

2 Referencial Teórico

A análise do FCD (Fluxo de Caixa Descontado), tem sido alicerce da avaliação de ativos reais desde 1950 (Brigham, Gapenski e Ehrhardt, 2001). Basicamente o método consiste em descontar os fluxos de caixa livre a valor presente a uma taxa que leve em consideração o risco de mercado do projeto, e aplicar a regra do VPL (Valor Presente Líquido) na qual o projeto é aprovado se o VPL for maior que zero.

Um projeto em condições de incerteza e com investimento irreversível, quando apresenta flexibilidades gerenciais como a de expandir, abandonar ou adiar, o método das opções reais pode levar o projeto a valores substancialmente maiores que os determinados pela metodologia tradicional do FCD. (Brandão, 2002).

A teoria de opções reais é proposta de forma complementar e não substitutiva ao método do FCD. O valor da opção aumenta quando maior o grau de flexibilidade gerencial, e da mesma forma que nas opções financeiras, aumenta quanto maior for o nível de incerteza do valor do ativo.

2.1. A Teoria das Opções Reais

2.1.1. Opções Financeiras

Uma opção é um contrato que dá a seu detentor o direito de comprar (ou vender) um ativo a algum preço predeterminado dentro de um período de tempo especificado (Brigham, Gapenski e Ehrhardt, 2001).

Há dois tipos básicos de opções: (1) opção de compra (*call*) proporciona ao seu titular o direito de comprar um ativo em determinada data por um certo preço; (2) opção de venda (*put*) dá a seu titular o direito de vender um ativo em certa data por um determinado preço (Hull, 2006). Além disso, temos as opções americanas que podem ser exercidas a qualquer momento até a data de vencimento e as opções européias que só podem ser exercidas na data do vencimento.

Em opções financeiras teremos sempre duas pontas: a de quem lança a opção e recebe um prêmio e do titular da opção e tem o direito de exercer a opção. O preço de uma opção de compra aumenta quando o valor do ativo (S), o tempo até o vencimento (T), a volatilidade do preço do ativo (σ), e a taxa de juro do mercado livre de risco (r) aumentam, e reduzem quando o preço de exercício (K), e os dividendos esperados durante a vida da opção (D) aumentam. De outra forma a opção de venda aumenta quando o preço de exercício (K), o tempo até o vencimento (T), a volatilidade do preço do ativo (σ), e os dividendos esperados durante a vida da opção (D) aumentam, e reduzem quando o valor do ativo (S) e a taxa de juro do mercado livre de risco (r) aumentam.

As Opções Financeiras ganharam grande impulso a partir do trabalho de Black, Sholes e Merton (1973) sobre precificação de opções de ações. Os conceitos desenvolvidos pelo modelo para precificação de opções financeiras, serviram de base para o desenvolvimento da teoria para precificação de Ativos Reais.

2.1.2. Modelo Black-Sholes-Merton

As fórmulas da modelagem de Black-Sholes-Merton possibilitaram o cálculo dos preços de opções européias de ações sem dividendos e tiveram grande influência na forma precificar ativos financeiros. O pressuposto é que os preços das ações seguem um movimento aleatório na forma de Movimento Geométrico Browniano.

Segundo Hull (2006), para derivar a fórmula de precificação de opções do modelo Black-Sholes-Merton parte das seguintes hipóteses: (1) O comportamento do preço da ação corresponde ao modelo lognormal com retorno esperado μ e volatilidade do preço da ação σ constantes; (2) Não existem restrições à venda a descoberto de títulos e pode-se tomar qualquer quantia à taxa de juros corrente; (3) Não há custos transacionais nem impostos. Todos os títulos são perfeitamente divisíveis; (4) A ação não receberá dividendos durante a vida da opção; (5) Não há oportunidade de arbitragem sem risco; (6) A negociação com título é continua; (7) A taxa de juros livre de risco é constante e igual para todos os vencimentos.

As fórmulas do modelo para os preços de opções de compra e venda européias de ações sem dividendos são (Hull, 2006):

$$c = S N(d_1) - K e^{-rT} N(d_2)$$

$$p = K e^{-rT} N(-d_2) - S N(-d_1)$$

Onde:

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

c = preço da opção de compra européia;

p = preço da opção de venda européia;

$N(.)$ = função de probabilidade acumulada de uma variável normal padronizada;

S = preço da ação;

K = preço de exercício;

r = taxa livre de risco;

T = tempo para o vencimento da opção;

σ = volatilidade do preço da ação.

2.1.3. Processos Estocásticos

Conforme exposto por Hull (2006), qualquer variável onde pelo menos uma parcela do seu valor muda através do tempo de maneira incerta segue um processo estocástico. Os processos estocásticos podem ser classificados em tempo contínuo ou discreto. No processo estocástico em tempo contínuo a variável pode mudar a qualquer instante de tempo e assumir qualquer valor dentro de um intervalo, enquanto que no processo estocástico de tempo discreto a variável pode mudar em determinados pontos no tempo e somente é possível assumir certos valores discretos. Os ativos financeiros na prática seguem um processo estocástico discreto, porém a maioria dos modelos utilizados nos processo estocásticos são de tempo e variável contínua.

O Processo de Markov é um processo estocástico onde somente o valor atual da variável é relevante para prever a evolução futura do processo. Isso

significa que valores históricos ou mesmo o caminho através do qual a variável atingiu o seu valor atual são irrelevantes para a determinação do seu valor futuro. Desta forma, o valor atual da variável já reflete as informações passadas e as expectativas futuras das mesmas são incertas e deve ser expressa em termos de probabilidade de distribuição.

A taxa de retorno de ativos negociados dentro de um mercado eficiente, seguirá um processo de Markov conhecido como *random walk*, ou caminho aleatório, conforme demonstrado no teorema de Samuelson (1965).

O processo estocástico que tem média 0 (zero) e desvio padrão 1 (um) por ano segue um caso particular do processo de Markov conhecido como o processo de Wiener ou comumente conhecido Movimento Browniano. Este é um processo em tempo contínuo onde cada incremento depende dos incrementos anteriores e são normalmente distribuídos.

2.1.3.1. Movimento Geométrico Browniano

Um dos modelos mais usados para descrição do comportamento do preço da ação onde o retorno e a volatilidade proporcionais são constantes, é conhecido como Movimento Geométrico Browniano (MGB) ou modelo Multiplicativo, que segue o processo de Wiener generalizado.

O movimento é dividido em duas parcelas sendo que a primeira segue um crescimento com taxa μ , proporcional ao preço do ativo dado um intervalo de tempo, e a segunda um crescimento aleatório proporcional ao preço do ativo com distribuição normal e desvio padrão σ , conforme descrito na equação abaixo:

$$dS = \mu S dt + \sigma S dz$$

Onde, μ é a taxa de retorno esperada da ação, S o preço da ação, dt é a variação no tempo, σ o desvio-padrão e $dz = \epsilon \sqrt{dt}$, $\epsilon \sim N(0,1)$.

Definidas as variáveis do Movimento Geométrico Browniano, pode-se simular os caminhos que os preços das ações seguirão por meio da simulação de Monte Carlo.

2.1.4. Modelo Binomial

Os modelos contínuos podem ser simplificados com o uso de métodos discretos em que quanto menor os períodos de tempo utilizados, maior a convergência para os modelos contínuos. Cox, Ross e Rubinstein (1979) desenvolveram um método discreto que permite desenvolver uma aproximação para o movimento geométrico browniano assumindo a premissa de não há oportunidade de arbitragens.

Em termos práticos, para o preço inicial S de uma ação, durante cada intervalo de tempo o preço pode subir u vezes ou descer d vezes seu valor inicial formando uma árvore binomial representando diversas trajetórias que podem ser seguidas durante a vida útil da opção. A cada movimento para cima ou para baixo, segue uma probabilidade de oscilação ascendente p ou o preço segue uma probabilidade de oscilação descendente $1-p$.

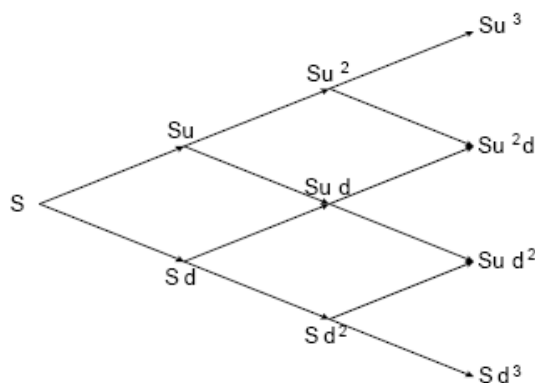


Figura 1 – Árvore Binomial Modelo Cox, Ross e Rubinstein

A cada intervalo de tempo, temos uma oscilação binomial do preço da ação, sendo que as possíveis trajetórias assumem 2^n preços finais da ação, onde n é o número de intervalos.

Os valores de u e d são determinados a partir da volatilidade do preço da ação, σ , conforme abaixo:

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad e \quad d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}}$$

A probabilidade p é dada por:

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

onde r é a taxa livre de risco.

A avaliação neutra a risco é aplicada quando as opções são avaliadas pelos modelos binomiais. O princípio básico é que os indivíduos sejam indiferentes ao risco e desta forma o retorno esperado dos ativos é a taxa livre de risco e os fluxos de caixa futuros podem ser avaliados mediante o desconto de seus valores esperados pela taxa livre de risco (Hull, 2006).

O modelo binomial apresenta algumas vantagens em relação ao modelo tradicional de Black-Sholes-Merton, pois serve para modelar tanto opções européias quanto americanas, permite considerar o pagamento de dividendos, pode ser usado para opções compostas e suporta múltiplas fontes de incertezas.

2.1.4.1. Portifólio Replicante e Probabilidade Neutra a Risco

Ao avaliar um projeto através de árvores de decisão, depois de incorporada as flexibilidades gerenciais, temos uma alteração no risco do projeto em relação ao seu fluxo de caixa original sem flexibilidade. Desta forma, o valor líquido do projeto com opções reais descontando os fluxos de caixa esperados a custo médio ponderado de capital, produz resultados impróprios (Brandão, Dyer e Hahn, 2005), pois devemos utilizar uma taxa de desconto ajustada ao risco.

Uma abordagem proposta por Copeland e Antikarov (2001) é o do portfólio replicante, que consiste na criação de um portfólio de títulos cujos valores tenham os mesmos retornos do projeto em análise, baseando-se no princípio da não arbitragem. A dificuldade de uso desta metodologia é que se tratando de ativos reais, nem sempre é possível identificar um portfólio replicante para o projeto. Alternativamente os autores propõem que se adote o valor presente do próprio projeto, sem flexibilidade, como ativo subjacente sujeito a risco, considerando que é a melhor estimativa não tendenciosa do valor de mercado do projeto. A esta hipótese os autores deram o nome de Marketed Asset Disclaimer (MAD).

Uma dificuldade da abordagem do portfólio replicante é a aplicação do método em cada nó da árvore principalmente com projetos complexos e com

vários períodos. Uma outra abordagem alternativa é o uso da probabilidade neutra a risco que é matematicamente equivalente a abordagem do portfólio replicante.

O método é baseado no princípio da não arbitragem onde o preço dos ativos são relacionados à impossibilidade de obter lucro sem ocorrer em risco. Dessa forma, sempre existirá uma distribuição neutra a risco em relação a qual o retorno esperado de qualquer ativo é a taxa livre de risco (Brandão, 2002).

A abordagem por probabilidade neutra a risco é determinada a partir da relação existente entre as probabilidades objetivas, taxa de desconto, valor presente e os fluxos de caixa do projeto. Basicamente é calculada matematicamente uma probabilidade que descontado os fluxos de caixa a taxa livre de risco em que obtemos o mesmo valor presente. Desta forma a probabilidade neutra a risco não são probabilidades objetivas, ou seja, não refletem as chances de um fluxo particular ocorrer.

O uso de probabilidades neutras ao risco em árvores binomiais é uma alternativa prática para a resolução de problemas de valoração de projetos de opções reais.

2.1.5. Opções Reais

A teoria das opções reais foi desenvolvida com a mesma fundamentação teórica aplicada em avaliação de ativos financeiros. A metodologia utiliza conceitos de valoração de projetos com flexibilidades gerenciais não capturadas pelo método tradicional de análise com o FCD. A opção real é a flexibilidade disponível para o gestor para tomada de decisão (Dixit e Pindyck, 1994). Um projeto para ser avaliado por opções reais, além da flexibilidade gerencial, é necessário que exista incerteza sobre os fluxos de caixa que serão gerados e que pelo menos parte do investimento seja irreversível.

Os ativos reais se diferenciam dos ativos financeiros, pois os ativos reais geralmente têm liquidez mais baixa, tem maior custo de transação, são indivisíveis, os prazos são maiores, dentre outras. Assim como nas opções financeiras, o valor das opções reais dependem de seis variáveis básicas conforme tabela comparativa 1:

Opções Financeiras	Opções Reais
Valor da Ação (S)	Valor que a opção refletiu no valor presente do projeto.
Preço de Exercício (K)	Valor Presente do Investimento (<i>Call</i>) ou o Montante Recebido (<i>Put</i>)
Tempo de Expiração (T)	Tempo de Expiração da opção
Volatilidade do preço da ação (σ)	Volatilidade do projeto
Taxa livre de risco (r)	Taxa livre de risco
Dividendos esperados	Fluxo de Caixa do Projeto

Tabela 1 – Opções Financeiras x Opções Reais

As opções reais também podem ser divididas nas seguintes classes: (1) Opções de Compra (*call*): captura os benefícios de aumento do valor do projeto e o exercício envolve investir capital quando a expectativa de retorno aumenta; (2) Opções de Venda (*put*): proteção contra perdas de redução do valor do projeto e o exercício é efetuado quando as expectativas de retorno diminuem; (3) Opções Compostas: projeto com múltiplas opções e o exercício é baseado na maximização de valor; e (4) Opções Arco-Íris: envolve múltiplas fontes de incertezas, sendo comum alguns projetos possuírem opções compostas e arco-íris.

Além da divisão em classes, podemos classificar as opções reais de acordo com o tipo, segue abaixo a descrição de alguns tipos de opções:

Opções tipo Call:

- Opção de Adiar o Investimento: a empresa tem a opção de investimento imediato ou adiar a decisão. O valor desta opção está relacionado ao direito de aguardar novas condições para tomada de decisão.
- Opção de Expandir um Projeto existente: possibilidade de expansão de um projeto se as condições forem favoráveis.
- Opção de Retomar um Projeto: alguns projetos têm a flexibilidade de recomeçar após um período de suspensão.
- Opção de Prorrogação: efetua-se um pagamento de preço de exercício contra a opção de poder prorrogar o tempo do projeto.

Opções tipo Put:

- Opção de Abandonar o Projeto: presente na maioria dos projetos, a opção de abandono pode ocorrer em troca de eliminação dos custos fixos e o recebimento de um valor residual ou valor de abandono. Neste caso o valor do projeto é menor que o valor de abandono.

- Opção de Contrair Operações: reduz o tamanho da operação para reduzir perdas futuras em condições adversas.
- Opção de Suspende Temporariamente: elimina temporariamente as perdas e aguarda condições favoráveis.

Um outro tipo é conhecido como Opções de Alternância que está relacionado a projetos quem suportam opções tanto do tipo Call quanto do tipo Put. Um exemplo comum seria a alternância entre a expansão (*call*) das atividades em condições mercadológicas favoráveis e a contração (*put*) das operações em momentos de conjuntura desfavorável.

2.2. Processo de Avaliação de Opções Reais

O processo de avaliação de opções reais é descrito de forma metodológica por Copeland e Antikarov (2001, capítulo 8), na qual segue um processo de avaliação de quatro passos. As etapas da modelagem que descreveremos a seguir basicamente seguem este processo com as considerações propostas por Brandão, Dyer e Hahn (2005).

Conforme já descrevemos anteriormente a avaliação por opções reais não é um método substitutivo ao método FCD, desta forma a primeira etapa do processo é modelar o ativo básico com as ferramentas tradicionais do FCD, utilizando o WACC com taxa de desconto ou qualquer outra taxa que represente o risco do projeto. Nesta etapa é considerado nenhum fluxo de caixa resultante de flexibilidade gerencial que o projeto possa apresentar.

A segunda etapa do processo é modelagem das incertezas do projeto e seus respectivos processos estocásticos. Identificam-se as variáveis do projeto cujas incertezas afetam de forma significativa os fluxos de caixa, determina-se o processo estocástico adequado de cada variável, e estimam-se os parâmetros necessários para a modelagem. Estes parâmetros podem ser obtidos por meio de dados históricos, dados de mercado, estimativas de peritos no assunto.

Após a modelagem das incertezas de cada variável, utiliza-se a simulação de Monte Carlo para gerar a distribuição dos retornos do projeto e encontrar sua volatilidade.

Cada interação da simulação fornece um conjunto de fluxo de caixa, a partir dos quais se determina o valor pré-dividendo V_1 do projeto ao final do primeiro período e desta forma calcula-se o valor da taxa de retorno do projeto v como:

$$v = \ln (V_1 / V_0),$$

onde, V_1 é o valor pré-dividendo ao final do primeiro ano do projeto com os processos estocásticos e V_0 o valor presente do projeto determinístico. A simulação de Monte Carlo gera o retorno e o desvio-padrão de v , e como o projeto seguirá um MGB, a taxa de desconto do projeto deve ser:

$$\mu = v + \sigma^2/2$$

onde, μ é a taxa de retorno esperada e σ a volatilidade do projeto.

Nesta etapa, sugere-se que o cálculo da volatilidade do projeto siga a modelagem proposta por Brandão, Dyer e Hahn (2005) devido ao argumento que a modelagem proposta por Copeland e Antikarov (2001) superestima a volatilidade do projeto e conseqüentemente o valor final das Opções Reais. Segundo Brandão, Dyer e Hahn (2005), uma fórmula mais adequada é que as incertezas do projeto estejam refletidas somente no primeiro período, ou seja, apenas o fluxo de caixa do primeiro ano seja estocástico, sendo os períodos subseqüentes condicionados ao valor realizado no período anterior.

A terceira etapa é a modelagem do projeto pelo método binomial com a utilização de softwares de árvores de decisão e sugere-se a utilização das probabilidades neutras a risco e a taxa livre de risco para descontar os fluxos de caixa resultantes. Testa-se a consistência do modelo verificando se a modelagem binomial básica coincide com o método do FCD e inserem-se as opções identificadas nos nós de decisão correspondentes. Na quarta e última etapa avaliam-se os resultados do projeto final com opções reais.