

2 Revisão Bibliográfica

Para propiciar o desenvolvimento de um modelo que seja capaz de valorar as opções presentes em um projeto que alia P&D, sinergias e investimento em uma unidade produtiva é necessário conhecer as teorias que cercam o assunto. Para tanto, esta revisão da literatura passa por aspectos da teoria tradicional de avaliação de projetos, apresenta alguns modelos de valoração de opções financeiras e define conceitos ligados às opções reais. No tocante aos projetos de P&D, são introduzidas algumas notas sobre gestão e valor, com a discussão conceitual de modelos propostos por outros autores.

2.1 Teoria Tradicional de Avaliação de Projetos: Valor Presente Líquido

A teoria tradicional de avaliação de projetos através da determinação do valor presente líquido se ancora em três bases: a previsão dos fluxos de caixa gerados, a determinação do custo de oportunidade de capital – que reflete o valor do dinheiro ao longo do tempo e o risco do projeto –, e, por fim, a utilização deste custo para levar os fluxos de caixa para um ponto no tempo. A soma dos valores presentes dos fluxos de caixa resulta no valor presente líquido do projeto. O critério para a aprovação de um projeto na análise tradicional é ter o VPL maior que zero. Projetos com VPL positivo aumentam o valor da firma. Se o projeto tem VPL igual a zero, é indiferente investir ou não. Se o VPL é menor que zero, o projeto é rejeitado (Brealey et al., 2006). Formalmente, o VPL na data zero pode ser expresso como:

$$VPL_0 = \sum_{t=0}^n \frac{E[FC_t]}{(1 + \mu)^t} \quad (1)$$

Onde:

$E[FC_t]$ é o valor esperado dos fluxos de caixa em cada instante de tempo t ;

μ é a taxa de desconto do projeto; e

t é um instante qualquer na vida do projeto.

Em particular sobre a taxa de desconto – também chamada de taxa mínima de atratividade (TMA) – é essencial que ela traduza tanto o valor do dinheiro no tempo – um dólar hoje vale mais que um dólar amanhã – quanto o risco do projeto – um fluxo de caixa seguro vale mais que um fluxo de caixa arriscado no mesmo espaço de tempo (Brealey et al. 2006). Ela também deve considerar o princípio que diz que investidores requerem retornos maiores para investimentos mais arriscados. O ajuste do retorno ao risco, para a determinação da taxa de desconto apropriada, pode ser feito a partir do Modelo de Apreçamento de Ativos de Capital (CAPM, na sigla em inglês). O cálculo do custo do capital próprio se dá através da fórmula (Brigham e Ehrhardt, 2006):

$$k_e = k_{RF} + (k_M - k_{RF}) \beta_i \quad (2)$$

Onde:

k_e é o valor esperado taxa de retorno do capital próprio ajustado ao risco do ativo ou projeto;

k_{RF} é a taxa livre de risco;

k_M é a taxa de retorno esperada do mercado;

$(k_M - k_{RF})$ é o prêmio esperado sobre o risco de mercado; e

β_i é a sensibilidade do retorno do ativo a variações do retorno no mercado, medido pela covariância do retorno do ativo com o retorno do portfólio de mercado, normalizada pela variância do retorno do mercado.

O β utilizado para o cálculo do k_e deve refletir a estrutura de capital do empreendimento, que, muitas vezes, é parcialmente financiado com dívida. Uma maneira de realizar este ajuste é encontrar o β_u (beta desalavancado do setor, obtido em publicações de consultorias especializadas) e calcular o β_l , que vem a ser o beta alavancado conforme o custo da dívida contraída para realização do empreendimento:

$$\beta_l = \beta_u \times \left(1 + (1 - I) \times \frac{D}{E} \right) \quad (3)$$

Onde:

I é a alíquota de imposto de renda;

D é a fração de dívida na estrutura de capital; e

E é a fração de capital próprio, ou *equity*, na estrutura de capital.

Em caso de obtenção de dívida para financiar o projeto, é necessário considerar seu custo (k_d) descontado da alíquota de imposto de renda para finalmente compor a TMA do projeto:

$$TMA = D k_d (1 - I) + E k_e \quad (4)$$

Segundo Brealey et al. (2006), o VPL só será positivo se no projeto houver uma vantagem competitiva sustentável em relação a seus competidores. Talvez possa ser dito que obter um VPL positivo seria equivalente a ter uma vantagem em relação a projetos semelhantes em termos de risco e retorno. Seguindo este raciocínio, o $VPL > 0$ só seria gerado por um desequilíbrio e, portanto, seria uma oportunidade temporária em um ambiente competitivo.

Sempre que são realizadas avaliações de investimento, estas levam em conta expectativas de retornos futuros. O que não fica explícito, ou sequer considerado na metodologia tradicional, é que estes retornos não necessariamente ocorrerão, ou seja: existem incertezas. Segundo Dixit & Pindyck (1994), as três características fundamentais dos investimentos – irreversibilidade, incerteza e temporalidade, ou *timing* – interagem para determinar a decisão ótima para os investidores. Eles consideram que a teoria tradicional da avaliação de investimentos falha ao não reconhecer a importância destas interações e suas implicações qualitativas e quantitativas. Esta visão é corroborada por Copeland e Antikarov (2002) e Micalizzi e Trigeorgis (1999), que consideram que a incerteza é importante para a avaliação de um investimento, pois estabelece a ligação entre aquisição de informações ao longo do tempo e o valor do projeto, o que não é capturado em nenhum grau em uma análise a partir do VPL do projeto. O VPL

trabalha com o valor esperado dos fluxos de caixa e, assim, não considera explicitamente que o agente racional pode fazer face a cenários diferentes do $E[FC]$, e que pode agir (exercer opções) para alavancar o valor nos cenários favoráveis e reduzir perdas nos cenários desfavoráveis.

2.2 Opções Financeiras

Quando um ativo tem seu valor atrelado a qualquer outra variável, como um índice de inflação, por exemplo, este é denominado um ativo contingente. Os ativos derivativos são ativos contingentes cujo valor depende do valor de outros ativos, os chamados ativos básicos ou subjacentes (*underlying assets*). O ativo básico pode ser uma *commodity* ou um título financeiro, por exemplo. Entre os ativos derivativos estão os contratos a termo e futuros, *swaps* e opções financeiras. Uma opção financeira é um contrato que dá o direito de comprar ou vender um ativo básico por certo valor (preço de exercício) em uma data determinada (data de expiração). O valor da opção é atrelado ao valor do título subjacente, que, neste caso, é um ativo financeiro, e ela será exercida a depender do preço futuro do ativo.

As opções são classificadas como europeias, onde o exercício só é permitido na data de expiração, e americanas, que permitem o exercício em qualquer momento até a data de expiração (Dias, 2012). As opções mais comuns são as opções de compra (*call options*), que dão o direito de compra do ativo básico pelo preço de exercício, e as opções de venda (*put options*), que dão o direito de venda do ativo básico pelo preço de exercício. A opção de venda pode ser encarada como um seguro, já que ela permite que as perdas do investidor sejam limitadas (Dias, 2012).

O comprador de uma opção paga um preço para ter esse direito (de compra ou de venda do ativo básico, por exemplo). Quando uma opção é exercida, ocorre a troca de ativos entre dois investidores. Se a opção for de compra, o lançador da opção entrega o ativo básico ao investidor que comprou a opção (Marques, 2007). Se para uma ação não há pagamento de dividendos ou se o preço de exercício é ajustado pelo valor dos dividendos pagos, o exercício antecipado (em caso de

opção americana), não será vantajoso. Isso porque em vez de exercer uma opção sempre é possível vendê-la. O valor de uma opção é o valor do exercício imediato mais o valor da possibilidade de exercício entre a data de exercício antecipado e o vencimento (Dias, 2012). Além disso, uma opção de compra europeia não poderá valer mais que uma opção de compra americana com os mesmos parâmetros básicos de vencimento e valor de exercício porque a opção americana possui um direito a mais, que a torna mais valiosa: o de exercício antecipado (Dias, 2012).

A dinâmica da negociação de uma opção determina que o vendedor da opção receba um prêmio na sua emissão, e fique com o risco de perdas posteriores. O lucro do vendedor é o inverso do lucro do comprador, conforme pode ser observado na Figura 2.1, que apresenta os quatro *payoffs* possíveis, sendo S o valor à vista do ativo básico e X o preço de exercício das opções. O *payoff* é sempre o máximo entre exercer (e receber a diferença entre o valor do ativo e o preço de exercício, numa opção de compra) e zero.

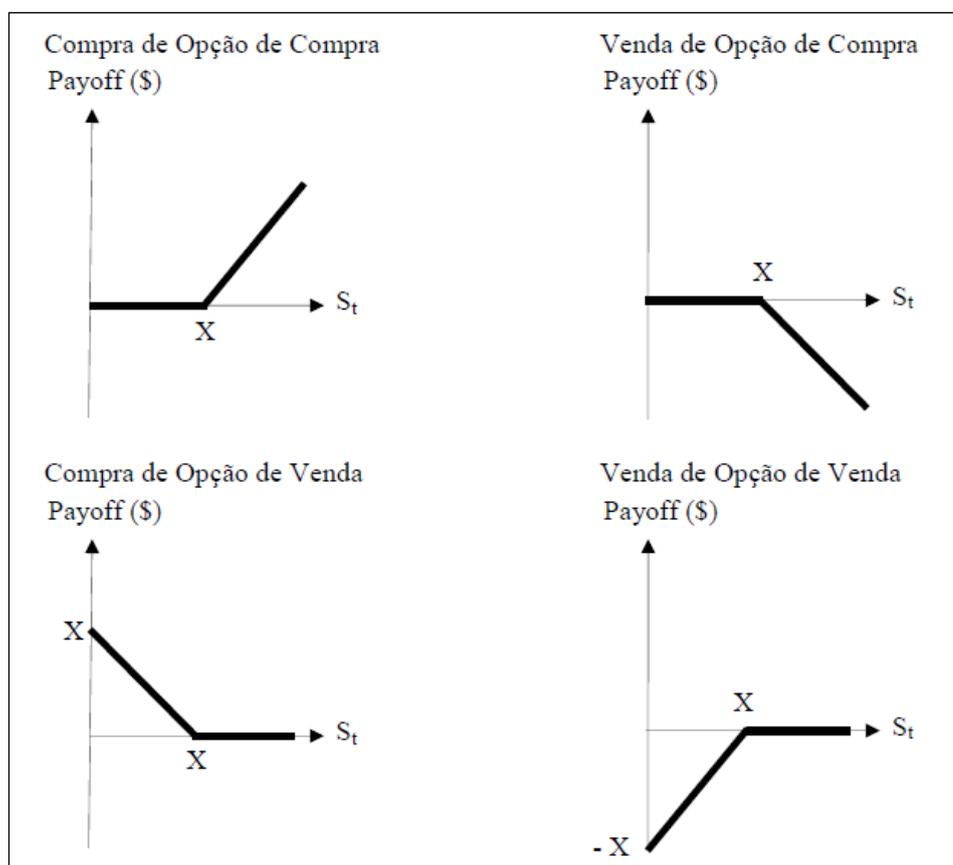


Figura 2.1: Comportamento dos diferentes tipos de opções no vencimento. (Fonte: Minardi, 2004 p. 27)

No vencimento, o valor da opção irá depender apenas do preço de mercado do ativo básico e do preço de exercício da opção. Porém, até a data do vencimento, seu valor varia com seis parâmetros básicos: preço do ativo corrente (S); preço de exercício (X); prazo de vencimento da opção (T); volatilidade do preço do ativo (σ); taxa de retorno livre de risco (k_{RF}); e dividendos esperados durante a vida da opção (d). De acordo com Minardi (2004), único fator que afeta no mesmo sentido tanto o valor da opção de compra quanto o valor da opção de venda é a volatilidade do ativo-objeto. A Tabela 2.1 apresenta um resumo sobre o efeito dos parâmetros básicos no valor das opções de compra e venda.

Tabela 2.1: Efeito da variação dos parâmetros básicos nas opções de compra e venda.

Aumento do parâmetro	Efeito no valor da opção	
	Compra	Venda
Preço corrente do ativo básico (S)	aumenta	diminui
Preço de exercício (X)	diminui	aumenta
Taxa de juros livre de risco (k_{RF})	aumenta	diminui
Dividendos (d)	diminui	aumenta
Volatilidade do ativo básico (σ)	aumenta	aumenta
Prazo até o vencimento (T)	aumenta	indefinido

Fonte: Minardi, 2004.

As opções financeiras existem porque existe a incerteza, que é justamente o que torna uma opção valiosa. Isto significa que, caso das opções, o risco, que se traduz pela incerteza, tem um valor positivo. Este valor pode ser obtido através de diferentes metodologias. No caso da opção de compra europeia, aprova-se que o seu valor é igual ao da opção de compra americana, contanto que esta não pague dividendos antes do vencimento. Através da fórmula de paridade *put-call* pode-se encontrar o valor da opção de venda a partir do valor da opção compra da opção (Dias, 2012). Poder-se-ia pensar que o método tradicional de avaliação a partir do valor presente líquido seria adequado para avaliar opções financeiras. Porém, Minardi (2004) descarta esta possibilidade baseada em três razões principais: na dificuldade de previsão dos fluxos de caixa de opções, na impossibilidade de encontrar a taxa de desconto correta, tendo em vista que o risco da opção varia ao longo do tempo e, finalmente no fato de que as opções são frequentemente mais arriscadas que a ação adjacente. As questões relacionadas às variações da taxa de desconto da opção podem ser contornadas pela construção de uma carteira livre de

risco. Se uma carteira oferece o mesmo pagamento em qualquer situação, essa carteira é considerada livre de risco e seus fluxos de caixa devem ser descontados pela taxa livre de risco para evitar operações de arbitragem (Elton et al., 2004). A diferença entre as formas de avaliação de opções reside nas hipóteses de como o preço do ativo básico varia ao longo do tempo, sendo que as principais, para o entendimento deste estudo, são as premissas de mercado completo e de dinâmica estocástica regida pelo movimento geométrico Browniano (MGB) embutidos na fórmula de Black & Scholes e no modelo binomial.

O modelo de Black & Scholes, adicionado da contribuição de Merton (que considera o pagamento de dividendos) foi o primeiro a determinar de maneira explícita uma solução fechada adequada para o preço de equilíbrio de uma opção de compra. A equação sem dividendos é a seguinte (Copeland e Antikarov, 2002):

$$C_0 = S_0 N(d_1) - X_e^{-k_{RF}T} N(d_2) \quad (5)$$

Onde:

C_0 é o valor da opção de compra europeia;

S_0 é o preço do ativo adjacente;

$N(d_1)$ é a probabilidade normal acumulada de uma unidade normal da variável d_1 ;

X_e é o preço de exercício;

T é o prazo de vencimento;

k_{RF} é a taxa livre de risco;

$N(d_2)$ é a probabilidade normal acumulada de uma unidade normal da variável d_2 ;

$$d_1 = \frac{\ln(S/X) + k_{RF}T}{\sigma\sqrt{T}} + \frac{1}{2}\sigma\sqrt{T}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

Segundo Copeland e Antikarov (2002), o modelo pressupõe sete hipóteses:

1. A opção só pode ser exercida no vencimento (europeia);
2. Só há uma fonte de incertezas, o ativo S (a taxa de juros é constante);
3. A opção se refere a apenas um ativo subjacente sujeito a risco;
4. O ativo subjacente não paga dividendos;
5. O preço de mercado e o processo estocástico seguido pelo ativo subjacente são observáveis ou passíveis de estimação;
6. A variância do retorno do ativo subjacente é constante ao longo do tempo;
7. O preço de exercício é conhecido e constante.

Este modelo é uma boa aproximação para opções financeiras, sendo, porém, limitado para a avaliação de opções reais, conforme será visto na próxima seção. Outro método muito utilizado na avaliação de opções é o método binomial. A modelagem em tempo discreto através de estrutura binomial é considerada como um método mais simples de avaliação de opções. Foi desenvolvida por Cox, Ross & Rubinstein e apresentada em um artigo de 1979. O valor do ativo (S_0) se modifica ao longo do tempo, em períodos discretos, como uma variável aleatória. Ele pode assumir um valor superior, uS_0 , com probabilidade p , ou um valor inferior, dS_0 , com probabilidade $(1-p)$. A Figura 2.2 apresenta uma visão dos valores possíveis para o ativo. A formulação deste método será apresentada para dois períodos, de acordo com a visão de Elton et al (2004), apresentada a partir da Tabela 2.2.

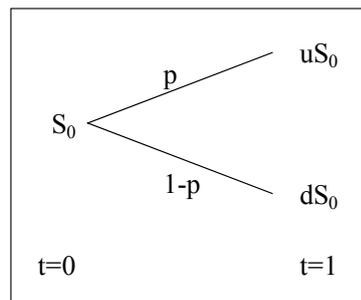


Figura 2.2: Evolução do valor do ativo básico em um passo.

Tabela 2.2: Fluxos de uma carteira livre de risco.

	Fluxo em t = 0	Fluxo em t = 1	
Preço do ativo básico	S_0	$S_1 = uS_0$	$S_1 = dS_0$
Lançar uma opção de compra	C	$-C_u$	$-C_d$
Comprar uma ação	$-\alpha S_0$	$\alpha u S_0$	$\alpha d S_0$
Empréstimo	$\frac{-C_d + \alpha d S_0}{1 + k_{RF}}$	$C_u - \alpha u S_0$	$C_d - \alpha d S_0$
Total	$C \alpha d S_0 - \frac{C_d - \alpha d S_0}{1 + k_{RF}}$	0	0

Fonte: Elton et al, 2004.

Onde:

S_t é o preço da ação-objeto em t;

u é o fator de variação do valor a ação para cima;

d é fator de variação do valor da ação para baixo;

C é o preço da opção;

C_u é o valor da opção caso a ação suba, ou o $\text{Máx}[uS_0 - E; 0]$;

C_d é valor da opção caso a ação caia, ou o $\text{Máx}[dS_0 - E; 0]$;

α é o *delta-hedge* ou o número de ações compradas por opção de compra para fazer *hedge* perfeito (tornar a carteira sem risco);

k_{RF} é a taxa de juros sem risco.

Considerando que esta carteira constitua um *hedge* perfeito, para não haver arbitragem, os fluxos dos dois períodos devem ser iguais:

$$C_u - \alpha u S_0 = C_d - \alpha d S_0 \quad (6)$$

Isolando α , resulta em:

$$\alpha = \frac{C_u - C_d}{S_0(u - d)} \quad (7)$$

Por outro lado, o valor da opção de compra também pode ser escrito como o valor das ações na carteira equivalente subtraído do valor emprestado. Como o valor total em $t=0$ também é 0, é possível definir que:

$$C - \alpha dS_0 - \frac{C_d - \alpha dS_0}{1 + k_{RF}} = 0 \quad (8)$$

Substituindo o valor de α na equação acima é possível obter o valor da opção de compra:

$$C = \frac{C_u P + C_d (1 - P)}{1 + k_{RF}} \quad (9)$$

Onde:

$P = \frac{1 + k_{RF} - d}{u - d}$, é a probabilidade artificial neutra ao risco de subida da ação e $(1 - P)$ é a probabilidade de artificial de descida. Estas probabilidades não são reais e dependem somente de r , u e d . Por conta disso, são conhecidas também como probabilidades de martingale ou medida equivalente de martingale ou ainda probabilidades neutras ao risco.

Graficamente, é fácil visualizar a generalização do método para mais de um período. A Figura 2.3 mostra uma estrutura binomial recombinante e sua árvore de decisão correspondente. Na figura, q e $(1 - q)$ tem o mesmo significado que P e $(1 - P)$ apresentados anteriormente.

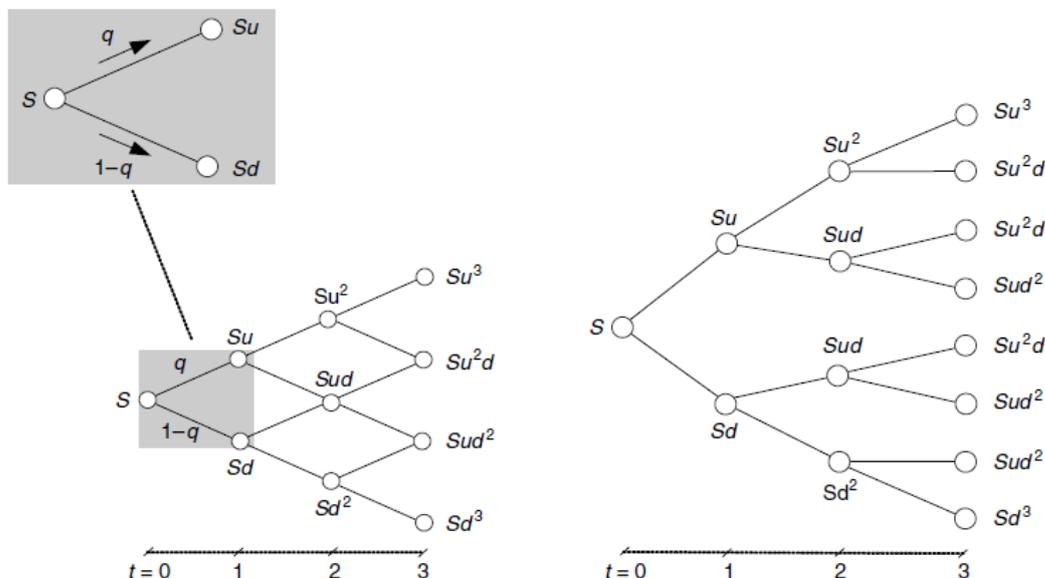


Figura 2.3: Generalização do método binomial para três períodos.
(Fonte: Brandão, Dyer e Hahn, 2005).

Segundo Copeland e Antikarov (2002), o modelo binomial aproxima o modelo de Black & Scholes como limite, quando os períodos de tempo podem ser divididos em um grande número de subperíodos de curta duração com pequenas variações de preço. Para tanto, deve-se assumir que o ativo básico segue um Movimento Geométrico Browniano (MGB) com taxa de crescimento α e volatilidade σ . Desta forma, para que no limite $\Delta t \rightarrow 0$ os preços do ativo tendam para o MGB, prova-se que os valores de u e d devem ser:

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad (10)$$

$$d = \frac{1}{u} \quad (11)$$

Onde Δt é o intervalo de tempo entre dois passos subsequentes.

2.3 Opções Reais

Segundo Dias (2011),

opção real (OR) é o direito, mas não a obrigação, que um agente possui quando toma decisões sobre um ativo real. O agente pode ser um gerente, um consumidor, um planejador social ou qualquer tomador de decisão. O ativo real pode ser uma oportunidade de

investir num projeto ou um ativo já existente tal como uma fábrica. OR enfatiza o valor da flexibilidade, que é mais valioso sob condições de incerteza. OR pode ser vista como um problema de otimização sob incerteza: maximiza o valor do ativo real através do exercício ótimo das opções relevantes sujeito às incertezas e as restrições físicas, legais e outras.

O termo “opções reais” (“*real options*”) foi estabelecido por Myers (1977), que reportava às oportunidades de crescimento disponíveis para as firmas, usando os conceitos de opções financeiras de Black, Scholes e Merton. O primeiro modelo matemático foi proposto em 1979 (Tourinho, 1979), mas os primeiros livros-texto de OR apareceram apenas nos anos 1990: Dixit & Pindyck (1994) e Trigeorgis (1996). Segundo Dias (2011), atualmente já foram publicados mais de 50 livros de OR (livros-texto e livros editados), sendo que é usual que livros de valoração (“*valuation*”) e de finanças corporativas tenham um ou mais capítulos de OR, assim como livros de derivativos.

Existem grandes semelhanças entre as opções reais e as financeiras, previamente apresentadas, o que dá indícios das analogias entre os métodos de cálculo dos dois tipos de opção. Neste sentido, por exemplo, Leslie e Michaels (1997) e Dias (2012) apontam paralelos entre o valor de uma opção de compra americana e o valor de um projeto de investimento. O preço das ações (S) pode ser visto como o valor presente (VP) do projeto sem flexibilidade; o preço de exercício (X) equivale ao VP do custo de investimento; a incerteza (σ) pode ser vista como a volatilidade do projeto, e é resultado da imprevisibilidade dos fluxos de caixa relacionados ao ativo, o tempo de expiração (T) nas opções reais é o período no qual a oportunidade de investimento é válida; os dividendos (δ) equivalem às perdas de valor crescentes ocorridas durante a duração da opção devido à concorrência; e a taxa de retorno livre de risco (k_{RF} , ou, simplesmente, r) é o retorno de um título livre de risco com o mesmo tempo de expiração da opção.

Apesar das semelhanças, devem ser destacadas as distinções entre opções financeiras e reais. Copeland e Antikarov (2002) dissertam sobre este tópico, e duas das características ressaltadas são de interesse deste estudo. Primeiro, a opção financeira tem como ativo básico um valor mobiliário (ativo negociado no mercado financeiro), enquanto que a opção real tem por base algo tangível, como

por exemplo, um projeto. Isto facilita a estimativa dos parâmetros da primeira. Segundo, a maioria das opções financeiras é composta por apostas secundárias. Isto significa que o emissor da opção não necessariamente é o dono da ação que compõe o ativo básico, ou seja, ele não tem influência sobre o que a empresa faz e sobre o preço de suas ações. Por outro lado, a opção real é gerenciada pelos mesmos agentes que detêm o ativo subjacente, tendo, portanto, poder sobre a mudança do seu valor.

Na Figura 2.4 é possível observar a classificação das opções reais na proposta de Dias (2011). O primeiro grupo é relacionado com o investimento; o segundo ocorre após o investimento; e o terceiro se refere à aprendizagem, geralmente exercida antes de grandes investimentos. A OR de espera (ou de “*timing*”, ou ainda opção de postergar) é similar à opção americana de compra. Pode-se esperar (espera ativa) para obter novas informações. Na indústria pode-se adiar um investimento até que os preços melhorem ou até que haja uma demanda que justifique o investimento (Copeland e Antikarov, 2002). As OR operacionais incluem a de expansão (com investimento adicional) e a de contração (diminuindo o custo operacional), de paradas temporária e permanente (abandono), entre outras. OR de aprendizagem geralmente é realizada antes de considerar os investimentos em escala industrial e tipicamente usa métodos Bayesianos. Alguns autores usam o termo OR de crescimento (“*growth options*”) para OR operacionais de expansão ou para OR de aprendizagem. Assim, investimentos em P&D podem ser rotulados de OR de crescimento ou como OR de aprendizagem, que em caso de sucesso gera opções de crescimento para a firma. O caso da incerteza estratégica sobre o tipo de um agente, como, por exemplo, a incerteza sobre o comportamento de um competidor disputando um mercado, pode ser modelado com a teoria dos jogos Bayesianos combinada com a teoria das OR (Dias, 2011).

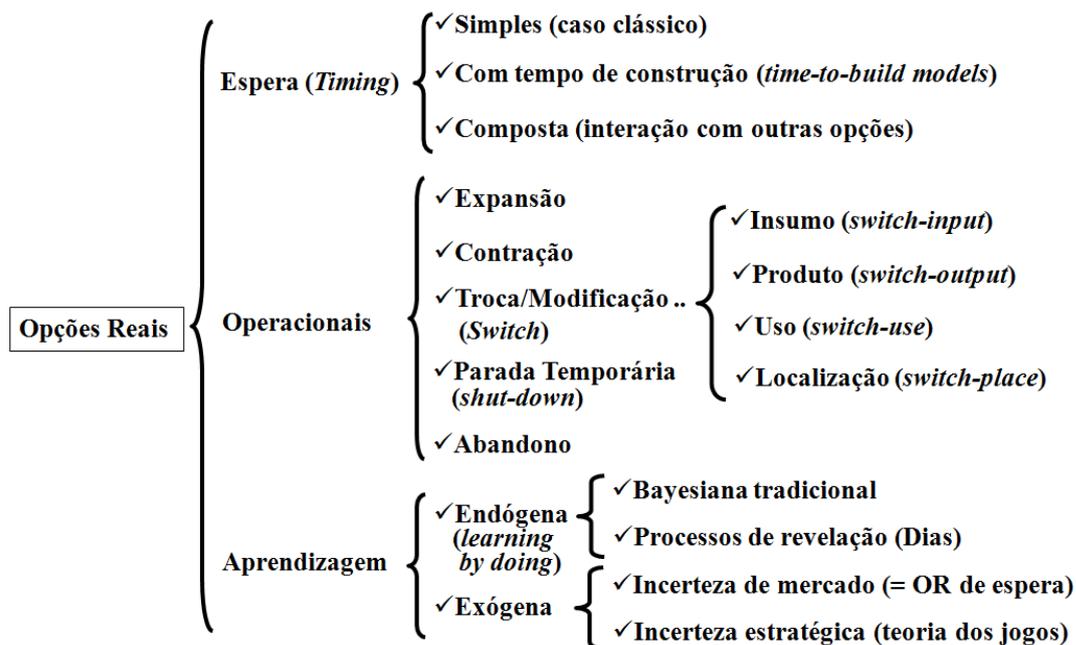


Figura 2.4: Tipos de opções reais.
(Fonte: Dias, 2011)

Tipicamente, a opção real considera o momento ótimo de exercício da opção e utiliza conceitos de programação dinâmica e controle ótimo em conjunto com a teoria de finanças relativa ao apreçamento de ativos sem arbitragem. Seu valor é ligado com a decisão ótima (regra de decisão, ou gatilho da opção) (Dias, 2011). Isto significa que a TOR está intimamente ligada às teorias de derivativos financeiros e de análise de decisão, conforme esquematizado na Figura 2.5.

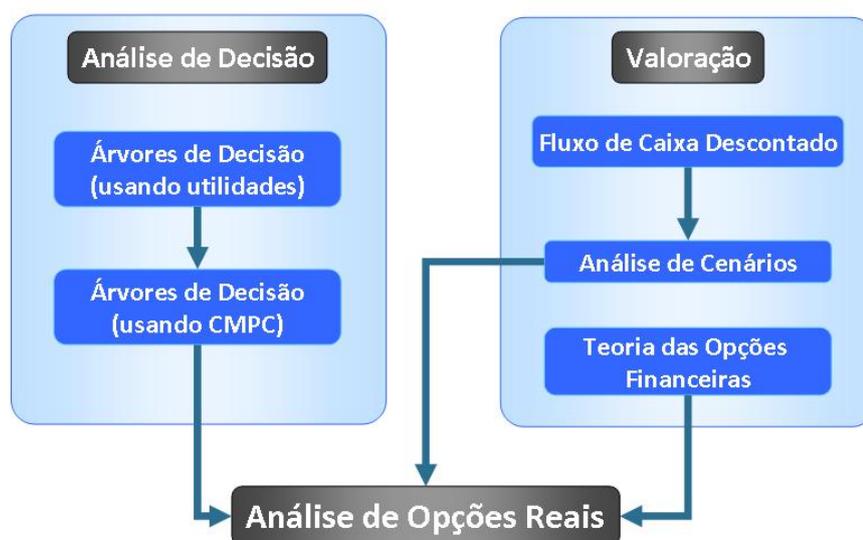


Figura 2.5: Origem da análise de opções reais.
(Fonte: Adaptado de Triantis, 2000 apud Dias, 2011)

A ênfase da abordagem das opções reais é na identificação e valoração da ampla flexibilidade que está disponível aos gestores de projetos. E é justamente a diferença do valor de um projeto considerando as flexibilidades em relação ao seu VPL que representa o valor das opções reais daquele projeto. Copeland e Antikarov (2002) defendem que o valor das opções reais é maior quando três aspectos se encontram. É importante a presença de incertezas e de flexibilidades para poder reagir a elas. Mas o valor das opções descola mais do valor do VPL quando este está próximo de zero. Isto porque, com valores de VPL muito extremos, pode ser que as opções nunca sejam exercidas, ou que não sejam suficientes para salvar o projeto. É exatamente na tomada das decisões mais difíceis – VPL próximo de zero – que o valor das opções faz a diferença. A Figura 2.6 ilustra a questão do aumento do valor com o aumento da flexibilidade e das incertezas.

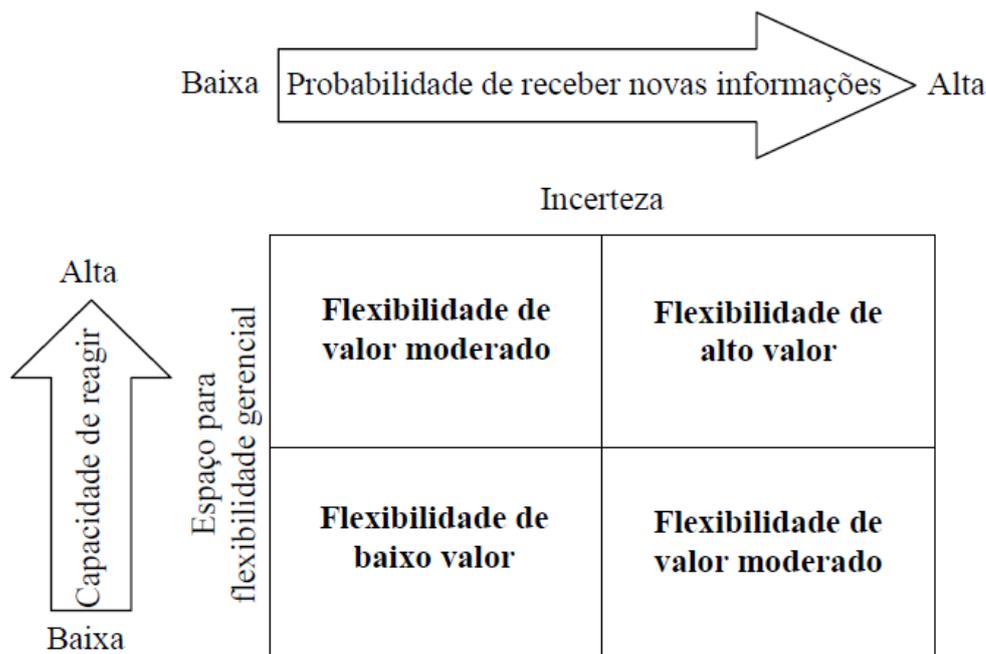


Figura 2.6: Relação do valor com a flexibilidade e a incerteza.
(Fonte: Copeland e Antikarov, 2002, p. 15)

Podem-se classificar as formas de avaliação de opções reais em modelos em tempo contínuo e os modelos em tempo discreto. Dias (2010) explica que os modelos de opções reais em tempo contínuo partem da modelagem da equação diferencial parcial (EDP) da opção e de suas condições de contorno. Uma forma de escrever a EDP e suas condições de contorno é a utilização do Lema de Itô

atrelado a um método de otimização sob incerteza, que pode ser, por exemplo, o método de programação dinâmica sob incerteza. O processo estocástico do valor do projeto, que é modelado dentro da equação, pode fazer com que a EDP não tenha uma solução analítica, sendo necessários métodos numéricos ou aproximações para se determinar o valor da opção. Mas no caso de opções perpétuas (não tendo expiração formal, caso muito comum em opções reais) geralmente existem soluções analíticas, sendo, nesse caso, um método mais prático do que os métodos discretos como o binomial.

Os métodos em tempo discreto dispensam a resolução de equações diferenciais complexas. Por outro lado, faz-se necessário um número suficiente de passos (Brandão, 2006). Um exemplo de modelo de avaliação de OR em tempo discreto foi proposto por Copeland e Antikarov (2002): o chamado processo de avaliação de opções reais em quatro passos.

O primeiro passo é o cálculo do VPL sem flexibilidade. Este passo é o mesmo descrito na seção 2.1. Ressaltando que os fluxos de caixa projetados devem ser descontados pela TMA do projeto. O segundo passo é a modelagem das incertezas seguida de uma simulação de Monte Carlo. Para efetuar tal simulação é necessário determinar os processos estocásticos envolvidos, bem como as distribuições probabilísticas das incertezas. Resulta desta simulação a volatilidade do valor agregado do projeto. Conhecendo a volatilidade, e utilizando as probabilidades neutras ao risco, é montada uma árvore binomial recombinante. A partir deste ponto, é usado o mesmo modelo binomial de Cox, Ross & Rubinstein, (1979), conforme apresentado na seção 2.2.

O terceiro passo é identificar e incorporar no modelo de incerteza a flexibilidade gerencial, que pode ser resumida como a capacidade de resposta da gerência quando novas informações são reveladas. A árvore é, então, podada, tornando-se uma árvore de decisão. O quarto passo é o próprio cálculo da opção real. Este cálculo é feito *backwards* (do último para o primeiro período). No último período (expiração da opção), que é o primeiro período de cálculo, o valor do fluxo de caixa é o máximo entre o valor de exercício da opção e zero (pois não pode mais esperar). Nos períodos anteriores, até o primeiro, é feita uma comparação entre o valor do exercício imediato e o valor da opção de espera, que

é o valor presente (usando a taxa livre de risco) do resultado do período seguinte (Copeland e Antikarov, 2002).

Esta metodologia possui as vantagens de ter fácil aplicação, já que não exige a resolução de EDPs, e poder tratar diferentes processos estocásticos em um só projeto, já que faz uso da simulação de Monte Carlo. Além disso, o modelo apresentado assume duas premissas: a premissa sobre o valor de mercado do ativo (*Marketed Asset Disclaimer*– MAD, ou Hipótese MAD) e a premissa de que os retornos do projeto são normalmente distribuídos. A Hipótese MAD diz que o valor presente dos fluxos de caixa estimados, sem flexibilidade, é a melhor estimativa não tendenciosa do valor de mercado do ativo básico V , na falta de valores de mercado diretos para V . O MAD parte do princípio de que a simulação desses fluxos de caixa que resultam na distribuição do retorno do valor do projeto é uma boa estimativa para a relação risco/retorno do projeto, levando em conta a dificuldade de se identificar um ativo semelhante no mercado (“ativo gêmeo”). A hipótese de retorno estar normalmente distribuído implica que as variações do retorno do projeto seguirão caminhos aleatórios.

2.4

Características dos Projetos de P&D – Visão sobre o Valor

Uma das formas como as empresas podem aumentar seu valor é através de projetos voltados para novas tecnologias, processos e produtos. Este tipo de projeto não oferece um retorno imediato e requer alta capacitação de pessoas e instalações para ser de possível execução. Por ter características muito peculiares, requer uma gestão diferente de outros tipos de projetos de investimento, mais determinísticos. Mas é justamente pela incerteza e pelo risco inerentes à pesquisa é que este tipo de projeto pode resultar em grande aumento de valor para a firma. Desta forma, o gerenciamento de tecnologia tem sido uma das motivações chave para o sucesso das empresas no longo prazo. A escolha de novas tecnologias para comercialização, porém, não é uma tarefa simples, visto que as fontes de recursos são limitadas e existem muitas incertezas envolvidas (Santiago, 2006). Além disso, existem ainda poucos métodos para aplicação prática do gerenciamento de tecnologias e da seleção de portfólio de projetos (Kavadias e Loch, 2004).

Segundo Santiago e Vakili (2005), em acordo com a classificação organizada por Dias (2011), o projeto de P&D pode ser visto como um esforço para expandir o conjunto de escolhas factíveis para a firma no mercado. Esta expansão aumenta o valor da carteira na fase de comercialização e, por consequência, o valor da firma, pois é nesta etapa que a empresa recebe o retorno por suas atividades. Corroboram esta visão Morris, Teisberg e Kolbe (1991), que acreditam que o projeto de P&D deve ser visto como uma série de decisões em sequência envolvendo a fase de P&D e a fase de comercialização (Figura 2.7). Porém, o processo de pesquisa e desenvolvimento é cheio de incertezas, e, frequentemente, apenas uma fração dos projetos consegue chegar ao mercado. Assim, o conjunto de escolhas que o processo de P&D oferece para o mercado de atuação da empresa (ou seus mercados alvo) é randômico, o que faz com que não seja possível conhecê-lo com certeza no início do primeiro processo (Santiago e Vakili, 2005).

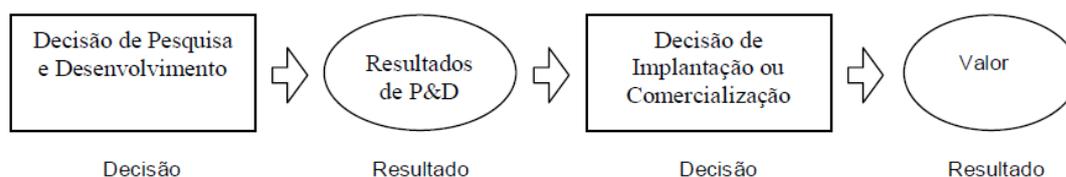


Figura 2.7: Fluxo de acontecimentos em um projeto de P&D.
(Fonte: Traduzido de Morris, Teisberg e Kolbe, 1991, p. 36)

2.5

Aplicação da TOR na valoração de projetos de P&D

Levando em consideração as características apresentadas acerca dos projetos de P&D, como a grande presença de incertezas que resultam em flexibilidades gerenciais, pode-se perceber que estes possuem grande potencial de aplicação da teoria das opções reais. Frequentemente, as metodologias utilizam modelos que agregam elementos chave do processo de decisão gerencial e o valor das flexibilidades disponíveis nos projetos de P&D (Santiago e Vakili, 2005; Dias, 2011). Isto significa que eles são influenciados pela TOR, que considera a opção de desenvolver determinado processo. Duas abordagens interessantes resultaram em modelos promissores para tal. Uma delas trata cada projeto separadamente e a outra enxerga a carteira de projetos de pesquisa de interesse. O foco deste estudo não está na apresentação de um novo modelo para avaliação de

carteiras, porém, ambas as visões apresentam atributos que subsidiam e enriquecem a formação conceitual do modelo que será apresentado nesta dissertação.

2.5.1 Avaliação por projeto

O modelo proposto por Santiago e Bifano (2005) foca na flexibilidade gerencial durante o processo de desenvolvimento de um projeto de P&D. Ele considera três opções gerenciais a cada marco de revisão do projeto: continuar (investindo apenas o que já estava programado), melhorar (investindo mais do que o previsto) ou abandonar. Os autores apresentam um modelo de suporte à decisão multidimensional, que alia questões técnicas, de mercado e de custo, aplicado a um projeto de pesquisa que, no caso particular, não possibilita informações suficientes para a tomada de decisão quando comparado a outros projetos desenvolvidos previamente. Este tipo de projeto é muito comum em empresas que trabalham com alta tecnologia e trás à tona questões não triviais. Entre elas, podem ser destacadas as dificuldades atreladas em especial para produtos inovadores, como o problema de avaliação do *payoff* do mercado, dos atributos necessários para que este produto entre no mercado e, de uma maneira mais geral, de ter uma medida confiável sobre o limite máximo de investimento extra em desenvolvimento considerando os benefícios esperados, já que estes não são de fácil mensuração. Além disso, não são claros ou explícitos os critérios de abandono que devem ser adotados para o processo de desenvolvimento.

Para lidar com isso, Santiago e Bifano (2005) propõem a junção de aspectos qualitativos e quantitativos coletados em um conjunto de entrevistas em profundidade com diversos profissionais reconhecidos na área do projeto por eles estudado com as ferramentas matemáticas e financeiras que permitem obter resultados utilizando os dados das entrevistas. Estas entrevistas são de fundamental importância porque permitem um conhecimento maior da indústria, do ambiente de inovação e das necessidades e expectativas dos usuários do produto pesquisado. Através delas é possível definir as variáveis e especificações técnicas críticas, a faixa de preços e o mercado potencial. Uma característica interessante do modelo é a introdução de um erro arbitrário, que destaca o fato de que não é possível capturar todos os resultados do desenvolvimento. Com o

intuito de verificar a interação entre variáveis, é proposto um modelo multidimensional ao invés de considerar variáveis escalares.

2.5.2

Avaliação da carteira de projetos

A motivação chave para a formação de uma carteira de investimentos é a diversificação do risco, e este conceito vale também quando o investimento em questão é um projeto de pesquisa e desenvolvimento. Mas ao contrário do caso da carteira de ativos financeiros, na carteira de ativos reais existem efeitos adicionais como os efeitos de aprendizagem e sinergia entre os seus ativos. Artigos recentes discutem diversos aspectos do gerenciamento de carteiras de projetos de P&D. Por exemplo, Beaujon, Marin e McDonald (2001) tratam do balanceamento dos recursos em um portfólio; Granot e Zuckerman (1991) e Kavadias e Loch (2003) exploram a definição da melhor sequência de investimento nos projetos; Loch e Kavadias (2002) tratam da alocação dinâmica dos recursos em diferentes períodos; Hsieh, Mishra e Gobeli (2003) entram na discussão da utilização de séries temporais e regressões para entender as correlações entre os projetos; Keisler (2004) simula diferentes portfólios e compara estratégias para chegar ao conceito da avaliação do valor da informação. Eduardo S. Schwartz também possui muitos trabalhos com a área de P&D, porém mais focado na indústria farmacêutica (ver Schwartz, 2004, por exemplo).

A literatura que discute as carteiras de projetos de P&D pode ser dividida em ferramentas gráficas e abordagem quantitativa. As ferramentas gráficas usam técnicas qualitativas – diagramas de bolhas, modelos de notas para ranqueamento e mapas de planos de projeto. Alguns exemplos incluem: avaliação de melhores práticas (Matheson e Matheson, 1994; Danila, 1989 apud Santiago, 2006), introdução de uma ferramenta de notas otimizada (Henriksen e Traynor, 1999 apud Santiago, 2006), e avaliação de projetos de tecnologia e da opção de investir neles utilizando diversos parâmetros qualitativos (McGrath e MacMillan, 2000 apud Santiago, 2006). A abordagem quantitativa consiste de problemas de programação matemática estática, cuja solução aponta o ótimo para o gerente.

Dentro dos modelos de interesse deste trabalho, no que diz respeito à avaliação de carteiras de projetos de pesquisa, encontram-se duas visões

diferentes, ambas quantitativas: a extensão do modelo para um projeto e a avaliação em duas etapas.

Em relação à primeira visão, Santiago (2006) descreve um método que amplia o modelo de decisão já descrito para projetos individuais (Huchzermeier e Loch, 2001; Santiago e Vakili, 2005; Santiago e Bifano, 2005) na comparação de projetos dentro de um portfólio, com o intuito de selecionar os mais promissores. Desta forma, o autor buscou verificar a efetividade e a extensão de aplicação de um modelo para comparação de projetos. Este modelo leva em conta as flexibilidades gerenciais – ele também considera os custos de abandonar, continuar conforme o planejado ou investir em melhorias –, o que torna adequada a aplicação da TOR, e pode ser classificado como um método de medida de benefícios, utilizando programação dinâmica para avaliar o melhor conjunto de ações ao longo do processo de desenvolvimento. Por se tratar de uma carteira de projetos, ele considera a possível interação entre os projetos, deteriorando ou melhorando o valor total. O modelo toma como premissa que não sejam considerados projetos a serem começados em um futuro distante, que existe um orçamento máximo que é fixo e que o *payoff* calculado é esperado para o momento do lançamento da tecnologia/produto no mercado.

Um dos benefícios do modelo proposto é que ele considera as interdependências entre os produtos durante as fases de desenvolvimento, bem como na fase de comercialização. Uma desvantagem é que todas as decisões são baseadas somente no máximo de retorno esperado dos projetos, não considerando o balanço entre risco e retorno. Além disso, o modelo exige muita informação e discussão, o que nem sempre está disponível ou há tempo hábil para debate. Com o nível de detalhe requerido, aumenta consideravelmente o esforço computacional, podendo tornar inviável a análise de muitos projetos ao mesmo tempo. Desta forma, o autor sugere que talvez o modelo proposto seja mais adequado para avaliar decisões operacionais, em detrimento das decisões estratégicas. Outra conclusão aponta para a adequação do modelo aos projetos nas últimas fases de desenvolvimento. Isto parece razoável, tendo em vista que, nos estágios mais avançados de desenvolvimento, existem informações em maior quantidade e qualidade no sentido de tomada de decisão.

Já a análise em duas etapas, proposta por Santiago e Vakili (2005), trata da divisão da metodologia em etapa de comercialização e etapa de desenvolvimento. Esta divisão faz sentido à medida que cada uma destas etapas possui peculiaridades marcantes que as diferenciam e distanciam suas abordagens de resolução. A seleção de portfólio na fase de comercialização pode ser encarada como uma instância de seleção dentro de um conjunto de instrumentos financeiros, e a teoria financeira de formação de portfólio pode ser usada. Já a seleção de projetos na fase de desenvolvimento precisa ser feita levando em conta a otimização realizada para a fase de comercialização.

Na fase de comercialização a incerteza é, em grande parte, uma informação pública – pois o produto/processo já está desenvolvido e foi lançado no mercado – e pode ser avaliada de forma independente por todos os *players*. Na fase de P&D, considerando o modelo de inovação fechada, uma parcela significativa da informação sobre o progresso dos projetos e a viabilidade de novos produtos é retida dentro da organização e não é compartilhada publicamente, gerando uma assimetria de informação quando comparadas as duas fases. Enquanto as empresas costumam ter dificuldades para obter recursos para o desenvolvimento de novos produtos, aquelas que obtêm sucesso no desenvolvimento de produtos inovadores e promissores encontram fontes de financiamento muito mais fáceis e seguras para sua comercialização. Desta forma, não é difícil perceber que a teoria das carteiras de investimentos é altamente aplicável à fase de comercialização (Santiago e Vakili, 2005).

Semelhante a esse, o modelo de Devinney e Stewart (1988) propõe um modelo de múltiplos estágios de decisão que, considerando diferentes fases do processo de P&D, tenta capturar a relação dinâmica entre diferentes projetos. Já o modelo proposto por Santiago e Vakili (2005) considera um processo decisório em dois estágios, ampliando a visão antes restrita aos estágios de P&D para uma abordagem que enxerga também os benefícios obtidos quando a empresa leva seus resultados de pesquisa ao mercado. Esta abordagem aparenta ser mais completa, uma vez que um projeto de P&D sem um propósito final – seja pela proposição de um novo processo produtivo ou pela melhoria incremental em tecnologias existentes – dificulta ou impossibilita a sua valoração e, por consequência, reduz a confiança dos gestores no investimento. Além disso, esta divisão faz sentido

também devido à grande diferença de disponibilidade de recursos para as referidas fases.

Este tipo de metodologia requer uma solução por retroindução (*backward induction*), através do método de programação dinâmica. Isto significa que primeiro é resolvida a incerteza da etapa de comercialização, dado um conjunto de escolhas conhecidas (já que, nesta fase, as incertezas do desenvolvimento já foram resolvidas). Desta primeira conta é determinada a fração de investimento em cada projeto para maximizar a função utilidade (ou o valor de mercado, no caso de corporações) que avalia o portfólio ótimo desta fase. Contudo, como a fase de pesquisa é altamente incerta, o ótimo encontrado para a comercialização precisa ser resolvido para todas as possíveis combinações de escolhas. Para tanto, o orçamento da comercialização é alocado de modo a maximizar o retorno e minimizar o risco da carteira. A aversão ao risco é muito mais representativa aqui, nas etapas de P&D, do que no primeiro passo do cálculo. É, portanto, um problema de maximização do valor de mercado da firma. Uma simplificação adotada é a junção de todas as atividades de desenvolvimento em um período de decisão, e todas as atividades de comercialização em um segundo período logo após.

2.5.3 Ponderações sobre os modelos

Uma questão relevante é a discussão sobre a aplicabilidade deste tipo de modelo, que utiliza a teoria de opções reais, na avaliação de todo o ciclo de vida de projetos de P&D. Os modelos quantitativos propostos até o momento lidam bem com as incertezas das etapas finais do processo de desenvolvimento. Porém, ainda não é possível generalizar a aplicação para todo o ciclo de vida do projeto, desde suas etapas mais incipientes. Ainda existem lacunas no que diz respeito à eficiência da avaliação do rol de variáveis de controle usadas nos modelos. Uma abordagem possível para as fases iniciais de projeto é a qualitativa, onde argumentos podem sinalizar para quais fatores aumentam a atratividade de um projeto, ao invés de tentar quantificar níveis de desempenho— tendo em vista que existe uma crença de que o processo de desenvolvimento de um produto tem uma variabilidade de desempenho maior nos estágios iniciais – e valorar o projeto como um todo (Santiago, 2006). Por outro lado, Loch e Kavadias (2002)

observam alguns aspectos negativos do método qualitativo, como por exemplo, o fato de não capturar as interações entre fatores, nem os efeitos múltiplos que precisam ser levados em conta durante os estágios iniciais de projetos de P&D.

Outra importante constatação, encontrada no modelo apresentado por Santiago (2006), trata do nível decisório suportado. Ele entende que o orçamento no nível operacional deve ser discutido para projetos em andamento, enquanto que no nível estratégico os gestores precisam alocar recursos em diferentes linhas de produtos e processos. Desta forma, seu modelo procura abordar os dois níveis ao mesmo tempo e conclui que a abordagem proposta encontra melhor terreno de atuação nas decisões operacionais.

Um aspecto capturado pelos modelos aqui apresentados reside na avaliação das flexibilidades presentes em um projeto de P&D. Esta avaliação é um dos motivos principais pelo qual os métodos recaem sobre a teoria das opções reais. Isto porque, como discutido previamente, a TOR considera que os gestores possuem a opção de agir sobre um processo de desenvolvimento. De maneira simplificada, o valor da flexibilidade é a diferença entre o gerenciamento ativo do projeto (que considera as flexibilidades) e o gerenciamento passivo, onde o gestor não tem a opção de interferir no projeto ao longo do seu curso. Conforme observado por Faulkner (1996), os métodos tradicionais de avaliação – por exemplo, ROI e FCD – refletem o gerenciamento passivo. O gerenciamento passivo não é realista quando se trata de projetos de pesquisa e desenvolvimento, já que os gestores sempre têm a opção de interferir. Outros autores (Brennan e Trigeorgis, 2000 e Cortazar, Schwartz e Salinas, 1998) também fizeram a comparação entre os dois tipos de gerenciamento, e ressaltam o valor da flexibilidade em projetos com muitas opções gerenciais.

Um ponto de atenção, ainda pouco explorado nos modelos existentes é a interação entre projetos dentro de uma carteira de projetos de P&D. Alguns projetos de pesquisa podem levar ao desenvolvimento de outros projetos através da experiência adquirida, ou ainda, o desempenho de um produto no mercado pode impactar o de outro produto. Uma maneira de implementar as interdependências no modelo, para o estágio de P&D, é através da consideração das probabilidades conjuntas de sucesso, onde o desenvolvimento de um projeto

pode aumentar as chances de sucesso de outro (efeito de aprendizagem no portfólio, muito comum também em portfólio de ativos de exploração de petróleo). Caso a empresa não possua recursos para realizar todos os projetos relacionados, ela pode adiar aqueles que são menos atrativos ou até negociar sua venda ou licenciamento.

Existem ainda muitas questões a serem debatidas para atingir pleno sucesso da aplicação da TOR em projetos de P&D, que podem ser separadas em três categorias principais (Santiago, 2006):

- Encontrar o modelo mais apropriado, cujas premissas atendam ao projeto a ser avaliado;
- Determinar as entradas do modelo; e
- Ser capaz de resolver o algoritmo matemático de precificação de opções.

Um aspecto que pode ser explorado para ampliar a avaliação de um projeto de P&D é a realização de diversas análises de sensibilidade, verificando o impacto no valor do projeto e nas ações gerenciais recomendadas pelo modelo, por exemplo:

- Variar as taxas de desconto e entender seu impacto;
- Alterar as probabilidades nos momentos de transição entre os marcos críticos de revisão do projeto; e
- Variar os níveis de melhoria nos aspectos técnicos.

Existem evidências (Santiago e Bifano, 2005) de que o uso de metodologias estruturadas para este tipo de análise enriquece o processo de avaliação pela discussão que gera entre os tomadores de decisão e evidencia a importância de troca de informações entre os membros da equipe de desenvolvimento. Além disso, no caso de aplicação das metodologias para valoração de produtos inovadores, sem similar no mercado, as técnicas que utilizam opções reais fornecem uma orientação para a equipe que atua no projeto, bem como para aqueles que decidem sobre a alocação dos recursos.