

2

Revisão de literatura e referencial teórico

2.1.

Revisão de literatura

Essa sessão busca apresentar uma breve revisão de literatura reunindo trabalhos que tratam dos temas de opções reais, avaliação de investimentos e flexibilidade gerencial, commodities e energia elétrica. A revisão foi focada principalmente em artigos relacionados ao tema da dissertação, buscando trabalhos diversos, e, em especial, de autores consagrados nestas áreas de conhecimento. Dentre estes, pode-se citar o artigo de Brennan e Schwartz (1985), que critica o uso dos métodos tradicionais de avaliação econômico-financeira com incerteza através do método do fluxo de caixa descontado a uma taxa de desconto supostamente adequada ao risco do projeto. Neste trabalho, é destacada a deficiência da abordagem tradicional a partir da negligência da incerteza dos preços e seu comportamento estocástico, principalmente em projetos envolvendo recursos naturais, onde as indústrias convivem com uma alta volatilidade de preços. Adicionalmente, é ressaltado também o fato de os métodos tradicionais desconsiderarem a possibilidade de respostas a estas variações de preços através da flexibilidade gerencial.

O artigo apresenta um modelo que considera os preços como variáveis estocásticas, ao julgar essa abordagem adequada aos projetos envolvendo investimentos em recursos naturais, onde a volatilidade de preços é tida como uma questão de importante sensibilidade para o projeto. Ademais, o modelo contempla também a possibilidade de se dimensionar os volumes de produção tendo em vista às variações de preços, além das alternativas de fechamento e abandono do projeto como opções a serem contempladas na valoração do projeto.

Outra questão incorporada no modelo e destacada no artigo de Brennan e Schwartz (1985) concerne ao fato de os riscos do projeto, bem como a taxa de desconto utilizada, poderem variar durante a vida do projeto em função do esgotamento das reservas naturais e das variações aleatórias de preço. O risco do projeto tende a ter o mesmo comportamento estocástico identificado nos preços, o que compromete o uso de uma única taxa de desconto na análise do valor presente.

Outra utilização da extensão de avaliação e apreçamento de opções financeira aplicadas a ativos reais envolvendo commodities foi descrita por Paddock, Siegel e Smith (1988). Este artigo também ressalta a dificuldade de utilização dos métodos tradicionais de avaliação econômica em cenários com importante volatilidade de preços e frequente presença de flexibilidades gerenciais nas tomadas de decisões, como nos casos de exploração e desenvolvimento de campos de petróleo. O artigo descreve as potenciais vantagens de utilização do método de opções reais para avaliação de ativos de petróleo em comparação com o método do fluxo de caixa descontado.

Cortazar, Schwartz e Salinas (1998) apresentam em seu artigo, um modelo que utiliza a abordagem de opções reais para avaliar investimentos ambientais. Neste estudo são consideradas as premissas de um cenário de forte incerteza de preços, os quais, segundo assumido no modelo, tendem a seguir um Movimento Geométrico Browniano (MGB). Em função desta alta volatilidade de preços, o modelo reforça a questão do valor da flexibilidade gerencial indicando o momento ideal, em termos de níveis de preço, para a realização dos investimentos, e apontando também os principais parâmetros que afetam essa decisão.

Um dos setores pioneiros na utilização do método de opções reais e operações com commodities, e que vem desenvolvendo e destacando trabalhos nesta área é o setor de mineração. Slade (2001) avalia a flexibilidade gerencial em investimentos em minas de cobre no Canadá. Este artigo foca em operações flexíveis, enfatizando o fato de que fechamentos temporários das operações são mais comumente observados no Canadá do que os eventos de abertura e término das operações. O estudo ressalta a dificuldade de obtenção de dados relativos à flutuação de custos operacionais e reservas, criticando a ausência desse tipo de tratamento na literatura de opções reais, e propõe um modelo estocástico multivariado contemplando três variáveis (preço, custos e reservas), em

comparação com uma análise que incorpora somente a incerteza relacionada ao preço.

Outra premissa de interesse aplicada ao estudo foi a utilização de um modelo de Reversão à Média aplicado ao comportamento dos preços, em contraste com o uso do Movimento Geométrico Browniano, premissa também destacada por Bessembinder, Coughenour, Seguin e Smoller (1995) e Schwartz (1997). Essa mesma abordagem de um processo de Reversão à Média de preços foi utilizada por Bastian-Pinto, Brandão e Hahn (2009), em seu trabalho que analisou o valor da flexibilidade na produção de combustíveis alternativos ao estudar o caso do etanol a base de cana-de-açúcar. O estudo analisou o caso do Brasil, onde a maior parte destas plantas é capaz de produzir açúcar ou etanol e podem exercer essa opção conforme as condições do mercado. Essa flexibilidade é possível em função de altos investimentos que foram feitos tendo em vista, mesmo que intuitivamente, o potencial do valor dessa opção. O artigo analisou o valor da opção de alternância contida no processo produtivo dessas plantas processadoras de cana-de-açúcar, quantificando o valor incremental contido nesse processo através da flexibilidade operacional. Nesse intuito, o estudo procurou utilizar uma abordagem baseada em um modelo binomial de tempo discreto que pudesse incorporar o processo estocástico de reversão a média a ser aplicado para as duas variáveis estocásticas (açúcar e etanol), levando em consideração também a correlação do comportamento de preços existente entre estas commodities.

O artigo comprova, através de seu modelo proposto, o valor incremental existente nas plantas processadoras de cana-de-açúcar obtido a partir da flexibilidade do processo produtivo, ou seja, da opção de alternar o output entre açúcar e etanol, conforme as condições de mercado. Ademais, o estudo realiza comparações com outras metodologias e demonstra que o processo de reversão a média se mostrou mais adequado para modelar as variáveis estocásticas em questão, quando em confronto com o Movimento Geométrico Browniano, que embora apresente maior facilidade no tocante à modelagem, pode induzir a resultados equivocados ao sobreestimar os resultados em certos casos.

Trigeorgis (1993) também comenta a respeito do valor das opções de alternância dentro de um processo produtivo, baseado na flexibilidade de se utilizar diferentes tipos de inputs beneficiando-se do uso dos recursos de menor custo, ou ainda de se optar pelos outputs mais rentáveis considerando suas variações de preço ao longo do tempo. Em diversos casos é interessante realizar investimentos que proporcionem essa flexibilidade e capacidade de alternância em resposta às mudanças de mercado.

No artigo de Kulatilaka (1993) o valor da flexibilidade operacional foi demonstrado para um caso de uma caldeira de vapor industrial bi-combustível. Neste artigo o autor (op. cit) reforça o entendimento sobre as limitações do método do fluxo de caixa descontado ao desconsiderar a questão da flexibilidade operacional. Ainda, o artigo ressalta a importância relacionada a opções de alternância no modo de operação que permitem, através da troca de inputs, reagir à volatilidade de preços de mercado que impactam os resultados da operação.

O trabalho apresenta um modelo que possibilita analisar o valor da flexibilidade contida nas opções de alternância de inputs e aplica ao caso de uma caldeira de vapor industrial, o qual pode utilizar alternativamente óleo combustível ou gás natural. A análise demonstrou que os ganhos obtidos com redução de custo a partir da flexibilidade operacional são superiores ao investimento necessário para aquisição de uma caldeira bi-combustível.

Outro artigo que apresenta um modelo envolvendo opções de alternância é o de Bastian-Pinto, Brandão e Alves (2009). Este estudo analisa a opção contida nos veículos bi-combustível considerando a flexibilidade do proprietário de poder escolher entre abastecer com gasolina ou etanol, buscando a alternativa mais econômica, à luz das incertezas dos preços destes combustíveis.

O artigo descreve o sucesso dos modelos de veículos bi-combustível, destacando o crescimento observado nesta frota no Brasil, e indicando uma percepção intuitiva do consumidor no tocante ao valor da opção existente. Em seguida, o estudo propõe um modelo para quantificar este valor que é comparado ao prêmio pago por esse tipo de veículo em contrapartida aos veículos exclusivamente movidos a gasolina.

A modelagem utiliza a premissa de que o veículo é abastecido uma vez ao mês e considera que a decisão de abastecimento ocorre de maneira totalmente independente a cada mês. Isso permite que a opção de alternância possa ser tratada como um conjunto de opções europeias e possibilita a utilização de simulação de Monte Carlo na resolução do problema.

O modelo utilizou dois processos estocásticos distintos para analisar o problema. Primeiramente foi utilizado o Movimento Geométrico Browniano e, em seguida o Modelo de Reversão à Média, sendo este último considerado pelos autores como mais realista para modelagem de commodities. Ambas as abordagens demonstraram que o modelo bi-combustível adiciona valor significativo para o proprietário através da redução das despesas com combustível ao longo da vida útil do veículo, superando o prêmio adicionado ao preço deste veículo em comparação ao modelo convencional.

No caso mais específico da indústria de alumínio é possível observar uma propensão para a utilização de operações flexíveis e que busca valor incremental através das trocas de inputs e outputs de produção. Além da volatilidade do próprio metal, a indústria também sofre forte impacto das incertezas relacionadas à energia elétrica, um de seus principais insumos.

Subodh, Long III, Hayden, Green e Hunt Jr. (2004) descrevem as implicações relacionadas à energia elétrica e o fornecimento de alumínio e destacam uma mudança ocorrida nas últimas décadas na distribuição geográfica na produção primária de alumínio. O artigo analisa as tendências da indústria enfatizando o potencial de economia em energia elétrica sob a ótica da troca de inputs de metal reciclado, em detrimento da produção primária de alumínio. Outra tendência destacada pelo artigo é de que a energia elétrica continuará a ser um dos principais fatores no processo industrial de alumínio ao redor de mundo.

Subodh et al (2004) destacam ainda que, enquanto o processo de redução nos *smelters* de alumínio não tenha sofrido mudanças substanciais, tem ocorrido uma sensível alteração no que diz respeito à localização destas unidades de redução, em razão principalmente dos custos de matéria-prima e em especial da energia elétrica. A produção primária passa a ocorrer em locais onde a disponibilidade e o custo de energia elétrica seja favorável, enquanto as demais localidades passam a importar energia sob a forma de lingotes de alumínio. O artigo comenta que embora o consumo de alumínio nos Estados Unidos venha

crescendo, a produção primária neste país tem reduzido consideravelmente (fechamento de *smelters*) em vista deste movimento de redistribuição geográfica em função do custo da energia elétrica.

Com relação à troca de outputs, Byko (2002) enfatiza o movimento ocorrido nos Estados Unidos onde durante um período de escassez de energia e fraca demanda por alumínio, os produtores da indústria de alumínio fecharam suas plantas e passaram a vender energia. Neste mesmo artigo foi comentada a necessidade de redução de produção dos *smelters* no Brasil devido a uma determinação do governo que estabeleceu metas de redução no consumo de energia em função da insuficiência energética vivenciada pelo país.

Essa abordagem também foi descrita por Avilés (2009) no estudo que avalia os *smelters* auto-suficientes em geração de energia elétrica e analisa através do método de opções reais essa nova alternativa de geração de valor. Esse trabalho utilizou um *smelter* hipotético representativo de unidades presentes no Brasil e, sob a luz da volatilidade da energia elétrica e do alumínio, analisou as flexibilidades gerenciais dentro das possíveis alternativas no mix de outputs gerados pelo *smelter*.

Os resultados encontrados apontaram para a possibilidade de capturar o valor desta flexibilidade gerencial através do método de opções reais, ao contrário do observado no método do fluxo de caixa descontado, além da indicação de um valor significativo calculado para as opções reais contidas na análise.

Cabe ressaltar que, embora diversos autores sugiram maior aderência do processo de reversão à média para essas commodities, a modelagem deste estudo realizado por Avilés (2009) foi baseada no Movimento Geométrico Browniano, sendo inclusive indicada pelo autor (op. cit) como possível limitação de estudo e sugestão para trabalhos futuros.

2.2.

Referencial teórico

Embora os métodos de avaliação mais tradicionais sejam quantitativos, existe uma boa parcela de subjetividade no processo de avaliação (Damodaran, 2002). A aplicabilidade de cada método utilizado para avaliação está sujeita a limitações as quais devem ser levadas em consideração no momento de se escolher uma determinada abordagem, e compreender qual o ferramental mais apropriado para a realização da análise. Uma escolha inadequada no método pode induzir à decisões que não maximizem o valor da empresa.

2.2.1.

Valor presente líquido e o método do fluxo de caixa descontado

O Valor Presente Líquido (VPL) tem sido o indicador financeiro mais utilizado na avaliação econômico-financeira. Este indicador é calculado a partir do método do Fluxo de Caixa Descontado (FCD) cuja abordagem consiste em descontar para o instante zero (momento a partir do qual está sendo projetada a avaliação) os fluxos de caixa futuros projetados a uma taxa de desconto adequada ao negócio (ou projeto).

O VPL apresenta uma série de vantagens em comparação com os tradicionais métodos de avaliação. Essa metodologia oferece uma relativa simplicidade e facilidade de compreensão por utilizar-se de uma base quantitativa fundamentada apenas nas entradas e saídas de caixa ao invés de empregar resultados contábeis, conquistando a preferência nas práticas empresarias e acadêmicas, conforme descrito por Copeland et al (2005).

No entanto, esse método apresenta uma série de limitações e tem sido alvo de diversas críticas. De acordo com o exposto por Brandão (2002), o FCD desconsidera as decisões gerenciais que podem ocorrer após o início de um projeto e alterar a operação ou estratégia empresarial visando melhores resultados em face ao comportamento do mercado. Com isso, o método mostra fragilidade, pois desconsidera o valor da flexibilidade gerencial diante de um cenário de incertezas e utiliza na avaliação apenas as informações disponíveis no momento inicial para valoração do negócio ou projeto. Além disso, o método do FCD considera que o projeto é executado ou não naquele momento, sem haver possibilidade de adiamento ou abandono, sem ser afetado pelas mudanças

inerentes ao mercado e tampouco por futuras decisões e contingências gerenciais (Dixit e Pindyck, 1995).

Mun (2002) também alerta para as consequências possivelmente geradas a partir da adoção equivocada do método de avaliação, e atenta para o fato de que o método do FCD pode apresentar falhas ao considerar um processo de tomada de decisão estático que não contempla as opções geradas em um ambiente de incertezas e flexibilidade gerencial, podendo apontar para decisões equivocadas.

Outro ponto crítico na utilização do FCD reside na forma como os fluxos de caixa são descontados, ou seja, na taxa de desconto a ser aplicada na avaliação. O cálculo do VPL considera uma taxa estática, supostamente ajustada ao risco, definida no instante inicial do projeto e que será aplicada durante todo período de análise. Considerando-se o ambiente de volatilidade dos mercados, há uma forte tendência de o risco do negócio se alterar ao longo do período de análise (e normalmente são utilizados horizontes de tempo longos que aumentam ainda mais estas incertezas) alterando assim a taxa de desconto e afetando, por conseguinte, o valor da avaliação. Segundo Smith e McCardle (1998), taxas de desconto ajustadas ao risco têm um impacto sensível, sobretudo a projetos de longo prazo, e existe uma preocupação por parte dos gestores de que essas taxas possam subestimar o valor destes projetos.

Com intuito de superar essas limitações em análises que envolvem um alto grau de incerteza, irreversibilidade de investimentos e a presença de flexibilidade gerencial, diversos autores (op. cit) têm sugerido a utilização de avaliação através do método das Opções Reais.

2.2.2. Teoria de opções reais

A teoria de Opções Reais tem sua origem atrelada ao desenvolvimento dos conceitos da teoria de Opções Financeiras, as quais estão entre os instrumentos financeiros denominados derivativos. Uma particularidade importante das opções é o fato de elas proporcionarem ao seu titular um direito, e não uma obrigação, de serem realizadas no futuro. Existe um custo associado à obtenção desse direito, o qual é comumente definido como prêmio.

Conforme apresentado por Hull (2005), existem basicamente dois tipos de opções. A opção de compra (*call*) dá ao seu detentor o direito (mas não a obrigação) de comprar um ativo a um preço pré-estabelecido e dentro de um determinado período de tempo. A opção de venda (*put*), por sua vez, proporciona ao seu detentor o direito (mas não a obrigação) de vender um ativo a um preço pré-estabelecido, dentro de um determinado prazo.

Existe ainda, conforme descreve o autor (opt. cit), uma diferenciação entre as opções a qual está relacionada ao período de exercício. Opções que só podem ser exercidas na data de vencimento são denominadas opções européias, enquanto as opções que podem ser exercidas a qualquer momento até o vencimento são denominadas americanas.

Um dos principais marcos da teoria de opções financeiras está vinculado ao trabalho de Black e Scholes (1973). Este trabalho apresentou um modelo de apreçamento de opções de compra européias que passou a ser denominado como modelo de Black-Scholes.

Esse modelo utiliza o conceito de que uma ação segue um processo estocástico através de um Movimento Geométrico Browniano (MGB), implicando que o preço da ação tem uma distribuição lognormal.

O desenvolvimento do modelo de Black e Scholes está baseado nos seguintes pressupostos:

- O comportamento de preços dos ativos segue uma distribuição lognormal, onde o retorno e a volatilidade são constantes;
- Não existem custos operacionais de transação, impostos ou margens;
- Todos os ativos são perfeitamente divisíveis;
- Os ativos não pagam dividendos até o período de vencimento da opção;
- Não há oportunidade de arbitragem livre de risco
- A negociação com os ativos é contínua;
- É possível captar ou emprestar qualquer valor à taxa de juros livre de risco e são permitidas vendas a descoberto;
- A taxa livre de risco é constante.

Com base nessas premissas e na resolução de equações diferenciais a partir do lema de Ito, Black e Scholes chegaram à seguinte fórmula para apreamento de opções de compra européias de ações sem dividendos:

$$C = SN(d_1) - Xe^{-rt} N(d_2) \quad (1)$$

Onde

$$d_1 = \frac{\ln(S/X) + (r - \sigma^2/2) * t}{\sigma\sqrt{t}} = \quad (2)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{t} \quad (3)$$

Sendo que:

$N(d_1)$ = função de distribuição normal acumulada para d_1

$N(d_2)$ = função de distribuição normal acumulada para d_2

C = valor da opção de compra européia

S = valor atual do ativo

X = preço de exercício da opção

t = período até o vencimento

r = taxa de juros livre de risco

σ^2 = variância do logaritmo neperiano (ln) do valor do ativo

Partindo para a realidade dos ativos reais, a teoria de opções estendeu os conceitos desenvolvidos através das opções financeiras para os ativos não financeiros ou reais. As analogias descritas na tabela 1 foram atribuídas para relacionar as variáveis envolvidas na análise de opções:

Opções Financeiras	Opções Reais
Opção de compra (<i>call</i>)	Opção de investir
Valor da ação	Valor do projeto
Preço de exercício	Valor do investimento no projeto
Tempo para expiração da opção	Tempo de expiração da oportunidade de investimento
Taxa livre de risco	Taxa livre de risco
Volatilidade da ação	Volatilidade do projeto
Dividendos	Fluxo de caixa dos ativos

Tabela 1: Comparação entre Opções Financeiras e Reais

A complexidade envolvendo a avaliação das opções reais, no entanto, fez com que esta transição requeresse adaptações e avanços que permitissem superar algumas limitações para obtenção de resultados práticos. Para algumas destas diferenças, houve apenas um relaxamento das premissas originais, mas em alguns casos foi necessário maior aprofundamento para que se pudesse admitir a aplicabilidade do modelo.

No caso da inexistência de mercados completos (conceito que permite a utilização de um portfólio replicante e do princípio de não arbitragem para determinação das probabilidades neutras a risco) Copeland e Antikarov (2002) propõem que o preço de mercado do ativo seja baseado no valor presente do fluxo determinístico do projeto sem flexibilidade. Segundo os autores (op. cit), essa premissa denominada Market Asset Disclaimer (MAD), oferece uma condição de mercado completo para o projeto.

Outrossim, no sentido de buscar alternativas que assegurassem a maior aderência dos conceitos para aplicações em opções reais, outros modelos surgiram trazendo alicerces para o desenvolvimento do método.

O modelo binomial desenvolvido por Cox, Ross e Rubinstein (1979) apresenta relativa simplicidade e pode ser modelado em tempo discreto através de uma árvore binomial. Em comparação com a solução analítica esta abordagem gera menor precisão, porém esta pode ser aumentada com a utilização de intervalos de tempo menores, ou seja, com um maior número de períodos até a data de exercício, o que no caso limite tenderia ao modelo contínuo.

Neste modelo, a cada passo da árvore binomial o preço (S) é multiplicado por uma variável aleatória que pode assumir dois valores, u ou d . A figura 1 ilustra graficamente esse trajeto.

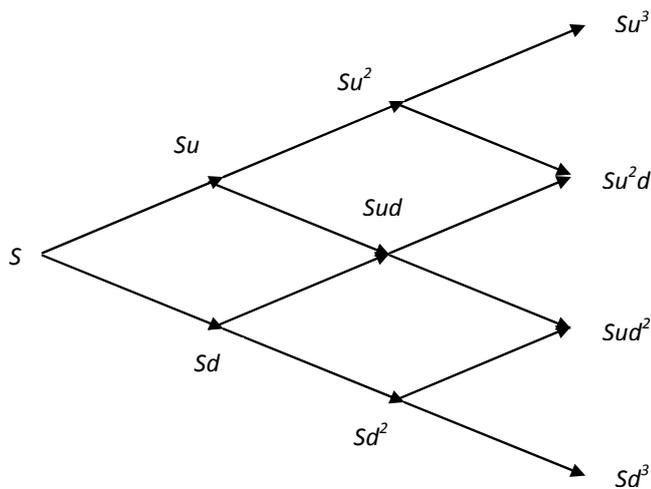


Figura 1: Modelo de Cox, Ross e Rubinstein

Para que o modelo, onde p é a probabilidade de o preço aumentar de S para Su , represente uma distribuição lognormal, é necessário assumir valores para u e d , de modo que a média (μ) e a variância (σ) dos retornos de S sejam os mesmos que os parâmetros do Movimento Geométrico Browniano de S .

Os valores dos parâmetros de crescimento e queda (u e d) são calculados a partir da volatilidade (σ) do valor do ativo em um determinado intervalo de tempo Δt , conforme as seguintes fórmulas:

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad (4)$$

$$d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}} = \frac{1}{u} \quad (5)$$

Com relação à probabilidade, esta é tida como neutra ao risco e calculada em função dos parâmetros acima descritos e da taxa livre de risco (r), conforme a fórmula 1.6.

$$p = \frac{e^{rt} - d}{u - d} \quad (6)$$

Considerando a combinação de duas variáveis estocásticas independentes, é relevante citar também o modelo quadrinomial proposto por Copeland e Antikarov (2002). Esse modelo consiste em uma extensão da árvore binomial e, desta forma, possibilita a modelagem simultânea de duas incertezas.

Outro método utilizado para resolução de problemas de opções é através de simulação de Monte Carlo, o qual se baseia em simulações estocásticas para determinar prováveis valores e comportamentos das variáveis. Este método foi utilizado por Boyle (1977) para o apreamento de opções do tipo européia. Dias (www.puc-rio.br/marco.ind/monte-carlo.html) destaca que sua utilização em opções reais permite simular diversas fontes de incerteza que afetam o valor da opção.

Por fim, cabe comentar as diferentes categorias de opções. Copeland e Antikarov (2002) descrevem cinco classificações de opções de investimentos em ativos reais mutuamente exclusivas, mas não exaustivas, as quais são identificadas conforme segue:

- Opção de abandono é a opção de abandonar ou vender um projeto, o que adiciona valor ao projeto, pois permite que se evite um cenário ruim esperado, sendo mais valioso do que um projeto que não possua essa alternativa.
- Opção de adiar ou diferir a possibilidade de esperar para a realização de um investimento buscando o melhor momento para sua realização tendo em vista novas informações que podem apresentar cenários mais favoráveis ou minimizar as incertezas de um projeto.
- Opção de expandir permite a realização de investimentos adicionais trazendo maior escala e visando maiores retornos face às condições mais favoráveis para o projeto.
- Opção de contrair incorpora a flexibilidade de reduzir a escala de um projeto mediante os novos fatos ou expectativas que possam ser desfavoráveis ao escopo original.
- Opção de alternância considera a possibilidade de conversão entre dois modos distintos de operação, admitindo que esta seja alternativamente interrompida e reiniciada.