



Gustavo Jardim de Moraes

Análise da Teoria dos Valores Extremos e da Simulação de Monte Carlo para o cálculo do *Value-at-Risk* em carteiras de investimentos de ativos de renda variável

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Carlos Patrício Samanez

Rio de Janeiro
Abril de 2011

Gustavo Jardim de Moraes

Análise da Teoria dos Valores Extremos e da Simulação de Monte Carlo para o cálculo do *Value-at-Risk* em carteiras de investimentos de ativos de renda variável.

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

Prof. Carlos Patrício Samanez

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Professor José Paulo Texeira

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Professor Fábio Rodrigo Siqueira Batista

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Professor José Eugênio Leal

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico – PUC – Rio.

Rio de Janeiro, 14 de Abril de 2011

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

Gustavo Jardim de Moraes

Graduado em Engenharia de Produção Elétrica e Engenharia Elétrica com Ênfase em Sistemas de Apoio à Decisão na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro em 2007. Após estágio no mercado financeiro e trabalhar como engenheiro projetista, retornou mercado financeiro para um Banco de Investimentos. Fez cursos na área no Brasil e em Londres.

Ficha Catalográfica

Moraes, Gustavo Jardim de

Análise da teoria dos valores extremos e da simulação de Monte Carlo para o cálculo do value-at-risk em carteiras de investimentos de ativos de renda variável / Gustavo Jardim de Moraes ; orientador: Carlos Patrício Samanez. – 2010.

225 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2010.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Valor em risco. 3. Teoria dos valores extremos. 4. Simulação de Monte Carlo. 5. Medida Ômega I. Samanez, Carlos Patrício. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

Para minha família, obrigado por todo o incentivo!

Obrigado também aos meus professores da Puc-Rio, aos colegas de turma e funcionários, e à Capes, pelo apoio financeiro e investimento em pesquisa!

“ If I have seen further, it is by standing on the shoulders of giants”

Sir Isaac Newton

Resumo

Morais, Gustavo Jardim; Samanez, Carlos Patrício. **Análise da Teoria dos Valores Extremos e da Simulação de Monte Carlo para o cálculo do *Value-at-Risk* em carteiras de investimentos de ativos de renda variável.** Rio de Janeiro, RJ, 2010. 225p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Após as recentes crises financeiras que se abateram sobre os mercados financeiros de todo o mundo, com mais propriedade a de 2008/2009, mas ainda a crise no Leste Europeu em Julho/2007, a moratória Russa em Outubro/1998, e, no âmbito nacional, a mudança no regime cambial brasileiro, em Janeiro/1999, as instituições financeiras incorreram em grandes perdas em cada um desses eventos e uma das principais questões levantadas acerca dos modelos financeiros diziam respeito ao gerenciamento de risco. Os diversos métodos de cálculo do *Value-at-risk*, bem como as simulações e cenários traçados por analistas não puderam prever sua magnitude nem tampouco evitar que a crise se agravasse. Em função disso, proponho-me à questão de estudar os sistemas de gerenciamento de risco financeiro, na medida em que este pode e deve ser aprimorado, sob pena de catástrofes financeiras ainda maiores. Embora seu conteúdo se mostre tão vasto na literatura, as metodologias para cálculo de valor em risco não são exatas e livres de falhas. Nesse contexto, coloca-se necessário o desenvolvimento e aprimoramento de ferramentas de gestão de risco que sejam capazes de auxiliar na melhor alocação dos recursos disponíveis, avaliando o nível de risco à que um investimento está exposto e sua compatibilidade com seu retorno esperado.

Palavras - chave

Valor em risco; Teoria dos Valores Extremos; Simulação de Monte Carlo; Medida Ômega.

Abstract

Morais, Gustavo Jardim; Samanez, Carlos Patrício (Advisor). **Analysis of Extreme Values Theory and Monte Carlo Simulation for the calculation of value-at-risk in stock portfolios.** Rio de Janeiro, RJ, 2010. 225p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

After recent financial crisis that have hit financial markets all around the world, with more property on 2008/2009 periods, the Eastern Europe crisis in 2007, the Russian moratorium on October/1998, and with Brazilian national exchange rate regime change on January/1999, financial institutions have incurred in large losses on each of these events and one of the main question raised about the financial models related to risk management. The Value-at-Risk management and its many forms to calculate it, as well as the simulations and scenarios predicted by analysts could not predict its magnitude or prevent crisis worsened. As a result, I intent to study the question of financial systems management, in order to improve the existing methods, under the threat that even bigger financial disasters are shall overcome. Although it's content is vast on scientific literature, the Value-at-Risk calculate is not exact and free of flaws. In this context, there is need for the development and improvement of risk management tools that are able to assist in a better asset equities allocation of resources, equalizing the risk level of an investment and it's return.

Keywords

Value at Risk; Extreme Value Theory; Omega Theory, Asset allocation management.

Sumário

1.	Introdução	32
1.1	O surgimento dos modelos de gestão de risco financeiro	33
1.2	Revisão histórica	35
1.3	Motivação	37
1.4	Estrutura do trabalho	39
2.	O value-at-risk	42
2.1	Definição	42
2.2	Definição do var	44
2.3	Critérios para o backtesting	46
2.4	Validação do modelo	46
2.5	O VaR simulado	48
2.6	As limitações do VaR e o CVaR	49
3.	A construção das carteiras de investimento	51
3.1	A teoria das carteiras	51
3.2	Retorno e variância de uma carteira	52
3.3	A seleção da carteira ótima	52
3.4	O modelo de índice único	53
3.5	A seleção da carteira ótima no contexto do modelo de índice único	56
3.6	Uso da medida ômega para montar uma carteira otimizada de ativos	57
4.	Metodologias para mensuração do valor em risco	64
4.1	A teoria dos valores extremos (t.v.e.)	64
4.2	O teorema de fischer - tippet	67
4.3	Estimação dos parâmetros da distribuição de valores extremos	68
4.4	A simulação de monte carlo	75

4.5	A simulação de monte carlo e a teoria dos valores extremos	80
5.	Construção das carteiras de investimentos	81
5.1	Carteira A	84
5.2	Carteira B	88
5.3	Carteira C	90
5.4	Carteira D	93
5.5	Carteira E	96
5.6	Metodologia para o cálculo da carteira teórica do Ibovespa	99
6.	Análise do Value – at - Risk	101
6.1	Carteira A	102
6.2	Carteira B	110
6.3	Carteira C	115
6.4	Carteira D	121
6.5	Carteira E	126
6.6	Análise do backtesting	131
7.	Conclusão	133
8.	Bibliografia	146
9.	Apêndice A: simulações de VaR por s.m.c e t.v.e. para carteiras constituídas por M.I.U. e M.O.	150
10.	Apêndice B: Hill – plot das carteiras de investimento calculadas por M.I.U. e M.O.	191

Lista de figuras

Figura 1 – Fronteira eficiente de Markowitz	36
Figura 2 – Análise da performance de 2 carteiras	59
Figura 3 – Distribuição de retornos com $L = 1,4$	61
Figura 4 – Distribuição de probabilidades	62
Figura 5 – Distribuição de probabilidades cumulativa	77
Figura 6 – Distribuição de frequência	78
Figura 7 – VaR – Carteira A.M.I.U.T.V.E. – $p = 0,50\%$	151
Figura 8 – VaR – Carteira A.M.I.U.S.M.C. – $p = 0,50\%$	151
Figura 9 – VaR – Carteira A.M.I.U.T.V.E. – $p = 1\%$	151
Figura 10 – VaR – Carteira A.M.I.U.S.M.C. – $p = 1\%$	151
Figura 11 – VaR – Carteira A.M.I.U.T.V.E. – $p = 2,5\%$	152
Figura 12 – VaR – Carteira A.M.I.U.S.M.C. – $p = 2,5\%$	152
Figura 13 – VaR – Carteira A.M.I.U.T.V.E. – $p = 5\%$	152
Figura 14 – VaR – Carteira A.M.I.U.S.M.C. – $p = 5\%$	152
Figura 15 – VaR – Carteira A.M.O.L.=0%.T.V.E. – $p = 0,50\%$	153
Figura 16 – VaR – Carteira A.M.O.L.=0%.S.M.C. – $p = 0,50\%$	153
Figura 17 – VaR – Carteira A.M.O.L.=0%.T.V.E. – $p = 1\%$	153
Figura 18 – VaR – Carteira A.M.O.L.=0%.S.M.C. – $p = 1\%$	153
Figura 19 – VaR – Carteira A.M.O.L.=0%.T.V.E. – $p = 2,5\%$	154

Figura 20 – VaR – Carteira A.M.O.L.=0%.S.M.C. – $p = 2,5\%$	154
Figura 21 – VaR – Carteira A.M.O.L.=0%.T.V.E. – $p = 5\%$	154
Figura 22 – VaR – Carteira A.M.O.L.=0%.S.M.C. – $p = 5\%$	154
Figura 23 – VaR – Carteira A.M.O.L.=2,5%.T.V.E. – $p = 0,5\%$	155
Figura 24 – VaR – Carteira A.M.O.L.=2,5%.S.M.C. – $p = 0,5\%$	155
Figura 25 – VaR – Carteira A.M.O.L.=2,5%.T.V.E. – $p = 1\%$	155
Figura 26 – VaR – Carteira A.M.O.L.=2,5%.S.M.C. – $p = 1\%$	155
Figura 27 – VaR – Carteira A.M.O.L.=2,5%.T.V.E. – $p = 2,5\%$	156
Figura 28 – VaR – Carteira A.M.O.L.=2,5%.S.M.C. – $p = 2,5\%$	156
Figura 29 – VaR – Carteira A.M.O.L.=2,5%.T.V.E. – $p = 5\%$	156
Figura 30 – VaR – Carteira A.M.O.L.=2,5%.S.M.C. – $p = 5\%$	156
Figura 31 – VaR – Carteira A.M.O.L.=5%.T.V.E. – $p = 0,5\%$	157
Figura 32 – VaR – Carteira A.M.O.L.=5%.S.M.C. – $p = 0,5\%$	157
Figura 33 – VaR – Carteira A.M.O.L.=5%.T.V.E. – $p = 1\%$	157
Figura 34 – VaR – Carteira A.M.O.L.=5%.S.M.C. – $p = 1\%$	157
Figura 35 – VaR – Carteira A.M.O.L.=5%.T.V.E. – $p = 2,5\%$	158
Figura 36 – VaR – Carteira A.M.O.L.=5%.S.M.C. – $p = 2,5\%$	158
Figura 37 – VaR – Carteira A.M.O.L.=5%.T.V.E. – $p = 5\%$	158
Figura 38 – VaR – Carteira A.M.O.L.=5%.S.M.C. – $p = 5\%$	158
Figura 39 – VaR – Carteira B.M.I.U.T.V.E. – $p = 0,50\%$	159

Figura 40 – VaR – Carteira B.M.I.U.S.M.C. – $p = 0,50\%$	159
Figura 41 – VaR – Carteira A\B.M.I.U.T.V.E. – $p = 1\%$	159
Figura 42 – VaR – Carteira B.M.I.U.S.M.C. – $p = 1\%$	159
Figura 43 – VaR – Carteira B.M.I.U.T.V.E. – $p = 2,5\%$	160
Figura 44 – VaR – Carteira B.M.I.U.S.M.C. – $p = 2,5\%$	160
Figura 45 – VaR – Carteira B.M.I.U.T.V.E. – $p = 5\%$	160
Figura 46 – VaR – Carteira B.M.I.U.S.M.C. – $p = 5\%$	160
Figura 47 – VaR – Carteira B.M.O.L.=0%.T.V.E. – $p = 0,50\%$	161
Figura 48 – VaR – Carteira B.M.O.L.=0%.S.M.C. – $p = 0,50\%$	161
Figura 49 – VaR – Carteira B.M.O.L.=0%.T.V.E. – $p = 1\%$	161
Figura 50 – VaR – Carteira B.M.O.L.=0%.S.M.C. – $p = 1\%$	161
Figura 51 – VaR – Carteira B.M.O.L.=0%.T.V.E. – $p = 2,5\%$	162
Figura 52 – VaR – Carteira B.M.O.L.=0%.S.M.C. – $p = 2,5\%$	162
Figura 53 – VaR – Carteira B.M.O.L.=0%.T.V.E. – $p = 5\%$	162
Figura 54 – VaR – Carteira B.M.O.L.=0%.S.M.C. – $p = 5\%$	162
Figura 55 – VaR – Carteira B.M.O.L.=2,5%.T.V.E. – $p = 0,5\%$	163
Figura 56 – VaR – Carteira B.M.O.L.=2,5%.S.M.C. – $p = 0,5\%$	163
Figura 57 – VaR – Carteira B.M.O.L.=2,5%.T.V.E. – $p = 1\%$	163
Figura 58 – VaR – Carteira B.M.O.L.=2,5%.S.M.C. – $p = 1\%$	163
Figura 59 – VaR – Carteira B.M.O.L.=2,5%.T.V.E. – $p = 2,5\%$	164

Figura 60 – VaR – Carteira B.M.O.L.=2,5%.S.M.C. – $p = 2,5\%$	164
Figura 61 – VaR – Carteira B.M.O.L.=2,5%.T.V.E. – $p = 5\%$	164
Figura 62 – VaR – Carteira B.M.O.L.=2,5%.S.M.C. – $p = 5\%$	164
Figura 63 – VaR – Carteira B.M.O.L.=5%.T.V.E. – $p = 0,5\%$	165
Figura 64 – VaR – Carteira B.M.O.L.=5%.S.M.C. – $p = 0,5\%$	165
Figura 65 – VaR – Carteira B.M.O.L.=5%.T.V.E. – $p = 1\%$	165
Figura 66 – VaR – Carteira B.M.O.L.=5%.S.M.C. – $p = 1\%$	165
Figura 67 – VaR – Carteira B.M.O.L.=5%.T.V.E. – $p = 2,5\%$	166
Figura 68 – VaR – Carteira B.M.O.L.=5%.S.M.C. – $p = 2,5\%$	166
Figura 69 – VaR – Carteira B.M.O.L.=5%.T.V.E. – $p = 5\%$	166
Figura 70 – VaR – Carteira B.M.O.L.=5%.S.M.C. – $p = 5\%$	166
Figura 71 – VaR – Carteira C.M.I.U.T.V.E. – $p = 0,50\%$	167
Figura 72 – VaR – Carteira C.M.I.U.S.M.C. – $p = 0,50\%$	167
Figura 73 – VaR – Carteira C.M.I.U.T.V.E. – $p = 1\%$	167
Figura 74 – VaR – Carteira C.M.I.U.S.M.C. – $p = 1\%$	167
Figura 75 – VaR – Carteira C.M.I.U.T.V.E. – $p = 2,5\%$	168
Figura 76 – VaR – Carteira C.M.I.U.S.M.C. – $p = 2,5\%$	168
Figura 77 – VaR – Carteira C.M.I.U.T.V.E. – $p = 5\%$	168
Figura 78 – VaR – Carteira C.M.I.U.S.M.C. – $p = 5\%$	168
Figura 79 – VaR – Carteira C.M.O.L.=0%.T.V.E. – $p = 0,50\%$	169

Figura 80 – VaR – Carteira C.M.O.L.=0%.S.M.C. – $p = 0,50\%$	169
Figura 81 – VaR – Carteira C.M.O.L.=0%.T.V.E. – $p = 1\%$	169
Figura 82 – VaR – Carteira C.M.O.L.=0%.S.M.C. – $p = 1\%$	169
Figura 83 – VaR – Carteira C.M.O.L.=0%.T.V.E. – $p = 2,5\%$	170
Figura 84 – VaR – Carteira C.M.O.L.=0%.S.M.C. – $p = 2,5\%$	170
Figura 85 – VaR – Carteira C.M.O.L.=0%.T.V.E. – $p = 5\%$	170
Figura 86 – VaR – Carteira C.M.O.L.=0%.S.M.C. – $p = 5\%$	170
Figura 87 – VaR – Carteira C.M.O.L.=2,5%.T.V.E. – $p = 0,5\%$	171
Figura 88 – VaR – Carteira C.M.O.L.=2,5%.S.M.C. – $p = 0,5\%$	171
Figura 89 – VaR – Carteira C.M.O.L.=2,5%.T.V.E. – $p = 1\%$	171
Figura 90 – VaR – Carteira C.M.O.L.=2,5%.S.M.C. – $p = 1\%$	171
Figura 91 – VaR – Carteira C.M.O.L.=2,5%.T.V.E. – $p = 2,5\%$	172
Figura 92 – VaR – Carteira C.M.O.L.=2,5%.S.M.C. – $p = 2,5\%$	172
Figura 93 – VaR – Carteira C.M.O.L.=2,5%.T.V.E. – $p = 5\%$	172
Figura 94 – VaR – Carteira C.M.O.L.=2,5%.S.M.C. – $p = 5\%$	172
Figura 95 – VaR – Carteira C.M.O.L.=5%.T.V.E. – $p = 0,5\%$	173
Figura 96 – VaR – Carteira C.M.O.L.=5%.S.M.C. – $p = 0,5\%$	173
Figura 97 – VaR – Carteira C.M.O.L.=5%.T.V.E. – $p = 1\%$	173
Figura 98 – VaR – Carteira C.M.O.L.=5%.S.M.C. – $p = 1\%$	173
Figura 99 – VaR – Carteira C.M.O.L.=5%.T.V.E. – $p = 2,5\%$	174

Figura 100 – VaR – Carteira C.M.O.L.=5%.S.M.C. – $p = 2,5\%$	174
Figura 101 – VaR – Carteira C.M.O.L.=5%.T.V.E. – $p = 5\%$	174
Figura 102 – VaR – Carteira C.M.O.L.=5%.S.M.C. – $p = 5\%$	174
Figura 103 – VaR – Carteira D.M.I.U.T.V.E. – $p = 0,50\%$	175
Figura 104 – VaR – Carteira D.M.I.U.S.M.C. – $p = 0,50\%$	175
Figura 105 – VaR – Carteira D.M.I.U.T.V.E. – $p = 1\%$	175
Figura 106 – VaR – Carteira D.M.I.U.S.M.C. – $p = 1\%$	175
Figura 107 – VaR – Carteira D.M.I.U.T.V.E. – $p = 2,5\%$	176
Figura 108 – VaR – Carteira D.M.I.U.S.M.C. – $p = 2,5\%$	176
Figura 109 – VaR – Carteira D.M.I.U.T.V.E. – $p = 5\%$	176
Figura 110 – VaR – Carteira D.M.I.U.S.M.C. – $p = 5\%$	176
Figura 111 – VaR – Carteira D.M.O.L.=0%.T.V.E. – $p = 0,50\%$	177
Figura 112 – VaR – Carteira D.M.O.L.=0%.S.M.C. – $p = 0,50\%$	177
Figura 113 – VaR – Carteira D.M.O.L.=0%.T.V.E. – $p = 1\%$	177
Figura 114 – VaR – Carteira D.M.O.L.=0%.S.M.C. – $p = 1\%$	177
Figura 115 – VaR – Carteira D.M.O.L.=0%.T.V.E. – $p = 2,5\%$	178
Figura 116 – VaR – Carteira D.M.O.L.=0%.S.M.C. – $p = 2,5\%$	178
Figura 117 – VaR – Carteira D.M.O.L.=0%.T.V.E. – $p = 5\%$	178
Figura 118 – VaR – Carteira D.M.O.L.=0%.S.M.C. – $p = 5\%$	178
Figura 119 – VaR – Carteira D.M.O.L.=2,5%.T.V.E. – $p = 0,5\%$	179

Figura 120 – VaR – Carteira D.M.O.L.=2,5%.S.M.C. – $p = 0,5\%$	179
Figura 121 – VaR – Carteira D.M.O.L.=2,5%.T.V.E. – $p = 1\%$	179
Figura 122 – VaR – Carteira D.M.O.L.=2,5%.S.M.C. – $p = 1\%$	179
Figura 123 – VaR – Carteira D.M.O.L.=2,5%.T.V.E. – $p = 2,5\%$	180
Figura 124 – VaR – Carteira D.M.O.L.=2,5%.S.M.C. – $p = 2,5\%$	180
Figura 125 – VaR – Carteira D.M.O.L.=2,5%.T.V.E. – $p = 5\%$	180
Figura 126 – VaR – Carteira D.M.O.L.=2,5%.S.M.C. – $p = 5\%$	180
Figura 127 – VaR – Carteira D.M.O.L.=5%.T.V.E. – $p = 0,5\%$	181
Figura 128 – VaR – Carteira D.M.O.L.=5%.S.M.C. – $p = 0,5\%$	181
Figura 129 – VaR – Carteira D.M.O.L.=5%.T.V.E. – $p = 1\%$	181
Figura 130 – VaR – Carteira D.M.O.L.=5%.S.M.C. – $p = 1\%$	181
Figura 131 – VaR – Carteira D.M.O.L.=5%.T.V.E. – $p = 2,5\%$	182
Figura 132 – VaR – Carteira D.M.O.L.=5%.S.M.C. – $p = 2,5\%$	182
Figura 133 – VaR – Carteira D.M.O.L.=5%.T.V.E. – $p = 5\%$	182
Figura 134 – VaR – Carteira D.M.O.L.=5%.S.M.C. – $p = 5\%$	182
Figura 135 – VaR – Carteira E.M.I.U.T.V.E. – $p = 0,50\%$	183
Figura 136 – VaR – Carteira E.M.I.U.S.M.C. – $p = 0,50\%$	183
Figura 137 – VaR – Carteira E.M.I.U.T.V.E. – $p = 1\%$	183
Figura 138 – VaR – Carteira E.M.I.U.S.M.C. – $p = 1\%$	183
Figura 139 – VaR – Carteira E.M.I.U.T.V.E. – $p = 2,5\%$	184

Figura 140 – VaR – Carteira E.M.I.U.S.M.C. – $p = 2,5\%$	184
Figura 141 – VaR – Carteira E.M.I.U.T.V.E. – $p = 5\%$	184
Figura 142 – VaR – Carteira E.M.I.U.S.M.C. – $p = 5\%$	184
Figura 143 – VaR – Carteira E.M.O.L.=0%.T.V.E. – $p = 0,50\%$	185
Figura 144 – VaR – Carteira E.M.O.L.=0%.S.M.C. – $p = 0,50\%$	185
Figura 145 – VaR – Carteira E.M.O.L.=0%.T.V.E. – $p = 1\%$	185
Figura 146 – VaR – Carteira E.M.O.L.=0%.S.M.C. – $p = 1\%$	185
Figura 147 – VaR – Carteira E.M.O.L.=0%.T.V.E. – $p = 2,5\%$	186
Figura 148 – VaR – Carteira E.M.O.L.=0%.S.M.C. – $p = 2,5\%$	186
Figura 149 – VaR – Carteira E.M.O.L.=0%.T.V.E. – $p = 5\%$	186
Figura 150 – VaR – Carteira E.M.O.L.=0%.S.M.C. – $p = 5\%$	186
Figura 151 – VaR – Carteira E.M.O.L.=2,5%.T.V.E. – $p = 0,5\%$	187
Figura 152 – VaR – Carteira E.M.O.L.=2,5%.S.M.C. – $p = 0,5\%$	187
Figura 153 – VaR – Carteira E.M.O.L.=2,5%.T.V.E. – $p = 1\%$	187
Figura 154 – VaR – Carteira E.M.O.L.=2,5%.S.M.C. – $p = 1\%$	187
Figura 155 – VaR – Carteira E.M.O.L.=2,5%.T.V.E. – $p = 2,5\%$	188
Figura 156 – VaR – Carteira E.M.O.L.=2,5%.S.M.C. – $p = 2,5\%$	188
Figura 157 – VaR – Carteira E.M.O.L.=2,5%.T.V.E. – $p = 5\%$	188
Figura 158 – VaR – Carteira E.M.O.L.=2,5%.S.M.C. – $p = 5\%$	188
Figura 159 – VaR – Carteira E.M.O.L.=5%.T.V.E. – $p = 0,5\%$	189

Figura 160 – VaR – Carteira E.M.O.L.=5%.S.M.C. – $p = 0,5\%$	189
Figura 161 – VaR – Carteira E.M.O.L.=5%.T.V.E. – $p = 1\%$	189
Figura 162 – VaR – Carteira E.M.O.L.=5%.S.M.C. – $p = 1\%$	189
Figura 163 – VaR – Carteira E.M.O.L.=5%.T.V.E. – $p = 2,5\%$	190
Figura 164 – VaR – Carteira E.M.O.L.=5%.S.M.C. – $p = 2,5\%$	190
Figura 165 – VaR – Carteira E.M.O.L.=5%.T.V.E. – $p = 5\%$	190
Figura 166 – VaR – Carteira E.M.O.L.=5%.S.M.C. – $p = 5\%$	190
Figura 167 – Hill – plot da Carteira A.M.I.U. ($Kh = -18,43\%$; $q = 6$)	192
Figura 168 – Hill – plot da Carteira A.M.I.U. ($Kh = -18,86\%$; $q = 7$)	192
Figura 169 – Hill – plot da Carteira A.M.I.U. ($Kh = -18,86\%$; $q = 7$)	192
Figura 170 – Hill – plot da Carteira A.M.I.U. ($Kh = -23,52\%$; $q = 2$)	193
Figura 171 – Hill – plot da Carteira A.M.I.U. ($Kh = -26,11\%$; $q = 3$)	193
Figura 172 – Hill – plot da Carteira A.M.O.L=0% ($Kh = -14,87\%$; $q = 5$).	193
Figura 173 – Hill – plot da Carteira A.M.O.L=0% ($Kh = -14,87\%$; $q = 5$).	194
Figura 174 – Hill – plot da Carteira A.M.O.L=0% ($Kh = -14,87\%$; $q = 4$)	194
Figura 175 – Hill – plot da Carteira A.M.O.L=0% ($Kh = -11,42\%$; $q = 2$)	194
Figura 176 – Hill – plot da Carteira A.M.O.L=0% ($Kh = -11,42\%$; $q = 4$)	195

Figura 177 – Hill – plot da Carteira A.M.O.L=2,5% (Kh = -20,84% ; q = 3).	195
Figura 178 – Hill – plot da Carteira A.M.O.L=2,5% (Kh = -15,76% ; q = 4).	195
Figura 179 – Hill – plot da Carteira A.M.O.L=2,5% (Kh = -15,76% ; q = 4).	196
Figura 180– Hill – plot da Carteira A.M.O.L=2,5% (Kh = -25,42% ; q = 13).	196
Figura 181– Hill – plot da Carteira A.M.O.L=2,5% (Kh = -29,34% ; q = 14).	196
Figura 182 – Hill – plot da Carteira A.M.O.L=5% (Kh = -20,84% ; q = 3)	197
Figura 183 – Hill – plot da Carteira A.M.O.L=5% (Kh = -17,92% ; q = 4).	197
Figura 184 – Hill – plot da Carteira A.M.O.L=5% (Kh = -17,92% ; q = 4)	197
Figura 185 – Hill – plot da Carteira A.M.O.L=5% (Kh = -26,20% ; q = 13)	198
Figura 186 – Hill – plot da Carteira A.M.O.L=5% (Kh = -29,79% ; q = 10)	198
Figura 187 – Hill – plot da Carteira B.M.I.U. (Kh = -34,77% ; q = 13)	198
Figura 188 – Hill – plot da Carteira A.M.O.L=0% (Kh = -34,77% ; q = 13)	199
Figura 189 – Hill – plot da Carteira B.M.I.U. (Kh = -22,87% ; q = 4).	199

Figura 190 – Hill – plot da Carteira B.M.I.U. (Kh = -22,87% ; q = 4).	199
Figura 191 – Hill – plot da Carteira B.M.I.U. (Kh = -21,65% ; q = 3)	200
Figura 192 – Hill – plot da Carteira B.M.O.L.=0% (Kh = -3,87% ; q = 2)	200
Figura 193 – Hill – plot da Carteira B.M.O.L.=0% (Kh = -33,20% ; q = 23).	200
Figura 194 – Hill – plot da Carteira B.M.O.L.=0% (Kh = -37,28% ; q = 45)	201
Figura 195 – Hill – plot da Carteira B.M.O.L.=0% (Kh = -37,09% ; q = 44).	201
Figura 196 – Hill – plot da Carteira B.M.O.L.=0% (Kh = -37,47% ; q = 47).	201
Figura 197 – Hill – plot da Carteira B.M.O.L.=2,5% (Kh = -8,44% ; q = 3).	202
Figura 198 – Hill – plot da Carteira B.M.O.L.=2,5% (Kh = -9,33% ; q = 1)	202
Figura 199 – Hill – plot da Carteira B.M.O.L.=2,5% (Kh = -14,49% ; q = 3)	202
Figura 200 – Hill – plot da Carteira B.M.O.L.=2,5% (Kh = -12,44% ; q = 4).	203
Figura 201 – Hill – plot da Carteira B.M.O.L.=2,5% (Kh = -21,72% ; q = 17)	203
Figura 202 – Hill – plot da Carteira B.M.O.L.=5% (Kh = -18,33% ; q = 1)	203

Figura 203 – Hill – plot da Carteira B.M.O.L.=5% (Kh = -10,46% ; q = 2)	204
Figura 204 – Hill – plot da Carteira B.M.O.L.=5% (Kh = -10,46% ; q = 2).	204
Figura 205 – Hill – plot da Carteira B.M.O.L.=5% (Kh = -16,82% ; q = 2)	204
Figura 206 – Hill – plot da Carteira B.M.O.L.=5% (Kh = -12,19% ; q = 5)	205
Figura 207 – Hill – plot da Carteira C.M.I.U. (Kh = -19,73% ; q = 5)	205
Figura 208 – Hill – plot da Carteira C.M.O.L.=0% (Kh = -22,38% ; q = 5)	205
Figura 209 – Hill – plot da Carteira C.M.O.L.=0% (Kh = -13,91% ; q = 3)	206
Figura 210 – Hill – plot da Carteira C.M.O.L.=0% (Kh = -14,59% ; q = 3)	206
Figura 211 – Hill – plot da Carteira C.M.O.L.=0% (Kh = -12,40% ; q = 4)	206
Figura 212 – Hill – plot da Carteira C.M.O.L.=1% (Kh = -18,06% ; q = 2).	207
Figura 213 – Hill – plot da Carteira C.M.O.L.=1% (Kh = -23,61% ; q = 16)	207
Figura 214 – Hill – plot da Carteira C.M.O.L.=1% (Kh = -26,29% ; q = 16)	207

Figura 215 – Hill – plot da Carteira C.M.O.L.=1% (Kh = -12,78% ; q = 1)	208
Figura 216 – Hill – plot da Carteira C.M.O.L.=1% (Kh = -11,43% ; q = 1)	208
Figura 217 – Hill – plot da Carteira C.M.O.L.=2,5% (Kh = 22,35% ; q = 4)	208
Figura 218 – Hill – plot da Carteira C.M.O.L.=2,5% (Kh = 14,54% ; q = 1)	209
Figura 219 – Hill – plot da Carteira C.M.O.L.=2,5% (Kh = 15,75% ; q = 7)	209
Figura 220 – Hill – plot da Carteira C.M.O.L.=2,5% (Kh = -12,05% ; q = 6)	209
Figura 221 – Hill – plot da Carteira C.M.O.L.=2,5% (Kh = -6,82% ; q = 3)	210
Figura 222 – Hill – plot da Carteira C.M.O.L.=5% (Kh = -23,65% ; q = ,73)	210
Figura 223 – .Hill – plot da Carteira C.M.O.L.=5% (Kh = -20,57% ; q = 21)	210
Figura 224 – Hill – plot da Carteira C.M.O.L.=5% (Kh = -13,50% ; q = 2).	211
Figura 225 – Hill – plot da Carteira C.M.O.L.=5% (Kh = -13,50% ; q = 2)	211
Figura 226 – Hill – plot da Carteira C.M.O.L.=5% (Kh = -17,15% ; q = 12)	211
Figura 227 – Hill – plot da Carteira D.M.I.U. (Kh = -19,73% ; q = 5)	212

Figura 228 – Hill – plot da Carteira D.M.I.U. (Kh = -18,01% ; q = 2)	212
Figura 229 – Hill – plot da Carteira D.M.I.U. (Kh = -15,76% ; q = 4)	212
Figura 230 – Hill – plot da Carteira D.M.I.U. (Kh = -12,45% ; q = 3)	213
Figura 231 – Hill – plot da Carteira D.M.I.U. (Kh = -16,35% ; q = 10)	213
Figura 232 – Hill – plot da Carteira D.M.O.L.=0% (Kh = -16,57% ; q = 6)	213
Figura 233 – Hill – plot da Carteira D.M.O.L.=0% (Kh = -18,57% ; q = 2)	214
Figura 234 – Hill – plot da Carteira D.M.O.L.=0% (Kh = -15,76% ; q = 4)	214
Figura 235 – Hill – plot da Carteira D.M.O.L.=0% (Kh = -12,45% ; q = 3)	214
Figura 236 – Hill – plot da Carteira D.M.O.L.=0% (Kh = -16,35% ; q = 10)	215
Figura 237 – Hill – plot da Carteira D.M.O.L.=2,5% (Kh = -18,16% ; q = 6)	215
Figura 238 – Hill – plot da Carteira D.M.O.L.=2,5% (Kh = -17,28% ; q = 9)	215
Figura 239 – Hill – plot da Carteira D.M.O.L.=2,5% (Kh = -15,50%; q = 8)	216
Figura 240 – Hill – plot da Carteira D.M.O.L.=2,5% (Kh = -16,18%; q = 11)	216

Figura 241 – Hill – plot da Carteira D.M.O.L.=2,5% (Kh = -13,59%; q = 2)	216
Figura 242 – Hill – plot da Carteira D.M.O.L.=5% (Kh = -18,75%; q = 8)	217
Figura 243 – Hill – plot da Carteira D.M.O.L.=5% (Kh = -17,59%; q = 9)	217
Figura 244 – Hill – plot da Carteira D.M.O.L.=5% (Kh = -16,03%; q = 8)	217
Figura 245 – Hill – plot da Carteira D.M.O.L.=5% (Kh = -16,93%; q = 10)	218
Figura 246 – Hill – plot da Carteira D.M.O.L.=5% (Kh = -13,23%; q = 2)	218
Figura 247 – Hill – plot da Carteira E.M.I.U. (Kh = -9,03%; q = 3)	218
Figura 248 – Hill – plot da Carteira E.M.I.U. (Kh = -19,72%; q = 5).	219
Figura 249 – Hill – plot da Carteira E.M.I.U. (Kh = -13,66%; q = 7)	219
Figura 250 – Hill – plot da Carteira E.M.I.U. (Kh = -14,81%; q = 11)	219
Figura 251 – Hill – plot da Carteira E.M.I.U. (Kh = -15,27%; q = 1)	220
Figura 252 – Hill – plot da Carteira E.M.O.L. = 0% (Kh = -9,03%; q = 3)	220
Figura 253 – Hill – plot da Carteira E.M.O.L. = 0% (Kh = -18,73%; q = 4)	220

Figura 254 – Hill – plot da Carteira E.M.O.L. = 0% (Kh = -15,0%; q = 9)	221
Figura 255 – Hill – plot da Carteira E.M.O.L. = 0% (Kh = -17,42%; q = 10)	221
Figura 256 – Hill – plot da Carteira E.M.O.L. = 0% (Kh = -16,87%; q = 12)	221
Figura 257 – Hill – plot da Carteira E.M.O.L. = 2,5%% (Kh = -2,12; q = 2).	222
Figura 258 – Hill – plot da Carteira E.M.O.L. = 2,5% (Kh = -10,87%; q = 3)	222
Figura 259 – Hill – plot da Carteira E.M.O.L. = 2,5% (Kh = -15,65%; q = 2)	222
Figura 260 – Hill – plot da Carteira E.M.O.L. = 2,5% (Kh = -14,24% ; q = 3)	223
Figura 261 – Hill – plot da Carteira E.M.O.L. = 2,5% (Kh = -16,94% ; q = 17)	223
Figura 262 – Hill – plot da Carteira E.M.O.L. = 5% (Kh = -13,20% ; q = 2)	223
Figura 263 – Hill – plot da Carteira E.M.O.L. = 5% (Kh = -14,29% ; q = 2)	224
Figura 264 – .Hill – plot da Carteira E.M.O.L. = 5% (Kh = -15,71% ; q = 2)	224
Figura 265 – Hill – plot da Carteira E.M.O.L. = 5% (Kh = -14,13% ; q = 3)	224
Figura 266 – Hill – plot da Carteira E.M.O.L. = 5% (Kh = -17,14% ; q = 16))	225

Lista de tabelas

Tabela 1 – Tipos de erro do modelo	47
Tabela 2 – Distribuição de frequências de cotação de uma moeda	77
Tabela 3 – Geração de números aleatórios	79
Tabela 4 – 15 ações mais negociadas (1994.1 – 1996.2)	85
Tabela 5 – Otimização no contexto M.I.U. para as 15 ações mais negociadas (1994.2 – 1996.2)	85
Tabela 6 – Otimização no contexto M.O.L. = 0% para as 15 ações mais negociadas (1994.2 – 1996.2)	87
Tabela 7 – – Otimização no contexto M.O.L. = 2,5% para as 15 ações mais negociadas (1994.2 – 1996.2)	87
Tabela 8 – – Otimização no contexto M.O.L. = 5% para as 15 ações mais negociadas (1994.2 – 1996.2)	87
Tabela 9 – Otimização no contexto do M.I.U. e M.O. para as 15 ações mais negociadas no período 1994.2 – 1996.2.	87
Tabela 10 – 15 ações mais negociadas (1997.1 – 1998.2)	88
Tabela 11 – Otimização no contexto M.I.U. para as 15 ações mais negociadas (1997.1 – 1998.2)	89
Tabela 12 – Otimização no contexto M.O.L. = 0% para as 15 ações mais negociadas (1997.1 – 1998.2)	89
Tabela 13 – Otimização no contexto M.O.L. = 2,5% para as 15 ações mais negociadas (1997.1 – 1998.2)	90

Tabela 14 – Otimização no contexto M.O.L. = 5% para as 15 ações mais negociadas (1997.1 – 1998.2)	90
Tabela 15 – Otimização no contexto do M.I.U. e M.O. para as 15 ações mais negociadas no período 1997.1 – 1998.2.	90
Tabela 16 – 15 ações mais negociadas (1999.1 – 2000.2)	91
Tabela 17 – Otimização no contexto M.I.U. para as 15 ações mais negociadas (1999.1 – 2000.2)	91
Tabela 18 – Otimização no contexto M.O.L. = 0% para as 15 ações mais negociadas (1999.1 – 2000.2)	92
Tabela 19 – Otimização no contexto M.O.L. = 2,5% para as 15 ações mais negociadas (1999.1 – 2000.2)	92
Tabela 20 – Otimização no contexto M.O.L. = 5% para as 15 ações mais negociadas (1999.1 – 2000.2)	92
Tabela 21 – Otimização no contexto M.I.U. e M.O. para as 15 ações mais negociadas (1999.1 – 2000.2)	93
Tabela 22 – 15 ações mais negociadas (1999.1 – 2000.2)	94
Tabela 23 – Otimização no contexto M.I.U. para as 15 ações mais negociadas (2001.1 – 2002.2)	94
Tabela 24 – Otimização no contexto M.O.L. = 0% para as 15 ações mais negociadas (2001.1 – 2002.2)	95
Tabela 25 – Otimização no contexto M.O.L. = 2,5% para as 15 ações mais negociadas (2001.1 – 2002.2)	95
Tabela 26 – Otimização no contexto M.O.L. = 5% para as 15 ações mais negociadas (2001.1 – 2002.2)	95

Tabela 27 – Otimização no contexto do M.I.U. e M.O. para as 15 ações mais negociadas no período 2001.1 – 2002.2	96
Tabela 28 – 15 ações mais negociadas (2003.1 – 2004.2)	96
Tabela 29 – Otimização no contexto M.I.U. para as 15 ações mais negociadas (2003.1 – 2004.2)	97
Tabela 30 – Otimização no contexto M.O.L. = 0% para as 15 ações mais negociadas (2003.1 – 2004.2)	98
Tabela 31 – Otimização no contexto M.O.L. = 2,5% para as 15 ações mais negociadas (2003.1 – 2004.2)	98
Tabela 32 – Otimização no contexto M.O.L. = 5% para as 15 ações mais negociadas (2003.1 – 2004.2)	98
Tabela 33 – Otimização no contexto do M.I.U. e M.O. para as 15 ações mais negociadas no período 2003.1 – 2004.2	99
Tabela 34 – Otimização no contexto do M.I.U. e M.O. para as 15 ações mais negociadas no período 1994.2 – 1996.2	103
Tabela 35 –Análise do desempenho das simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira A.M.I.U	105
Tabela 36 –Análise do desempenho das simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira A.M.O.L. = 0%.	107
Tabela 37 –Análise do desempenho das simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira A.M.O.L. = 2,5%	108
Tabela 38 –Análise do desempenho das simulaçãoe T.V.E. e S.M.C. para a Carteira A.M.O.L. = 5%	109
Tabela 39 –Análise do desempenho das simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira B.M.I.U	111

Tabela 40 –Análise do desempenho das simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira B.M.O.L. = 0%	112
Tabela 41 –Análise do desempenho das simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira B.M.O.L. = 2,5%	113
Tabela 42 –Análise do desempenho das simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira B.M.O.L. = 5%	115
Tabela 43 –Análise do desempenho das simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira C.M.I.U	116
Tabela 44 –Análise do desempenho das simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira C.M.O.L. = 0%	117
Tabela 45 –Análise do desempenho das simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira C.M.O.L. = 2,5%	119
Tabela 46 –Análise do desempenho das simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira C.M.O.L. = 5%	120
Tabela 47 –Análise do desempenho das simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira D.M.I.U.	121
Tabela 48 –Análise do desempenho das simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira D.M.O.L. = 0%.	123
Tabela 49 –Análise do desempenho das simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira D.M.O.L. = 2,5%	124
Tabela 50 –Análise do desempenho das simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira D.M.O.L. = 5%	125
Tabela 51 –Análise do desempenho das simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira E.M.I.U	127
Tabela 52 –Análise do desempenho das simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira E.M.O.L. = 0%.	128

Tabela 53 –Análise do desempenho das simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira E.M.O.L. = 2,5%.	129
Tabela 54 –Análise do desempenho das simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira E.M.O.L. = 5%.	131
Tabela 55 – Otimização no contexto do M.I.U. e M.O. para as 15 ações mais negociadas no período 1994.2 – 1996.2	134
Tabela 56 – Otimização no contexto do M.I.U. e M.O. para as 15 ações mais negociadas no período 1997.1 – 1998.2	134
Tabela 57 – Otimização no contexto do M.I.U. e M.O. para as 15 ações mais negociadas no período 1999.1 – 2000.2	134
Tabela 58 – Otimização no contexto do M.I.U. e M.O. para as 15 ações mais negociadas no período 2001.1 – 2002.2	135
Tabela 59 – Otimização no contexto do M.I.U. e M.O. para as 15 ações mais negociadas no período 2003.1 – 2004.2	135
Tabela 60 – Análise do desempenho das Simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira A constituída por Modelo de Índice Único	136
Tabela 61 – Análise do desempenho das Simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira A constituída por Medida Ômega, com $L = 0\%$	137
Tabela 62 – Análise do desempenho das Simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira A constituída por Medida Ômega, com $L = 2,5\%$	137
Tabela 63 – Análise do desempenho das Simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira A constituída por Medida Ômega, com $L = 5\%$	137

Tabela 64 – Análise do desempenho das Simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira B constituída por Modelo de Índice Único	138
Tabela 65 – Análise do desempenho das Simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira B constituída por Medida Ômega, com $L = 0\%$	138
Tabela 66 – Análise do desempenho das Simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira B constituída por Medida Ômega, com $L = 2,5\%$	138
Tabela 67 – Análise do desempenho das Simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira B constituída por Medida Ômega, com $L = 5\%$	139
Tabela 68 – Análise do desempenho das Simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira C constituída por Modelo de Índice Único	139
Tabela 69 – Análise do desempenho das Simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira C constituída por Medida Ômega, com $L = 0\%$	140
Tabela 70 – Análise do desempenho das Simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira C constituída por Medida Ômega, com $L = 2,5\%$	140
Tabela 71 – Análise do desempenho das Simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira C constituída por Medida Ômega, com $L = 5\%$	140
Tabela 72 – Análise do desempenho das Simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira D constituída por Modelo de Índice Único	141

Tabela 73 – Análise do desempenho das Simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira D constituída por Medida Ômega, com $L = 0\%$	141
Tabela 74 – Análise do desempenho das Simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira D constituída por Medida Ômega, com $L = 2,5\%$	141
Tabela 75 – Análise do desempenho das Simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira D constituída por Medida Ômega, com $L = 5\%$	142
Tabela 76 – Análise do desempenho das Simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira E constituída por Modelo de Índice Único	142
Tabela 77 – Análise do desempenho das Simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira E constituída por Medida Ômega, com $L = 0\%$	142
Tabela 78 – Análise do desempenho das Simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira E constituída por Medida Ômega, com $L = 2,5\%$	143
Tabela 79 – Análise do desempenho das Simulações T.V.E. e S.M.C. para a Carteira E constituída por Medida Ômega, com $L = 5\%$	143
Tabela 80 – Análise do desempenho das Simulações T.V.E. e S.M.C. para níveis de confiança do VaR	144
Tabela 81 – : Análise do desempenho das Simulações T.V.E. e S.M.C. para níveis de confiança do VaR (excluindo-se a Carteira E)	144