1) toma-se a decisão de investir em P&D. Em (2) analisa-se o sucesso ou fracasso da decisão: se bem sucedida, prossegue-se para (3), quando se decide pela produção e comercialização. Em caso positivo, verifica-se em (4) se ocorreu a aceitação do produto pelo mercado. Negativas em (1), (2) e (3) determinam o encerramento do processo. A árvore poderia se estender, incorporando as decisões sobre aumento, manutenção, redução ou abandono da produção.

Figura 2 – Árvore de decisão e opções reais



Baseado em Santos e Pamplona (2002)

h) Opção arco-íris

São opções sobre um projeto sujeito a mais de uma incerteza, como a demanda, os custos, a ação da concorrência, etc. A conjunção de múltiplas incertezas com múltiplas decisões sequenciais resulta nas opções arco-íris compostas¹. Para Copeland e Antikarov (2002, p. 23) estas talvez sejam as opções mais realistas. É fácil compreender o porquê, já que as opções compostas arco-íris procuram incorporar todas as incertezas de um projeto e permitem tratar as decisões que serão tomadas ao longo do seu desenvolvimento caso as incertezas venham a requerê-las. Por esta razão, estas opções são conhecidas também como opções de aprendizado, pois o decisor aprenderá a reagir de acordo com os eventos futuros.

Dezen (2001) estudou as opções arco-íris compostas aplicadas à exploração petrolífera, onde as incertezas são: o tamanho das reservas, incerteza esta que apenas será reduzida com o aprendizado obtido com a exploração do campo; a localização do campo, já que erros desta natureza atrasam o cronograma e geram custos adicionais; o preço da *commodity*, incerteza esta que perdura durante toda a vida da exploração do campo; o custo de produção; e as novas informações obtidas acerca das reservas a cada nova perfuração, o que poderá intensificar sua exploração ou recomendar o abandono.

3. Metodologia

Copeland e Antikarov (2002, p. 220-241) sugerem o uso da Simulação Monte Carlo² para simular os valores que assumem as variáveis do projeto. A associação de múltiplas variáveis requer, no entanto, que se dê tratamento às correlações existentes entre elas. A título de exemplo, considere-se uma indústria do setor alimentício: é razoável admitir que uma elevação dos insumos utilizados em um produto provoque a elevação de seu preço de venda, o que significa existir uma correlação positiva entre estas variáveis. Existem situações onde as

¹ Um projeto poderá ter diversas incertezas associadas e permitir que diversas decisões sejam tomadas, como ampliar, reduzir, encerrar, prorrogar, abreviar ou adiar.

² Processo estocástico baseado no Movimento Browniano Geométrico.

variáveis se correlacionam, com maior ou menor intensidade, a uma variável conjuntural, como taxa de crescimento econômico, taxa de câmbio, nível de renda do assalariado, preço de uma determinada matéria prima, etc.

Longerstaey e Spencer (1996, p. 151-152) e Jorion (1998, p. 231) associam a Simulação Monte Carlo à Decomposição de Cholesky como forma de geração de conjuntos de retornos aleatórios para múltiplas variáveis, preservando as correlações existentes entre as mesmas. Os autores definem este modelo como Simulação Monte Carlo Estruturada.

A decomposição de Cholesky é um método numérico voltado para sistemas lineares de equações. Sua importância para os modelos de simulação reside na possibilidade de geração de conjuntos de números aleatórios com base em parâmetros de volatilidade e correlação. O método é aplicável desde que a matriz seja simétrica e positivamente definida. Seja uma matriz S, define-se a matriz A e A^T tal que:

$$S = A^T \times A$$

Onde A^T é a matriz transposta de A.

Para uma matriz “S” 3x3 tem-se:

$$S = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{13} \\ s_{21} & s_{22} & s_{23} \\ s_{31} & s_{32} & s_{33} \end{bmatrix}$$

$$A^T = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} & a_{31} \\ 0 & a_{22} & a_{32} \\ 0 & 0 & a_{33} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{13} \\ s_{21} & s_{22} & s_{23} \\ s_{31} & s_{32} & s_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11}^2 & a_{11}a_{21} & a_{11}a_{31} \\ a_{11}a_{21} & a_{21}^2 + a_{22}^2 & a_{21}a_{31} + a_{32}a_{22} \\ a_{11}a_{31} & a_{21}a_{31} + a_{32}a_{22} & a_{31}^2 + a_{32}^2 + a_{33}^2 \end{bmatrix}$$

E obtêm-se recursivamente os valores para a matriz A^T :

$$s_{11} = a_{11}^2 \Rightarrow a_{11} = \sqrt{s_{11}}$$

$$s_{21} = a_{11}a_{21} \Rightarrow a_{21} = \frac{s_{21}}{a_{11}}$$

$$s_{22} = a_{21}^2 + a_{22}^2 \Rightarrow a_{22} = \sqrt{s_{22} - a_{21}^2}$$

$$s_{31} = a_{11}a_{31} \Rightarrow a_{31} = \frac{s_{31}}{a_{11}}$$

$$s_{32} = a_{21}a_{31} + a_{32}a_{22} \Rightarrow a_{32} = \frac{1}{a_{22}}(s_{32} - a_{21}a_{31})$$

$$s_{33} = a_{11}^2 + a_{22}^2 + a_{33}^2 \Rightarrow a_{33} = \sqrt{s_{33} - a_{31}^2 - a_{32}^2}$$

(LONGERSTAEY; SPENCER, 1996, p. 254-255)

O método é aplicável a matrizes de covariâncias. Supondo-se um problema onde se deseja simular 3 variáveis aleatórias, a matriz de covariância será:

$$S = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \rho_{1,2}\sigma_1\sigma_2 & \rho_{1,3}\sigma_1\sigma_3 \\ \rho_{1,2}\sigma_1\sigma_2 & \sigma_2^2 & \rho_{2,3}\sigma_2\sigma_3 \\ \rho_{1,3}\sigma_1\sigma_3 & \rho_{2,3}\sigma_2\sigma_3 & \sigma_3^2 \end{bmatrix}$$

Onde:

σ_i é a volatilidade da variável “i”

$\rho_{i,j}$ é a correlação entre as variáveis “i” e “j”.

De posse da matriz de covariância S obtém-se a matriz A^T . A multiplicação de A^T por uma matriz N contendo números aleatórios normalmente distribuídos³, com quantidade de linhas igual à quantidade de variáveis do problema e tantas colunas quantas forem os períodos pretendidos ou simulações pretendidas, irá gerar uma matriz R com mesmo número de linhas e de colunas da matriz R, contendo retornos aleatórios para as variáveis simuladas que seguem os parâmetros de volatilidade e correlação da matriz S.

$$N = \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} & n_{13} & n_{14} & n_{15} & \dots \\ n_{21} & n_{22} & n_{23} & n_{24} & n_{25} & \dots \\ n_{31} & n_{32} & n_{33} & n_{34} & n_{35} & \dots \end{bmatrix}$$

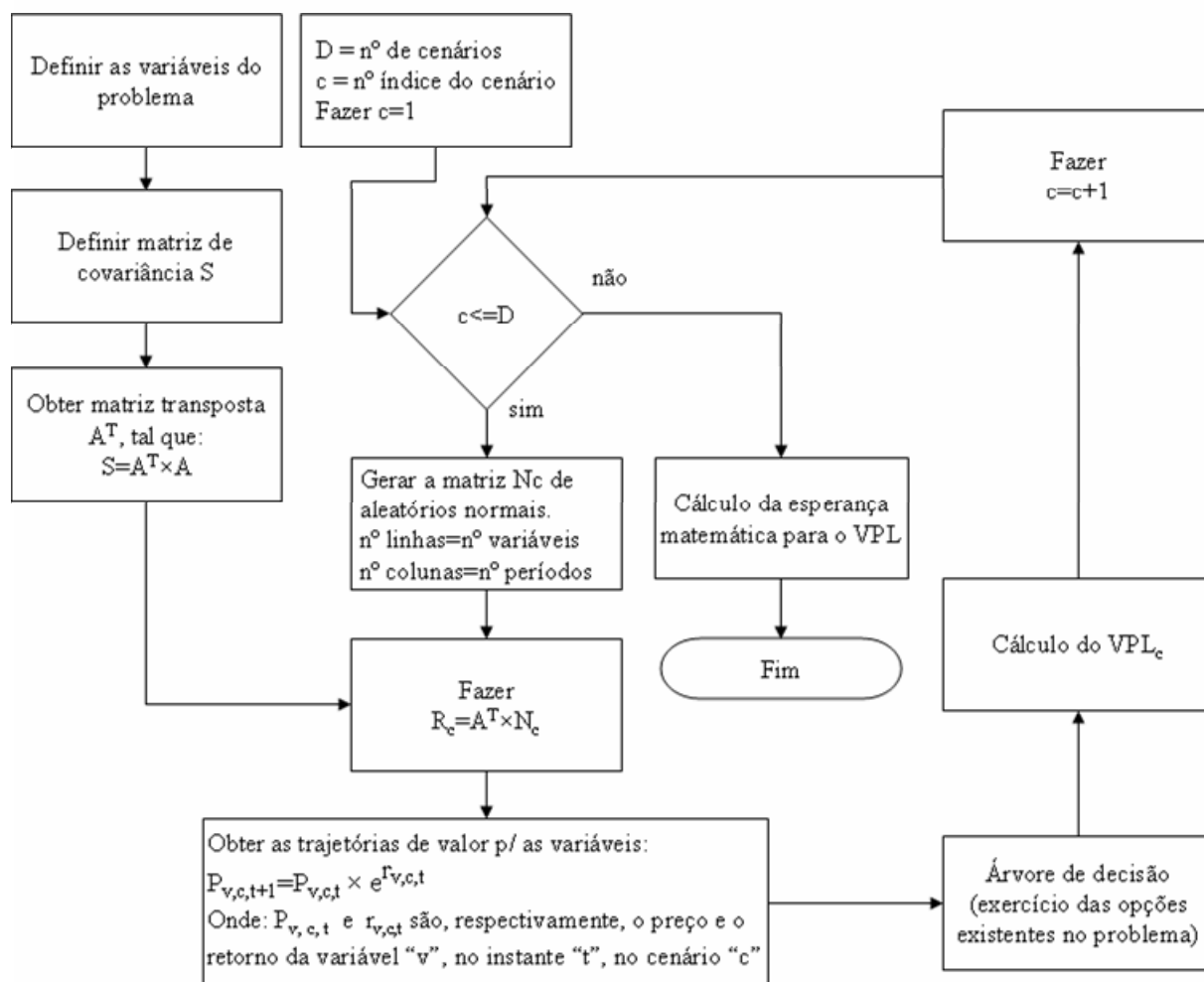
Fazendo-se $R=A^T \times N$ obtém-se:

$$N = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} & n_{13} & n_{14} & n_{15} & \dots \\ n_{21} & n_{22} & n_{23} & n_{24} & n_{25} & \dots \\ n_{31} & n_{32} & n_{33} & n_{34} & n_{35} & \dots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} & r_{15} & \dots \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} & r_{25} & \dots \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} & r_{35} & \dots \end{bmatrix}$$

Admitindo-se a normalidade dos retornos das variáveis de um projeto, pode-se então, através de um processo aleatório, definir a trajetória de valores que assume cada variável ao longo do tempo. Para cada conjunto de trajetórias será calculado o VPL correspondente ao cenário gerado. Têm-se, portanto, um conjunto de retornos, cuja esperança matemática fornece a resposta do problema. O detalhamento do processo de simulação é apresentado na Figura 3:

³ Partindo-se do pressuposto que os retornos das variáveis obedeçam a uma distribuição normal.

Figura 3 – Modelo de simulação



A possibilidade de simular diversas variáveis através do modelo Monte Carlo Estruturado fornece a possibilidade de evoluir para a construção de cenários complexos, onde se integram variáveis macro-econômicas, setoriais e aquelas que afetam diretamente o problema. A título de exemplo, considere-se um produto cuja matéria prima é o plástico e incorpore uma etapa de pintura em seu processo produtivo. O plástico é produzido a partir do petróleo. Por sua vez as tintas utilizadas na pintura usam solventes, que são derivados do petróleo. Logo existe uma variável conjuntural - o preço do petróleo - que indiretamente afeta o custo de produção.

As variáveis da conjuntura, por sua vez, guardam entre si uma correlação. Evoluindo a partir do exemplo anterior: o preço do petróleo, no mercado doméstico, guarda relação com a taxa de câmbio e esta variável afeta diretamente os fluxos de caixa da empresa, pois ela possui concorrentes no mercado local e internacional. A solução do problema irá adquirir mais consistência se o processo de simulação incorporar as variáveis conjunturais, as variáveis setoriais e as variáveis específicas do problema, com a manutenção da correlação entre as mesmas.

4. O problema tipo

Com o intuito de ilustrar a metodologia exposta, será apresentado um exemplo onde o administrador do negócio tem uma opção a ser exercida a cada exercício. As variáveis deste pro-

blema correlacionam-se entre si e com duas outras variáveis conjunturais. Os parâmetros adotados são hipotéticos.

Considere-se assim um projeto de uma usina termoeletrica que vende energia através de contratos de fornecimento a preço fixo e adquire gás no regime denominado “*take or pay*”, isto é, o valor pago pelo fornecimento de gás é devido sempre, quer este seja utilizado ou não. Admita-se que sua capacidade é de 500 MWh. Os contratos de fornecimento de energia são renováveis a cada 5 anos, aos preços de mercado na época de seus vencimentos. Os recursos necessários para a construção da planta totalizam \$ 200 milhões, financiados por 20 anos, a uma taxa de 8% a.a., com amortização de 5% do principal a cada ano. Vida útil da planta: 25 anos. Prazo de depreciação: 10 anos. Nesta modalidade de negócio o administrador da usina depara-se com 2 alternativas para cumprir os contratos de fornecimento de energia:

- Opção 1: a planta gera a eletricidade vendida e incorre nos custos da operação. O gás adquirido é queimado no processo de geração;
- Opção 2: adquire-se energia no mercado *spot* para o cumprimento dos contratos de fornecimento e não se incorre em custo operacional de geração, embora a planta continue a arcar com o custo de aquisição do gás. De qualquer forma, o gás adquirido pode ser comercializado como GLP (gás liquefeito de petróleo). Nesta situação, a operação adquire, portanto, a feição de intermediação de energia.

A opção 2 será a escolhida caso o preço da energia *spot* esteja baixo. O preço da energia *spot* é fortemente influenciado pelo regime pluviométrico, pois quando o volume das chuvas é mais intenso cresce a oferta de energia proveniente das hidroelétricas, o que reduz o preço *spot*. Da mesma forma, os preços de energia se correlacionam com a atividade econômica. O Quadro 2 resume todas as incertezas do problema, bem como os parâmetros considerados.

Quadro 2 – Parâmetros do exemplo

Variáveis	Características consideradas	Valor no Ano 1	Parâmetros estatísticos	Correlações
Taxa de Crescimento do PIB		2%	$\mu_{PIB} = 0,0\%$ $\sigma_{PIB} = 20\%$	-
Regime pluviométrico (CH)	A previsão para determinado ano varia em torno de uma média.	2000 mm	$\mu_{ch} = 2000$ $\sigma_{ch} = 40\%$	-
Energia vendida (EV)	Contratos de fornecimento com duração de 5 anos.	\$ 45 / MWh	$\mu_{ev} = 0$ $\sigma_{ev} = 5\%$	PIB: +0,6 CH: -0,2 SP: 0,5
Energia adquirida no mercado <i>spot</i> (SP)	Considerado que a decisão de adquirir energia perdura por 1 ano.	\$ 15 / MWh	$\mu_{sp} = 0$ $\sigma_{sp} = 20\%$	Chuvas: -0,7 PIB: +0,3 EV: +0,5
Custo do gás	Regime “ <i>take or pay</i> ”. Fixo, ao longo da vida útil da planta.	\$ 16 / MWh	-	-
Preço de venda de GLP	Admitido preço fixo ao longo da vida útil da planta.	\$ 6 / MWh	-	-
Custo de geração	Perda de eficiência, por conta do envelhecimento da planta: 1% a.a..	\$ 10 / MWh	-	-

Quadro 3 – Opção entre gerar e adquirir energia

Opção	Geração de energia	Aquisição no mercado <i>spot</i>
Preço de venda	45,00	45,00
Custo do gás	-15,00	-15,00
Aquisição energia <i>spot</i>		-16,00
Venda GLP		6,00
Custo de geração	-10,00	
Custos Fixos	<u>-5,00</u>	<u>-5,00</u>
Margem de contribuição	15,00	15,00

O Quadro 3 mostra que, se as variáveis se mantivessem constantes, a opção entre gerar energia ou adquiri-la no mercado *spot* é indiferente. O Quadro 4 apresenta a matriz de correlação adotada, que resulta na matriz de covariância (Quadro 5). A matriz transposta é apresentada no Quadro 6.

Quadro 4 - Matriz de correlação adotada

	PIB	CH	EV	ES
PIB	1	0%	60%	30%
CH	0%	1	-20%	-70%
EV	60%	-20%	1	50%
ES	30%	-70%	50%	1

Quadro 5 - Matriz de covariância “S”

0,0100	0,0000	0,0030	0,0060
0,0000	0,0900	-0,0030	-0,0420
0,0030	-0,0030	0,0025	0,0050
0,0060	-0,0420	0,0050	0,0400

Quadro 6 - Matriz A transposta

0,10000	0,00000	0,00000	0,00000
0,00000	0,30000	0,00000	0,00000
0,03000	-0,01000	0,03873	0,00000
0,06000	-0,14000	0,04648	0,12100

O Quadro 7 apresenta um exemplo de simulação de cenário. Note-se que a trajetória de preço das principais variáveis e a decisão entre gerar ou adquirir energia, em função da matriz de custos mais conveniente (última linha da tabela). Note-se também que o preço da energia vendida é mantido constante durante 5 anos, emulando as condições contratuais. Vencido este período, considera-se que a planta irá comercializar sua energia por adicionais 5 anos, ao preço vigente naquele instante.

O Quadro 8 apresenta o modelo financeiro do problema, incluindo-se os efeitos das opções tomadas a cada ano, para um dado cenário. No exemplo, no Ano 1 optou-se pela geração, para o que não existe receita de venda de GLP ou tão pouco a despesa pela aquisição de energia.

Nos anos 2 e 3 a opção recaiu para a compra de energia spot, o que explica a existência de despesas com a compra de energia e a inexistência de custo de geração.

Foram realizados 3 blocos de simulação: o 1º considerou-se a opção entre geração e aquisição; o 2º desprezava a opção e adotou-se a geração como única alternativa; o 3º considerou a aquisição de energia como a única forma para cumprir os contratos de fornecimento. Em cada bloco simulou-se 2.000 cenários. O Quadro 9 apresenta os resultados das simulações.

Quadro 7 – Exemplo de um cenário

		Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6
Taxa de crescimento do PIB		2,00%	1,95%	2,08%	2,31%	2,10%	2,05%
Regime pluviométrico (mm)		2.000	1.900	2.260	1.301	2.831	1.731
Preços unitários	Cotação leilões de energia	45,00	42,84	41,20	46,62	42,14	42,93
	Preço da energia vendida(contratos5anos)	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	42,93
	Energia adquirida no mercado spot	16,00	15,25	13,56	19,94	16,30	16,94
	Custo do Gás (<i>Take or Pay</i>)	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
	Preço de venda GLP	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
	Custo de geração	10,00	10,10	10,20	10,30	10,41	10,51
Decisão de gerar ou adquirir energia	Custo de gerar (1)	20,00	19,90	19,80	19,70	19,59	17,42
	Custo de Comprar (2)	20,00	20,75	22,44	16,06	19,70	16,99
	Decisão (1ou2)	1	2	2	1	2	1

Quadro 8 – Exemplo de cálculo do fluxo de caixa para um determinado cenário

		Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6
Demonstração de resultados e fluxo de caixa	+ Receita pela energia fornecida	194.400	194.400	194.400	194.400	194.400	185.459
	+ Receita de venda de GLP	-	25.920	25.920	-	25.920	-
	= Receita Total	194.400	220.320	220.320	194.400	220.320	185.459
	+ Custo do gás (<i>Take or pay</i>)	(64.800)	(64.800)	(64.800)	(64.800)	(64.800)	(64.800)
	+ Custo da energia no mercado spot	-	(65.865)	(58.589)	-	(70.406)	-
	+ Custo de Geração	(43.200)	-	-	(44.509)	-	(45.404)
	= Custos e Despesas Totais	(108.000)	(130.665)	(123.389)	(109.309)	(135.206)	(110.204)
	= Margem Bruta	86.400	89.655	96.931	85.091	85.114	75.255
	- Despesas Financeiras	(16.000)	(15.200)	(14.400)	(13.600)	(12.800)	(12.000)
	- Depreciação	(20.000)	(20.000)	(20.000)	(20.000)	(20.000)	(20.000)
	= Lucro Antes do Imposto de Renda	50.400	54.455	62.531	51.491	52.314	43.255
	- Imposto de Renda (34%)	(17.136)	(18.515)	(21.260)	(17.507)	(17.787)	(14.707)
	= Lucro Líquido	33.264	35.940	41.270	33.984	34.527	28.548
	+ Depreciação	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
	+ Investimento	-	-	-	-	-	-
	= Fluxo de Caixa	53.264	55.940	61.270	53.984	54.527	48.548
Fluxo de Caixa descontado (WACC = 10% a.a.) = 522.272							

Quadro 9 – Resultados das simulações realizadas

Opção	Escolha do menor custo entre gerar ou comprar.	Sempre gerar a energia fornecida	Sempre comprar no mercado "spot"
Média	553.971.026	487.592.935	428.453.924
Mediana	549.143.585	481.388.174	476.413.720
Desvio padrão	85.382.707	91.010.524	233.042.543
Máximo	863.115.780	983.551.793	973.630.221
Mínimo	296.497.928	219.726.141	(1.906.152.256)

No Quadro 9 fica evidente que a existência de opcionalidade irá proporcionar um retorno maior ao investidor: o VPL médio quando a energia é sempre gerada foi 12% menor que o VPL médio da situação em que se opta por gerar ou adquirir energia; da mesma forma, quando sempre se adquire energia no mercado spot obtém-se um VPL médio 22,7% inferior ao obtido quando se tem a opção.

5. Considerações Finais

No problema tipo, ficou evidenciado que a existência de opções para o administrador pode resultar em maior valor da firma, já que ele pode escolher as alternativas que potencializam o resultado. O problema tipo mostrou também a aplicação da Decomposição de Cholesky em uma opção arco-íris, onde o valor da firma é função de mais de uma variável de incerteza.

O uso de modelos de simulação, associados à decomposição de Cholesky, fornece uma solução para apreçar as opções existentes em diferentes projetos e firmas, a medida que as incertezas podem ser tratadas individualmente e suas correlações são preservadas. Elimina-se assim o uso de *proxies* e de outras inferências que possam ser feitas e ainda incorpora-se ao problema uma série de outras condicionantes que usualmente seriam tratadas através de árvores binomiais.

Este trabalho recomenda uma série de desdobramentos, particularmente quanto a aperfeiçoamentos nos modelos de simulação e o seu uso simultâneo com técnicas de programação linear. Questões como reversão à média devem ser mais bem avaliadas para eventual incorporação ao modelo. Algoritmos baseados em aprendizado também podem ser úteis ao processo de simulação. Finalmente, o uso de "*stress analysis*", com fortes elevações dos parâmetros de volatilidades e instabilidade das correlações pode dar ao decisor um horizonte dos resultados para o projeto caso o cenário tornar-se adverso.

As opções reais devem levar à reflexão de seu vínculo com os intangíveis empresariais. A opção de desenvolver um novo projeto, negócio ou patente só será factível ao grupo econômico que for capaz de empreendê-lo com sucesso e para isto ele deve possuir os diferenciais necessários. Desta forma, se a opção de desenvolvimento de certos projetos requer a existência de um intangível, a teoria das opções poderá ser utilizada para avaliar o próprio valor deste valor invisível.

6. Referências Bibliográficas

COPELAND, T.; KOLLER, T.; MURRIN, J. **Avaliação de Empresas - Valuation:** Calculando e Gerenciando o valor das Empresas. São Paulo: Pearson Education, 2002.

COPELAND, T.; ANTIKAROV, V. **Opções Reais: Um novo paradigma para reinventar a avaliação de investimentos.** Rio de Janeiro: Campus, 2002.

COPELAND, T.E. e WESTON, J.F., SHASTRI, K. **Financial Theory and Corporate Policy** - 4ª ed. USA: Pearson Addison Wesley, 2005.

DAMODARAN, A. **Avaliação de Investimentos.** Rio de Janeiro: Qualimark, 2006.

DAMODARAN, A. **A Face Oculta da Avaliação.** São Paulo: Makron Books, 2002.

DEZEN, Francisco José Pinheiro. **Opções Reais Aplicadas à Escolha de Alternativa Tecnológica para o Desenvolvimento de Campos Marítimos de Petróleo.** Campinas, 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia Mecânica e Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas. Disponível em <<http://www.cepetro.unicamp.br/teses/mestrado/ano2001.htm#Francisco%20José%20Pinheiro%20Dezen>> Acesso em 14/10/2006.

HULL, John. **Introdução aos Mercados Futuros e de Opções.** São Paulo: BM&F, 1998.

JORION, PHILIPPE. **Value at Risk.** São Paulo, BM&F, 1998.

LONGERSTAEY, J.; SPENCER, M. **RiskmetricsTM - Technical Document.** New York: J.P. Morgan/Reuters, 1996.

AMARO DE MATOS, J. **Theoretical Foundations of Corporate Finance.** Princeton, NJ: Princeton University Press, 2001.

MONTEIRO, Regina Caspari. **Contribuições da Abordagem de Avaliação de Opções Reais em Ambientes Econômicos de Grande Volatilidade – Uma Ênfase no Cenário Latino Americano.** São Paulo, 2003. Dissertação (Mestrado em Controladoria e Contabilidade). Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade. Universidade de São Paulo. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/12/12136/tde-14112003-191931/>>. Acesso em 14/10/2006.

RIGOLON, Francisco José Zagari. **Opções Reais, Análise de Projetos e Financiamentos de Longo Prazo.** [S.l.]. Publicações BNDES, Junho de 1999. Disponível em <<http://www.bndes-exim.com/conhecimento/revista/rev1107.pdf>>. Acesso em 14/10/2006.

SANTOS, E. M.; PAMPLONA, E.O. **Teoria das opções reais: uma abordagem estratégica para análise de investimentos.** In XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Salvador: Outubro de 2001. Disponível em <<http://www.iem.efei.br/edson/download/Art2elieberenegep01.pdf>>. Acesso em 14/10/2006.

SANTOS, E. M.; PAMPLONA, E.O. **Teoria das Opções Reais: Aplicação em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D).** In 2o Encontro Brasileiro de Finanças, Ibmec, Rio de Janeiro, julho de 2002. Disponível em <<http://www.puc-rio.br/marco.ind/pdf/artelieber2oebf02.pdf>> Acesso em 14/10/2006.

SAUNDERS, Antony. **Medindo o Risco de Crédito.** Rio de Janeiro: Qualimark, 2000.