



Nayara Lopes Gomes

**Modelo GARCH de Apreçamento de Opções via
Simulação Histórica Filtrada: Uma Aplicação
para o Mercado Brasileiro**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Elétrica da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Cristiano Augusto Coelho Fernandes
Co-orientador: Prof. Paulo Henrique Soto Costa

Rio de Janeiro
Outubro de 2011



Nayara Lopes Gomes

**Modelo GARCH de Apreçamento de Opções via
Simulação Histórica Filtrada: Uma Aplicação
para o Mercado Brasileiro**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Cristiano Augusto Coelho Fernandes
Orientador
Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

Prof. Paulo Henrique Soto Costa
Co-Orientador
UFF

Prof. Antonio Carlos Figueiredo Pinto
Departamento de Administração

Prof. Antonio Marcos Duarte Júnior
IBMEC

Prof. Joel Maurício Corrêa da Rosa
UFF

Prof. José Eugenio Leal
Coordenador Setorial do Centro
Técnico Científico

Rio de Janeiro, 07 de outubro de 2011

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

Nayara Lopes Gomes

Graduou-se em Estatística na Universidade de Brasília (UnB) em 2007. Trabalha atualmente como Estatística no Instituto Nacional de Traumatologia e Ortopedia do Ministério da Saúde.

Ficha Catalográfica

Gomes, Nayara Lopes

Modelo GARCH de apreçamento de opções via simulação histórica filtrada: uma aplicação para o mercado brasileiro / Nayara Lopes Gomes ; orientador: Cristiano Augusto Coelho Fernandes ; co- orientador: Paulo Henrique Soto Costa. – 2012.

80 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica, 2012.

Inclui bibliografia

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Simulação histórica filtrada. 3. Modelos de apreçamento de opções. 4. Modelo GARCH. 5. Simulação Monte Carlo. I. Fernandes, Cristiano Augusto Coelho. II. Costa, Paulo Henrique Soto. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. IV. Título.

CDD: 621.3

Agradecimentos

Aos meus pais pelo amor, positivismo e confiança transmitidos e aos demais familiares pelo carinho e atenção.

Ao meu orientador, primeiramente por acreditar em mim e no meu trabalho, pela força, paciência, disponibilidade e ensinamentos, fundamentais para que eu concluísse este trabalho. Ao meu co-orientador por aceitar essa parceria e por me atender sempre que necessário.

Ao colaborador Prof. Mancini pela presteza, atenção e materiais disponibilizados, os quais me permitiram aplicar o modelo utilizado nessa dissertação.

À Diretoria de Estudos Setoriais do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada pelo incentivo para realização do mestrado e pelas horas de trabalhos cedidas.

Aos queridos amigos brasilienses e cariocas por toda a força e pelas diversas palavras de apoio e motivação. Em especial: Bárbara, Camila, Eric, Eliane, Jhonatan, Jordana, Mariana, Raphael, Renata e Vera.

Aos colegas da PUC, em especial, Manoel e Alexandre pelas colaborações e apoio e as queridas amigas Bianca, Flávia e Úrsulla pelo enorme carinho e por estarem sempre ao meu lado.

À PUC-Rio pelos auxílios concedidos.

Resumo

Gomes, Nayara Lopes; Fernandes, Cristiano Augusto Coelho (Orientador); Costa, Paulo Henrique Soto (Co-orientador). **Modelo GARCH de Apreçamento de Opções via Simulação Histórica Filtrada: uma Aplicação para o Mercado Brasileiro**. Rio de Janeiro, 2011. 80p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O modelo implementado neste trabalho, proposto em Barone-Adesi, Engle e Mancini (2008), utiliza o método da Simulação Histórica Filtrada em conjunto com a simulação de Monte Carlo para calibração de parâmetros de um modelo GARCH a partir do qual opções do mercado brasileiro são apreçadas. Os retornos da simulação são gerados a partir das inovações empíricas obtidas no modelo GARCH assimétrico ajustado aos retornos diários das ações. Os resultados obtidos apontam para ajustes satisfatórios dentro da amostra, quando comparado ao modelo de Black & Scholes. No entanto, fora da amostra, resultados similares foram verificados para ambos os modelos de apreçamento.

Palavras-chave

Simulação Histórica Filtrada; Modelos de apreçamento de opções; Modelo GARCH; Simulação Monte Carlo.

Abstract

Gomes, Nayara Lopes; Fernandes, Cristiano Augusto Coelho (Advisor); Costa, Paulo Henrique Soto (Co-advisor). **GARCH Option Pricing Model via Filtered Historical Simulation: an Application on the Brazilian Market.** Rio de Janeiro, 2011. 80p. MSc. Dissertation - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The model implemented in this work, proposed by Barone-Adesi, Engle, and Mancini (2008), applies the Filtered Historical Simulation method based on Monte Carlo simulation to calibrate the parameters of a GARCH model in which options from Brazilian market are priced. The simulated returns are generated from empirical innovations obtained by an asymmetric GARCH model adjusted for daily stock returns. The results suggest a satisfactory in-sample fit when compared to the Black & Scholes model. However, similar results were observed out-of-sample for both pricing models.

Keywords

Filtered Historical Simulation; Option Pricing Models; GARCH model; Monte Carlo Simulation

Sumário

1 . Introdução	12
1.1. Objetivos	13
1.2. Contribuição do estudo	13
1.3. Organização dos capítulos	14
2 . O mercado de opções	16
2.1. Conceitos do mercado de opções	16
2.2. Medida neutra ao risco e o mercado completo	20
2.3. Estrutura de negociação na bolsa	22
2.4. Agentes do mercado financeiro	24
2.5. Perfil do mercado brasileiro	26
3. Modelos de Apreçamento de Opções	30
3.1. O modelo de Black&Scholes (B&S)	31
3.2. Simulação de Monte Carlo	34
3.3. Modelos GARCH	35
3.3.1. Alternativas para a especificação da volatilidade	37
3.3.1.1. GARCH Exponencial (EGARCH) - Nelson (1991).	37
3.3.1.2. GJR GARCH - Glosten, Jagannathan and Runkle (1993)	38
3.3.1.3. GARCH Não Linear (NGARCH) - Engle and Ng (1993)	38
3.3.1.4. GARCH Integrado (IGARCH) - Bollerslev (1986)	39
3.3.2. Estimação dos parâmetros	39
3.4. O modelo GARCH de apreçamento via Simulação Histórica Filtrada (<i>GARCH-SHF</i>)	40
3.4.1. Metodologia	41
4. Aplicação para o mercado brasileiro	46
4.1. Dados	46
4.2. Ajuste dos retornos com modelo GARCH	48
4.3. Calibração do modelo GARCH-SHF dentro da amostra	51
4.4. Resultados fora da amostra	57
5. Conclusão e possíveis extensões	62
6. Referência Bibliográficas	64
7. Apêndice	67
Apêndice A - Rotinas para calibração do modelo GARCH-SHF com inovações empíricas	67
Apêndice B - Restrições impostas aos parâmetros GJR GARCH	77
Apêndice C - Algoritmo fminsearch	78
Apêndice D – Resultados das calibrações	79

Lista de tabelas

Tabela 1: Classificação das opções quanto ao <i>moneyness</i>	18
Tabela 2: Códigos de vencimento das opções.....	23
Tabela 3: Opções sobre ações negociadas na BM&FBOVESPA, 2010.	26
Tabela 4: Estatísticas descritivas dos preços (em R\$) das opções sobre ações negociadas na BM&FBOVESPA, 2010.....	26
Tabela 5: Opções de compra sobre ações mais negociadas na BM&FBOVESPA, 2010.....	27
Tabela 6: Estatísticas descritivas das estimativas dos parâmetros GJR GARCH.....	49
Tabela 7: Estatísticas descritivas das estimativas dos parâmetros GARCH-SHF calibrados.	53
Tabela 8: REQM dos modelos de apreçamento dentro da amostra segundo moneyness e prazo de vencimento, 2010.	54
Tabela 9: Percentual de super-apreçamento dos modelos avaliados dentro da amostra segundo prazo de vencimento e <i>moneyness</i> , 2010.	56
Tabela 10: REQM dos modelos de apreçamento fora da amostra segundo moneyness e prazo de vencimento, 2010.	58
Tabela 11: Percentual de super-apreçamento dos modelos avaliados fora da amostra segundo prazo de vencimento e <i>moneyness</i> , 2010.	60
Tabela 12: MAPE dos modelos de apreçamento dentro da amostra segundo <i>moneyness</i> e prazo de vencimento, 2010.	80

Lista de figuras

Figura 1: Resultado de uma opção de venda.....	19
Figura 2: Resultado de uma opção de compra.....	19
Figura 3: Lucro/Prejuízo de uma opção de venda.....	19
Figura 4: Lucro/Prejuízo de uma opção de compra.....	19
Figura 5: Box-Plot dos preços (em R\$) das opções de compra sobre ações da VALE5, 2010.....	27
Figura 6: Volume negociado das opções de compra sobre ações da VALE5 segundo seus prazos de vencimento, 2010.	28
Figura 7: Volume negociado das opções de compra sobre ações da VALE5 segundo faixa de <i>moneyness</i> , 2010.	28
Figura 8: Retornos logarítmicos diários das ações da VALE5 -	47
Figura 9: Histograma dos retornos logarítmicos diários das ações da VALE5 - ..	48
Figura 10: Histograma das estimativas de μ	49
Figura 11: Histograma das estimativas de α_0	49
Figura 12: Histograma das estimativas de α_1	49
Figura 13: Histograma das estimativas de β	49
Figura 14: Histograma das estimativas de α_2	50
Figura 15: Q-Q plot normal das inovações estimadas em 07/07/2010.....	50
Figura 16: Volatilidades diárias estimadas em 07/07/2010.	51
Figura 17: REQM do modelo de Black & Scholes sob diferentes especificações da volatilidade utilizada segundo Quartas-Feiras de apreçamento, 2010.....	52
Figura 18: Erros quadráticos do modelo B&S dentro da amostra para cada uma das opções negociadas segundo <i>moneyness</i> , 2010.	55
Figura 19: Erros quadráticos do modelo GARCH-SHF dentro da amostra para cada uma das opções negociadas segundo <i>moneyness</i> , 2010.....	55
Figura 20: REQM dos modelos de apreçamento, dentro da amostra, segundo Quartas-Feiras de 2010.....	56
Figura 21: REQM dos modelos de apreçamento, fora da amostra, segundo Quartas-Feiras de 2010.....	59
Figura 22: Erros quadráticos fora da amostra para cada uma das opções negociadas segundo <i>moneyness</i> e modelo avaliado, 2010.	60

Figura 23: Histograma das estimativas de α_0^*	79
Figura 24: Histograma das estimativas de α_1^*	79
Figura 25: Histograma das estimativas de β^*	79
Figura 26: Histograma das estimativas de α_2^*	79

Há uma coisa que é essencial a uma grande
experiência: Uma natureza experimentadora.

Walter Bagehot