

Introdução

Essa dissertação faz parte de um projeto de uma parceria da PUC-Rio com a empresa Petrobras, visando aplicar a teoria de **Opções Reais na avaliação de investimentos em projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)**, com a finalidade de valorar um projeto considerando as suas flexibilidades.

O método de fluxo de caixa descontado (FCD) e seu principal indicador, o Valor Presente Líquido (VPL) foram usados durante muito tempo como o método adequado para a tomada de decisão de investimentos. Porém, no mundo real a maioria das decisões tem em comum algumas características como irreversibilidade, incerteza sobre os ganhos futuros e o *timing*. Ou seja, um investimento não pode ser totalmente desfeito sem que haja algum custo perdido. Além disso, como não se pode prever o futuro perfeitamente, há incertezas envolvendo ganhos ou perdas obtidos. Por último, há sempre alguma liberdade de ação no tempo, formando-se assim possibilidades de flexibilidades dentro de um projeto que precisam ser avaliadas.

Como afirma Trigeorgis (1996), as flexibilidades gerenciais podem ser vistas como um leque de opções reais (OR) que agregam valor ao projeto. A regra convencional de VPL não considera essas características. Porém, é justamente a interação desses elementos que determina a regra ótima de investimento. Por isso, será usada a metodologia moderna de OR para análise e decisão de investimento sob incertezas, uma vez que essa metodologia considera as flexibilidades gerenciais (opções).

Com isso, será feito um estudo de caso de uma tecnologia que está sendo desenvolvida pelo centro de pesquisa da Petrobras - CENPES (Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello), visando elaborar análises econômicas de OR relacionadas ao projeto.

A tecnologia, designada XTL está dividida em duas etapas: um gaseificador + GTL. O Gaseificador é uma tecnologia que permite transformar

sólidos (biomassa), líquidos (óleo extra pesado, por exemplo) e gás natural (GN) em gás de síntese (GS), que será usado como *input* do GLT. Já o GTL é uma tecnologia que possibilita transformar GS em líquidos de alta qualidade, tais como nafta, diesel, parafinas e lubrificantes. O GTL pode ter flexibilidade de *output*, isso quer dizer que se pode variar o percentual de cada líquido a ser produzido. Além disso, os *inputs* também podem variar.

Para elaborar esse projeto, foi necessário analisar e modelar as séries temporais de preços dos *inputs* e dos *outputs*. Através das opções de troca de insumo foi possível valorar cada uma das flexibilidades. Ou seja, avaliar a capacidade que o projeto tem de trocar de *input* e/ou *output* de acordo com as suas necessidades. Assim, em cada cenário é escolhida a cesta que maximiza o lucro do projeto usando as novas tecnologias. Essa política ótima dirá se vale a pena usar o gaseificador ou não, se o gás vai para o XTL ou se vai para o mercado, por exemplo. Do mesmo modo serão respondidas perguntas quanto aos demais *inputs* e *outputs*.

Um dos aspectos mais importantes na avaliação de OR é determinar de que forma serão tratadas as incertezas do projeto. Na maioria dos estudos, assume-se que esses fatores de incerteza seguem um processo estocástico, ou seja, sua evolução no tempo tem uma parcela de aleatoriedade. Nesse trabalho, os preços serão considerados estocásticos e seguirão o Movimento de Reversão à Média (MRM), pois se acredita que os preços das *commodities* têm relação no longo prazo, que fazem com que eles retornem para um nível médio. Explicando melhor, no MRM, se os preços estão baixos, a demanda tende a aumentar e a oferta a diminuir, levando a um aumento dos preços. Já se os preços estiverem altos, o inverso acontece. Será usada a simulação de Monte Carlo (SMC) desses processos estocásticos para calcular o valor da planta XTL.

O apreamento de opções através de SMC pode ser dividido em três passos: primeiro faz-se a simulação dos preços através da geração de números aleatórios para cada variável de estado e construção dos caminhos dos preços. O segundo passo é determinar o *payoff* da planta. Essa etapa dependerá das características específicas da opção que se pretende apreçar. O último estágio é o apreamento da opção através da média das simulações.

Esse estudo será estruturado em seis partes. No capítulo 2, faz-se um estudo da teoria das opções reais (TOR). Primeiramente, compara-se a TOR com o método tradicional de análise de fluxo de caixa. Em seguida, relacionam-se as principais características das OR, bem como seus diversos tipos. O terceiro capítulo apresenta conceitos e definições que servem de base para a TOR. No capítulo 4, desenvolve-se todo o processo da tecnologia XTL, sua evolução histórica, estágios, as plantas existentes no mundo e benefícios. O quinto capítulo busca explicar detalhes de custo e receitas de uma planta XTL, assim como relata demais premissas necessárias ao projeto tanto geral como o caso particular que servirá de análise, além de desenvolver as variáveis estocásticas do modelo, definindo seus parâmetros e processos estocásticos. No capítulo 6, servindo-se da SMC, avalia-se o projeto XTL.

1.1.1.

Posicionamento da Dissertação

Os conhecimentos relativos às opções e aos derivativos financeiros em geral vêm experimentando significativos desenvolvimentos nas últimas décadas, com um nível de sofisticação cada vez maior nos modelos desenvolvidos. O conteúdo dessa dissertação reside nos conceitos de teoria das opções, em especial OR. Desta forma, o Modelo de Black & Scholes & Merton (1973) pode ser considerado um ponto de partida para esta teoria.

Black e Scholes (1973), em um artigo revolucionário, apresentaram um modelo de equilíbrio de mercado para apreçamento de opções, que até hoje é utilizado. Nesta abordagem, conhecida como análise de ativos contingenciais, não é necessário conhecer a atitude do investidor frente ao risco, nem suas expectativas quanto à taxa de retorno esperada sobre a opção e o ativo objeto. As relações matemáticas entre o valor da opção, o tempo até o vencimento do contrato e o preço do ativo objeto (ação) são obtidas pelo princípio de arbitragem. Resumidamente, em um mercado em equilíbrio não há como obter retorno acima da taxa livre de risco mediante a formação de uma carteira sem risco. O resultado

desta teoria é uma equação diferencial que, juntamente com as condições de contorno adequadas, pode ser usada para derivar uma expressão analítica para o valor da opção.

Para derivar a fórmula de apreçamento de opções¹ Black e Scholes assumiram condições ideais no mercado para a ação e a opção. As premissas adotadas foram: A taxa de juros sem risco é constante e conhecida no tempo; o preço da ação segue um Movimento Geométrico Browniano; a variância da taxa de retorno da ação é constante; a ação não paga dividendos ou qualquer outro benefício durante a vida útil da opção; a opção só pode ser exercida no vencimento (opção européia); não existem custos de transação nem impostos; todos os títulos são perfeitamente divisíveis; não há oportunidade de arbitragem (ganhos sem risco); a negociação com títulos é contínua; as taxas de juros para emprestar e tomar emprestado é a mesma e vendas a descoberto são permitidas sem nenhuma restrição nem requerimento de margem.

Seguindo a linha de raciocínio de Black, e Scholes, Merton (1973) prova que o mesmo modelo alcançaria resultados idênticos, porém sujeito a suposições menos restritivas. Merton mostra que no caso da ação pagar dividendos, os processos descritos por Black e Scholes podem também ser aplicado, obtendo-se uma nova equação diferencial. Contudo, em geral esta equação diferencial não pode ser resolvida analiticamente, ou seja, não possui uma solução fechada. Merton também mostra que se a ação não paga dividendos, ou se a opção é protegida contra tais pagamentos, jamais valerá a pena exercer uma opção americana de compra antes do vencimento. Porém, se a ação paga dividendo e a opção não é protegida contra tais pagamentos, pode valer a pena exercer a opção americana antes do vencimento uma vez que o detentor da opção perde o valor do dividendo para o dono das ações, podendo este valor ser superior à uma opção européia com as mesmas características. Merton também demonstra que se uma ação paga dividendo discreto, pode compensar exercê-la em datas imediatamente anteriores ao pagamento dos mesmos, porém jamais entre as datas em que estes ocorram.

¹ Aqui equivale a uma opção de compra do tipo européia.

Já o termo “opções reais”, foi lançado em 1977 por S. Myers mostrando que as oportunidades de expansão de uma empresa (novos investimentos) podem ser vistas como sendo análogas às opções de compra. Começava assim uma nova abordagem para a análise das decisões de investimento em projetos industriais. Em 1979, o brasileiro O. Tourinho, em sua tese, pela primeira vez mostrou que reservas de recursos naturais (como o petróleo) podem ser entendidas e avaliadas como opções.

O modelo mais citado e popular sobre a avaliação e a decisão de investimento em reservas petrolíferas, usando a teoria de opções, foi desenvolvido por Paddock & Siegel & Smith (1988). Eles usaram a teoria de avaliação de opções para determinar o preço justo para a concessão de um bloco de petróleo, integrando um modelo explícito de equilíbrio de mercado para um ativo real e a teoria de apreçamento de opções para obter o valor de uma opção real. Além disso, descreveram as diferenças entre as opções financeiras e as OR e mostraram como os obstáculos que surgem dessa analogia podem ser superados. Concluíram que a avaliação de reservas através da teoria de opções reais apresenta vantagens frente ao método tradicional de Fluxo de Caixa Descontado.

Na década de 80, outros importantes trabalhos de OR foram publicados. Podem ser citados modelos como: Kester (1984), com opções de crescimento das firmas e o efeito da competição, modelado de forma exógena; Brennan & Schwartz (1985), valoraram uma mina de cobre considerando a interação entre as OR (investimento, parada temporária, reativação e abandono da mina); Majd & Pindyck (1987), considera o tempo de construção nas decisões de investimento; McDonald & Siegel (1985) com opção de suspender a produção temporariamente, sempre que os custos operacionais forem superiores aos proveitos operacionais; Kulatilaka (1988) analisou opções dos sistemas flexíveis de manufatura e tecnologia flexível de produção.

Na década de 90 houve um surto na literatura de OR, com dezenas de artigos como o do Pindyck (1993) e Trigeorgis (1993). O primeiro livro especializado sobre o tema foi publicado em 1994 de Dixit & Pindyck, “Investment under Uncertainty”, depois Trigeorgis publicou em 1996, no estilo

“livro-texto” com ênfase em modelos de tempo discreto ao contrário de Dixit & Pindyck, que enfatizam a abordagem em tempo contínuo.

Mais relacionado às opções de *switch input / output*, Kulatilaka e Marcus (1992), exemplificaram (ainda que de uma forma introdutória) como podem ser avaliados projetos flexíveis utilizando uma unidade termoeleétrica que, para produzir eletricidade, tanto pode utilizar gás como carvão, ou seja, há flexibilidade no *input*.

De uma forma mais profunda, este problema foi novamente estudado por Kulatilaka (1993 e 1995a). Onde apresenta um modelo de programação dinâmica que permite avaliar uma unidade industrial com flexibilidade ao nível dos seus *inputs* energéticos. Na mesma linha, Brekke e Schieldrop (2000) estudaram uma solução analítica [ao contrário da solução numérica de Kulatilaka (1993)] para avaliar este tipo de opção. Neste modelo adota-se comportamentos estocásticos para o preço de ambos os *inputs* [Kulatilaka (1993) assumiu que um dos *inputs* tinha preço constante].

Já com relação à flexibilidade no *output*, Fine e Freund (1990) desenvolveram um modelo para avaliar uma indústria com flexibilidade ao nível produtivo. Esta flexibilidade permite à empresa responder, no futuro, as alterações ao nível da demanda. Dado que este tipo de unidade exige um investimento mais elevado, importa determinar o seu valor, para compará-lo com outro investimento em que essa flexibilidade não exista. E Triantis e Hodder (1990) construíram um modelo que possuía flexibilidade no nível do produto, ou seja, capacidade de produzir diferentes produtos. O autor argumenta que, com pequenas alterações, esse modelo também poderá ser adaptado para avaliar a flexibilidade ao nível dos *inputs*. Kamrad e Ernst (1995) analisaram a flexibilidade de uma unidade produtiva de tipo multi-produto.

Uma das contribuições dessa dissertação será a mistura das possibilidades de flexibilidade tanto no *input* como no *output* e analisar a viabilidade econômica da tecnologia que permita essas flexibilidades. Além disso, todos os preços serão considerados estocásticos.

Após estas publicações, diversas outras foram realizadas, como a publicação de Cortazar e Schwartz (1998) que aplicaram a SMC para avaliar a opção real de desenvolver um poço de petróleo. Dixit e Pindyck (1994) e Trigeorgis (1996) também fizeram publicações analisando modelos de investimentos na indústria do petróleo e outros recursos naturais.

Nesse trabalho será utilizado o método de SMC para calcular o valor dessas opções de *switch*. Tendo sido inicialmente criado com o objetivo de resolver problemas na área de física, este método tem se destacado, sendo usado no cálculo dos preços das opções, na medição de risco de mercado e de crédito, no cálculo do Valor em Risco, na análise de projetos de investimento e mais recentemente na solução das OR.