

# 1. Introdução

A maioria dos investimentos em capital fixo possui três características importantes que influenciam de maneira significativa o resultado obtido pelas diferentes metodologias utilizadas na avaliação dos seus potenciais de lucro:

(i) a irreversibilidade associada aos gastos necessários para se iniciar o empreendimento;

(ii) a incerteza presente nos fluxos de caixa esperados;

(iii) a possibilidade de adiar a implementação do projeto, com o objetivo de adquirir novas informações sobre o mercado de atuação da firma, proporcionando a escolha do momento ótimo para realizar o investimento.

Essas características, presentes na análise dos projetos de investimento, são completamente desconsideradas pela metodologia tradicional baseada na regra do valor presente líquido.<sup>1</sup> Segundo tal regra, um investimento deve ser avaliado através do valor presente da diferença entre os fluxos de caixa esperados e os seus respectivos custos. Se o valor presente das receitas líquidas for positivo, realiza-se o investimento, caso contrário o projeto não será considerado lucrativo.

Tal tipo de avaliação ignora o valor associado à flexibilidade de se adiar as decisões sobre a implementação de um projeto. Para que uma firma obtenha uma avaliação apropriada do valor das suas oportunidades de investimento em capital, devemos utilizar a teoria do investimento sob incerteza,<sup>2</sup> metodologia para a avaliação de ativos reais baseada na teoria de apreçamento das opções financeiras.

---

<sup>1</sup> A regra de decisão marshalliana ortodoxa para o investimento obteve sua versão moderna através do trabalho de FISCHER (1930) e até os dias de hoje continua sendo amplamente utilizada pelas corporações como instrumento de análise de ativos financeiros e reais em todo o mundo. Posteriormente, teorias mais estruturadas sobre o investimento em capital foram desenvolvidas por JORGENSEN (1963) e TOBIN (1969). Nos anos 70, a revolução das expectativas racionais proporcionou o artigo sobre investimento de LUCAS e PRESCOTT (1971), bastante influenciado pelos trabalhos de pesquisa de JORGENSEN, incorporando métodos os de programação dinâmica para o problema de maximização das firmas, além da hipótese de racionalidade sobre as expectativas, encontrando um equilíbrio dinâmico para uma indústria competitiva. CONSTANTINIDES (1978) utiliza o modelo CAPM intertemporal proposto por MERTON (1973a) para o apreçamento de fluxos de caixa proporcionados por projetos de investimento.

<sup>2</sup> Segundo ROMER (1996): “Investments in the presence of fixed costs and uncertainty is most usefully analysed using the tools of option-pricing theory from finance.”, p. 368.

A teoria de apreçamento dos derivados financeiros está fundamentada na lei do preço único ou condição de ausência de arbitragem. Esta condição estabelece que o preço de uma carteira de ativos deve ser igual à soma dos preços individuais dos ativos que a compõem.<sup>3</sup> No apreçamento das opções financeiras, o pagamento final proporcionado pela sua obtenção pode ser exatamente replicado por uma carteira que evolui dinamicamente ao longo do tempo, composto exatamente pelo mesmo ativo referente à opção e uma quantidade de dívida.<sup>4</sup> Estabelecendo algumas hipóteses sobre a sua evolução estocástica, quando não existem oportunidades de arbitragem, o preço da carteira replicante deve ser igual ao preço da opção no momento inicial, afinal os seus pagamentos na data de expiração são idênticos.

As contribuições seminais responsáveis por estes avanços em economia foram as de BLACK e SCHOLLES (1973) e MERTON (1973b). A metodologia proposta por esses economistas para o apreçamento de opções estendeu-se para todos os tipos de derivados financeiros, tornando-se um instrumento valioso para uma análise mais precisa do preço de novos instrumentos. Este fato possibilitou uma repartição de risco mais eficiente entre os participantes do sistema financeiro, gerando benefícios sociais, como ARROW (1953)<sup>5</sup> já havia definido. O trabalho pioneiro desses economistas recebeu o Prêmio Nobel de Economia em 1997, consagrando a importância de suas idéias inovadoras para a sociedade.<sup>6</sup> A adaptação da metodologia de apreçamento de ativos financeiros para a avaliação

---

<sup>3</sup> A violação da lei do preço único possibilita o surgimento de oportunidades de arbitragem, ou seja, a obtenção de lucros sem qualquer tipo de risco. Estas oportunidades são rapidamente eliminadas em mercados eficientes. Entretanto, trata-se de uma construção teórica, uma hipótese, isto não significa que necessariamente a lei do preço único seja verificada a cada instante nos mercados de ativos financeiros em todo o mundo. Para uma discussão sobre as implicações das violações na lei do preço único ver LAMONT (2000).

<sup>4</sup> Por exemplo, no caso específico de uma carteira replicante de uma opção sobre uma ação da IBM, realiza-se um empréstimo e adquire-se uma quantidade de ações desta empresa de tal forma que, na data de expiração da opção, o pagamento de ambos os investimentos sejam iguais. Como consequência, os seus custos iniciais também deverão ser iguais, estabelecendo desta forma o preço justo da opção. Uma discussão sobre o conceito de ausência de arbitragem em economia pode ser encontrada em VARIAN (1987).

<sup>5</sup> Em *Econometrie* (1953), traduzido para o *Review of Economic Studies* (1964).

<sup>6</sup> AVINASH DIXIT, professor de economia da universidade de Princeton, definiu a conquista do prêmio da seguinte maneira: "If you ask what idea in the last 50 or 60 years coming from economic research has had the biggest impact on the world, this is it. It's changed the way the financial markets allocate risks among different types of investors."- *The Shawnee News-Star*, Outubro 14, 1997.

de ativos reais foi proposta inicialmente por TOURINHO (1979), BRENNAM e SCHWARTZ (1985) e MCDONALD e SIEGEL (1986). Posteriormente, em uma série de importantes contribuições, DIXIT (1989, 1994) e PINDYCK (1987, 1988, 1991a, 1991b, 1994) ajudaram a consolidar o que viria a ser chamada de teoria das opções reais de investimentos.<sup>7</sup>

A intuição básica explorada por este tipo de metodologia é a seguinte: os fluxos de caixa do projeto evoluem de forma estocástica ao longo do tempo e os custos de implementação estão associados às características específicas da firma que realiza o investimento, logo podem ser considerados irreversíveis. Desta forma, na presença da incerteza em relação aos lucros de longo prazo existe um valor associado à opção de adiar a decisão sobre a realização do investimento em busca de novas informações sobre preços, estrutura de custos e outras características do mercado de atuação da firma antes de comprometer os recursos.

A irreversibilidade dos investimentos ocorre devido à impossibilidade de se alterar os gastos iniciais por parte das firmas no momento em que foram realizadas as despesas em estoques de capital. A construção de uma nova fábrica significa um risco específico para a firma, afinal se as condições de mercado se tornarem desfavoráveis e a empresa for obrigada a encerrar suas operações, a planta construída não poderá ser vendida para reduzir os prejuízos.<sup>8</sup>

---

<sup>7</sup> No comunicado à imprensa da Academia de Ciências da Suécia podemos destacar duas passagens que citavam a aplicação desta metodologia de apreçamento dos derivados financeiros para a avaliação de ativos reais como um dos sucessos das extensões que esta teoria proporcionou:

“Black, Merton and Scholes thus laid the foundation for rapid growth of markets for derivatives in the last ten years. Their method has more general applicability, however, and has created new areas of research – inside as well as outside of financial economics. A similar method may be used to value insurance contracts and guarantees, or the flexibility of physical investment projects”.

“Investment decisions constitute another application. Many investments equipment can be designed to allow more or less flexibility in their utilization. Examples include the ease with which one can close down and reopen production (in a mine for instance if the metal price is low) or the ease with which one can switch between different sources of energy (if, for instance, the relative price of oil and electricity changes). Flexibility can be viewed as an option. To choose the best investment, it is therefore essential to value flexibility in a correct way. The Black-Merton-Scholes methodology has made this feasible in many ways.”

<sup>8</sup> Argumenta-se que uma fábrica poderia ser vendida para uma outra firma da mesma indústria, entretanto como o seu preço se reduz muito, os ganhos obtidos seriam muito pequenos se comparados ao seu custo inicial. Em parte, este fenômeno pode ser explicado através do conceito de informação assimétrica do tipo “markets for lemons” como AKERLOF (1970) definiu, tornando estes gastos iniciais um custo específico da firma que realiza o investimento.

A incerteza sobre os fluxos de caixa esperados após o investimento independe do método de avaliação do projeto. Entretanto, a presença de uma flexibilidade operacional, permitindo o adiamento do início da implementação dos gastos, altera completamente a avaliação do processo de decisão. Esta característica de um investimento em um ativo real possui uma analogia direta com uma opção financeira. Neste sentido, uma firma que possui uma oportunidade de investimento adquiriu algo semelhante a uma opção de compra: ela possui o direito, mas não necessariamente a obrigação de adquirir os fluxos de caixa do projeto, em algum momento no futuro. Esta opção real pela escolha do momento ótimo do investimento possui um valor, afinal os fluxos de caixa são incertos e quanto maior esta incerteza, maior será o valor desta flexibilidade, ou seja, mais valiosa será a oportunidade de se aguardar a resolução dos estados da natureza da economia. No momento em que a firma finalmente decide investir, realizando os seus gastos irreversíveis, ela automaticamente exerce a sua opção e elimina definitivamente a sua flexibilidade operacional. Desta forma, a análise tradicional baseada no valor presente líquido não consegue incorporar o efeito da irreversibilidade presente nos gastos iniciais sobre a flexibilidade das decisões. A teoria ortodoxa ignora o valor da oportunidade de se adiar o investimento em busca de mais informações.

As oportunidades de investimento são o resultado de características próprias da firma, obtidas ao longo dos anos. Dentre tais características estão a capacidade gerencial da empresa, seu conhecimento tecnológico, sua reputação e seu poder de mercado. Isto proporciona a realização de investimentos que não poderiam ser implementados por indivíduos ou por firmas que não possuíssem determinadas vantagens comparativas. Podemos considerar o próprio valor das firmas, como um conjunto destas flexibilidades operacionais representadas pelas opções reais, possibilitando o seu crescimento e a atuação em diversos mercados.

No apreçamento das opções financeiras, obtemos a identificação e a conseqüente estimação da dispersão da incerteza do investimento facilitado pela existência de um mercado para o ativo objeto deste instrumento. Neste caso, a determinação da dispersão dos retornos é realizada através do cálculo do desvio padrão ou volatilidade de uma série histórica de preços transacionados. Como conseqüência, a incerteza do investimento se transforma em risco. Quando

utilizamos a metodologia das opções reais para a avaliação de projetos, a determinação da dispersão também estará relacionada às possibilidades futuras do valor do empreendimento. No entanto, por se tratar de um ativo real, um projeto não possui necessariamente um preço de transação em mercados financeiros. Assim, precisamos identificar aproximações pertinentes a esta dispersão, estabelecendo ativos que repliquem as características de risco de um projeto. A volatilidade está associada à dispersão da incerteza dos seus retornos, logo sua importância está relacionada ao aumento do valor da opção de esperar para realizar os gastos. Apesar da importância desta variável, sua influência sobre a avaliação das oportunidades de investimento foi pouco explorada pela literatura de opções reais.

A literatura empírica, associada à análise de dispersão dos ativos financeiros, ganhou um grande impulso através dos modelos de séries de tempo não lineares na variância. Inicialmente esta metodologia econométrica foi proposta tentando incorporar os avanços da macroeconomia moderna, baseada na hipótese de expectativas racionais. Posteriormente, a utilização de tal metodologia foi estendida para o campo de finanças. A modelagem explícita da heteroscedasticidade dos retornos dos ativos serve como uma aproximação em tempo discreto para um processo de difusão, tipicamente utilizado na literatura de finanças. Apesar dos avanços teóricos no processo de avaliação de ativos reais, não foi desenvolvida uma metodologia econométrica semelhante que pudesse ser utilizada no apreamento destas opções reais, assim como no cálculo do risco dos ativos transacionados em mercados financeiros. Na análise sobre a viabilidade da implementação de projetos, as características de incerteza associadas a um investimento de longo prazo estão relacionadas a um tipo de risco estrutural, menos sujeito aos efeitos de novas informações que geram uma volatilidade excessiva no curto prazo. Este tipo de ruído, provocado pela incorporação de novas informações por parte dos agentes, deve se ignorado nesta análise.

A inexistência de um preço de transação para este ativo real dificulta o cálculo do risco associado a um investimento. Desta forma, temos que identificar instrumentos específicos que podem ser considerados *proxies* para a dispersão de longo prazo da incerteza futura dos fluxos de caixa dos projetos. Pretendemos analisar a influência da dispersão da incerteza sobre a avaliação de uma opção real

de espera associada a investimentos irreversíveis em dois setores importantes para a economia brasileira: telecomunicações e petróleo. De uma maneira geral, na busca por uma *proxie* que represente a incerteza de um projeto de investimento, estarão sendo considerados o valor do preço da ação de uma empresa, representando o risco idiossincrático; o preço de uma carteira de empresas atuantes no mercado brasileiro, representando o risco de um investimento neste setor no Brasil; o preço de uma carteira de empresas internacionais, representando o risco da tecnologia deste setor; e o preço de *commodities* associadas ao processo produtivo. A escolha de cada uma destas *proxies* de risco e seu método de estimação influenciará o valor das opções de espera do investimento. Os riscos idiossincráticos das empresas estão relacionados à sua gestão e a choques relacionados a alterações no comportamento do seu mercado de atuação. Na volatilidade de uma carteira representativa das empresas atuantes no Brasil, estará implícito o risco do setor como um todo no país, incluindo alterações na legislação que regula a atuação destas empresas, mudanças na sua composição acionária, além do risco de alterações na conduta das políticas macroeconômicas. A volatilidade da carteira de empresas atuantes no mercado internacional representará o risco da tecnologia de produção do setor, enquanto que a volatilidade de uma *commodity*, associada à produção, influenciará todas as empresas da indústria.

Uma outra questão analisada é a influência do período de tempo para o cálculo da incerteza de um investimento. Existe uma janela de espera para a decisão sobre a implementação do projeto. Durante este período, o empreendedor poderá aguardar a resolução da incerteza através da obtenção de informações relevantes. Como o valor das opções reais de um projeto de investimento está diretamente relacionado a tal oportunidade de espera em busca de novas informações, uma janela para o cálculo da volatilidade do investimento de 30, 90, 180 ou 360 dias muda completamente o valor da opção real de um investimento programado para um período de dois anos. Surge então a dúvida em relação ao período de tempo para o cálculo da volatilidade.

O interesse deste trabalho de pesquisa é justamente responder a estas questões, ou seja, investigar qual a influência de diferentes *proxies* para a volatilidade do risco dos investimentos sobre os valores obtidos para as

respectivas opções reais de espera. Para isso, faremos uma análise estatística das *proxies* para a representação da incerteza nos setores escolhidos, procurando distingui-las. Utilizaremos o modelo básico de investimento irreversível proposto por MCDONALD e SIEGEL (1986), procurando extrair os valores das opções de espera dos projetos proporcionadas pelas diferentes *proxies* para a volatilidade.

A presente dissertação é composta de três partes. O objetivo da primeira parte – Projetos de Investimento como Opções Reais – é fazer uma apresentação da metodologia de opções reais através do modelo utilizado na avaliação do valor da flexibilidade dos investimentos irreversíveis, destacando as suas vantagens em relação à abordagem tradicional do valor presente líquido. Na segunda parte – As volatilidades Associadas ao Risco dos Projetos de Investimento –, descrevemos as *proxies* escolhidas para a representação do risco de um investimento nos setores de telecomunicações e petróleo e obtemos os estimadores para as volatilidades. Avaliamos a semelhança entre as medidas de volatilidade através do comportamento do valor absoluto das suas diferenças e através da realização do teste de razão de variâncias. Na terceira parte – O Impacto das Volatilidades sobre a Avaliação das Opções Reais –, verificamos a influência destas diversas *proxies* sobre as opções reais de espera dos investimentos e analisamos os valores críticos determinados pelo modelo. Nas conclusões, descrevemos os resultados obtidos e apresentamos sugestões para trabalhos futuros.

