

5

Conclusões e Recomendações para Futuras Pesquisas

Nesta tese foram apresentadas diversas metodologias de modelagem de incertezas por processos de reversão à média e mostrada sua aplicação à Indústria brasileira de etano.

O capítulo 2 abordou a modelagem dos processos estocásticos mais conhecidos de reversão à média, os quais contrariamente ao movimento geométrico browniano, são diversos. Inicialmente o capítulo tratou da determinação da validade do processo estocástico, de forma a determinar se este pode ser modelado por um MGB ou se um MRM descreve melhor o comportamento da variável. Essa verificação é normalmente feita por um teste de raiz unitária como forma de determinar se o comportamento da série de valores conforme um MGB é rejeitado estatisticamente. No entanto diversos trabalhos apontam para o fato que é extremamente difícil rejeitar a presença de uma raiz unitária, mesmo quando a série de valores apresenta claros indícios de reversão à um nível de equilíbrio em longo prazo. É sugerido então a abordagem proposta por Pindyck de razão da variância, a qual mede até que ponto os choques estocásticos numa série são permanentes ou tendem a se dissipar pelo efeito da reversão à média. Conclui-se que uma série pode apresentar comportamentos parciais de cada modelo estocástico, caminho aleatório e auto-regressivo e, portanto deve-se levar em conta tanto considerações teóricas quanto estatísticas na escolha do processo estocástico.

A seguir o capítulo 2 aborda a modelagem de vários processos de reversão à média: o Ornstein Uhlenbeck , aritmético de fator único, e os de Dixit & Pindyck , Schwartz e Dias/Marlim geométricos de um fator único. Para todos estes são desenvolvidas ou mostradas (quando já existentes na literatura) as expressões do valor esperado, da discretização ajustada e neutra ao risco, fundamental para avaliação de derivativos por simulação, e a metodologia de estimação de parâmetros a partir de séries históricas de valores da variável estocástica. Este ponto é fundamental para avaliação pela teoria de opções reais, pois esta

geralmente trata de projetos de longo prazo, cujas variáveis estocásticas muitas vezes não são preços de *commodities* negociados em bolsas de derivativos, com séries de preços futuros existentes. A falta de um mercado futuro com forte liquidez impede o uso de técnicas como o filtro de *Kalman* o qual permitira estimar todos os parâmetros do processo, inclusive o prêmio de risco deste. Portanto, para séries tais como crescimento do PIB, volume de veículos, demandas de mercados, ou mesmo séries de preços sem cotações futuras, somente se conta com valores históricos dos quais é necessário estimar os parâmetros do processo a ser modelado. Também são analisados alguns processos de dois fatores e para um destes, além das expressões do valor esperado e da discretização, é desenvolvida uma abordagem para estimação de parâmetros como visto acima. Esse resultado é útil a medida que permite modelar um processo como tendo características de reversão à média através de um fator de curto prazo, e outras de caminho aleatório, por um fator de longo prazo. A estimação dos parâmetros precisa de algumas restrições para ser feita, tal como suposições sobre a correlação entre os dois fatores. Assim mesmo a abordagem desenvolvida é inovadora e de grande aplicação prática, como mostrado nos resultados das séries analisadas, as quais apresentam elementos dos dois processos estocásticos.

O capítulo 3 aborda outro tema relacionado a modelagem de processos de reversão à média: a montagem de árvores binomiais recombinantes, ou *lattices* que permitem a avaliação de ativos contingentes, ou opções mesmo que estas tenham exercício anterior ao vencimento, conhecidas como opções americanas. Esse é geralmente o caso das opções reais que espelham a flexibilidade gerencial disponível em projetos ou empresas. O capítulo mostra uma abordagem já conhecida de árvore binomial para reversão à média, censurada. É proposta outra metodologia bastante próxima, porém não censurada, e que retorna uma precisão maior mesmo para casos de grande desvio inicial com relação à média de longo prazo. No mesmo capítulo também é mostrada a abordagem de combinação de árvores de reversão à média, seja com outra reversão ou com uma árvore de movimento geométrico browniano, a qual é robusta o suficiente para avaliar com precisão opções escritas sobre duas variáveis estocásticas ou cuja única variável tenha dois comportamentos independentes e correlacionados. A abordagem é ilustrada ainda nesse capítulo pela avaliação de uma opção real hipotética, porém

baseada em dados reais, de expansão de uma usina de açúcar em usina flexível de etanol e açúcar.

Finalmente o capítulo 4, em formato de artigo acadêmico, utiliza os resultados e metodologias expostas anteriormente para a modelagem e avaliação de uma opção real de alternância disponível às usinas flexíveis de cana de açúcar no Brasil: a opção de escolha da produção entre etanol e açúcar. Neste caso também são usadas as séries históricas de preços pagos ao produtor no Estado de São Paulo para estimar os fluxos de caixa das duas opções de produção. Como se está em presença de duas variáveis estocásticas independentes e correlacionadas é usada a abordagem de árvore bi-variável de dois MRMs para modelar os fluxos de caixa. São comparados os resultados obtidos para essa opção com aqueles da modelagem por MGB das mesmas variáveis estocásticas. Os resultados mostram que a opção tem valor substancial, porém que o processo estocástico usado tem grande influência sobre este, sendo neste caso muito superior quando o MGB é utilizado na modelagem.

Os três capítulos descritos contribuem com a literatura sobre opções reais em vários níveis. As abordagens aqui desenvolvidas propõem métodos que permitem escolher o processo estocástico de forma a reproduzir o comportamento das variáveis incertas de forma mais realista, quanto esta pode estar seguindo um comportamento auto-regressivo. Muitas vezes a teoria de opções reais é aplicada usando resultados de abordagens clássicas como a aplicação da equação de Black, Scholes e Merton (1973) em função de sua facilidade de uso e simplicidade de modelagem, que frequentemente permite o uso direto de soluções analíticas. Isso decorre em grande parte das características matemáticas do Movimento Geométrico Browniano, dependente apenas de um número limitado de parâmetros os quais são facilmente levantados de séries de valor históricas, e tem a discretização grandemente facilitada. No entanto, como visto nos capítulos 3 e 4 a escolha do processo estocástico pode influenciar grandemente no resultado da avaliação por opções reais gerando resultados muito diferentes por um processo ou por outro. E dependendo dos parâmetros e das condições iniciais das variáveis, essa diferença pode ser para mais ou para menos.

Portanto a abordagem aqui desenvolvida, baseada no modelo de Schwartz e Smith (2000) que permite modelar um processo com características tanto de MGB como de MRM, estimando seus parâmetros a partir de séries históricas e

modelando este resultado em árvores bi-variáveis que permitem calcular opções de exercício antecipado, cobre uma lacuna importante das metodologias de apreçamento de ativos contingentes comumente utilizadas.

Como sugestões para futuros trabalhos na mesma linha de pesquisas, fica a de desenvolver abordagem semelhante para processos compostos com saltos. Os processos com saltos de Poisson são facilmente modeláveis em equações de simulação de processos estocásticos, como mostrado por Dias e Rocha (1999) além de reproduzir um comportamento real de baixa intensidade em variáveis estocásticas. No entanto, o levantamento de parâmetros destes processos envolve o desenvolvimento de metodologias principalmente quando considerando um processo com saltos compostos com outro processo estocástico, seja um MGB ou um MRM. Ao considerarmos a série histórica de uma variável incerta, o isolamento do fenômeno de descontinuidade matemática que representa o salto de Poisson pode ser parametrizado por algum processo de filtrações da série. No entanto a série resultante do isolamento ou filtração do fenômeno de salto precisa sofrer alterações em função dessa própria filtração, e só então pode-se proceder a estimação dos parâmetros do processo resultante, seja ele um MGB ou um MRM. Diversas variáveis de preços, como os de energia elétrica, por exemplo, e outras de mercado apresentam comportamento altamente volátil, sujeito a choques temporários e de forte intensidade. Geralmente para reproduzir esse comportamento é aumentada a volatilidade dos parâmetros de uma abordagem por MGB. Abordagens desse tipo com frequência introduzem leituras erradas dos comportamentos estocásticos das variáveis incertas, levando a decisões não ótimas de investimento. Portanto fica aparente a relevância de futura pesquisa nesse sentido, e a contribuição que estas podem trazer para a mesma linha desenvolvida neste trabalho.