



Michel Cardonsky Caspary

**Modelo Genético-Neural para Otimização de
Carteiras com Opções Financeiras no 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.

Orientadora: Profa. Marley Maria Bernardes Rebuzzi Vellasco
Co-orientador: Prof. Juan Guillermo Lazo Lazo

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2012



Michel Cardonsky Caspary

**Modelo Genético-Neural para Otimização de
Carteiras com Opções Financeiras no 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.

Profa. Marley Maria Bernardes Rebuszi Vellasco
Orientadora
Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

Prof. Juan Guillermo Lazo Lazo
Co-Orientador
ICA/DEE/PUC-Rio

Prof. Antonio Carlos Figueiredo Pinto
IAG/PUC-Rio

Prof. Gustavo Silva Araujo
Banco Central do Brasil

Prof. José Franco Machado do Amaral
UERJ

Prof. José Eugenio Leal
Coordenador Setorial do Centro
Técnico Científico

Rio de Janeiro, 08 de fevereiro de 2011

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

Michel Cardonsky Caspary

Graduou-se em Engenharia de Computação em 2009, tendo desenvolvido projetos junto ao Departamento de Física Aplicada da PUC_Rio, como bolsista de iniciação científica do CNPQ. Durante a graduação também exerceu o cargo de monitor das disciplinas de Introdução a Engenharia e Mecânica Newtoniana. Bolsista CNPQ do Programa de Mestrado do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC-Rio, desenvolvendo pesquisa na aplicação de técnicas de Inteligência Computacional para o Mercado Financeiro.

Ficha Catalográfica

Caspary, Michel Cardonsky

Modelo genérico-neural para otimização de carteiras com opções financeiras no mercado brasileiro / Michel Cardonsky Caspary; orientadora: Marley Maria Bernardes Rebuszi Vellasco; co-orientador: Juan Guillermo Lazo Lazo. – 2012.

121 f. ; 30 cm

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

Inclui bibliografia

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Redes neurais artificiais. 3. Algoritmos genéricos. 4. Regressão polinomial. 5. Otimização de portfólios. 6. Estratégias com opções. 7. Funções de avaliação. I. Vellasco, Marley Maria Bernardes Rebuszi. II. Lazo, Juan Guillermo Lazo. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. IV. Título.

CDD: 621.3

Agradecimentos

Ao meu pai, Guilherme Caspary, que sempre me orientou nas minhas escolhas acadêmicas, me ensinou a importância do estudo em nossa formação e que com seus títulos de Mestre e Doutor me passou experiência e conhecimentos necessários para elaboração deste trabalho.

À minha querida mãe, Clarita Caspary, que dedicou toda a sua vida a minha formação e bem estar, para que eu pudesse alcançar todos os meus objetivos.

À Ana Rayes, pelo grande companheirismo durante esse árduo percurso e pelo auxílio na revisão e formatação desta dissertação.

Aos amigos e profissionais de mercado financeiro Alexandre Soares, Carlos Bezerra e Elvio Tognotti pelas extensas discussões e trocas de conhecimentos que agregaram imensamente a este trabalho.

Um agradecimento em especial aos meus orientadores, Dr. Juan Lazo Lazo e Dra. Marley Vellasco, pela orientação, pela cobrança nos momentos necessários, pelo auxílio no estudo, na metodologia e na revisão, que foram fundamentais para desenvolvimento deste trabalho.

À PUC-Rio e ao CNPQ pelos auxílios concedidos.

Resumo

Caspary, Michel Cardonsky, Vellasco, Marley Maria Bernrdes Rebuzzi (Orientadora); Lazo, Juan Guillermo Lazo (Co-orientador). **Modelo Genético-Neural para Otimização de Carteiras com Opções Financeiras no Mercado Brasileiro**. Rio de Janeiro, 2012. 121p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A presente dissertação tem por objetivo desenvolver um modelo inteligente que permita, por uma análise quantitativa e probabilística, gerar uma carteira otimizada composta de um ativo financeiro e opções sobre este ativo. Procurou-se estudar inicialmente as características da distribuição de retornos e da volatilidade das ações mais líquidas da Bolsa de Valores de São Paulo, no período de Jan/2005 a Jul/2010, através de regressões polinomiais univariadas e bivariadas. Observou-se características como a de reversão a média da volatilidade, correlação da volatilidade futura com um período histórico mais longo e outro mais curto e uma relação possivelmente quadrática entre a volatilidade histórica e a volatilidade futura. Desenvolveu-se então, satisfatoriamente, uma rede neural para prever a volatilidade futura das ações, por este ser o fator mais crítico para se determinar o preço de uma opção. Utilizando-se da precificação das opções, avaliou-se o desempenho de algoritmos genéticos na otimização de carteiras estruturadas com esses derivativos, com três funções de avaliação diferentes, a fim de aumentar o potencial retorno de um investimento, minimizando seus riscos. O sistema evolucionário implementado demonstrou ser satisfatório quando comparado a carteira otimizada com diversas outras estratégias comuns de mercado, demonstrando ser uma alternativa de apoio a decisão para investidores e gestores de carteiras.

Palavras-chave

Redes Neurais Artificiais; Algoritmos Genéticos; Regressão Polinomial; Otimização de Portfólios; Estratégias com Opções; Funções de Avaliação.

Abstract

Caspary, Michel Cardonsky, Vellasco, Marley Maria Bernrdes Rebuzzi (Advisor); Lazo, Juan Guillermo Lazo (Co-advisor). **Genetic-Neural Model for Portfolio Optimization with Financial Options in the Brazilian Market**. Rio de Janeiro, 2012. 121p. MSc Dissertation - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This dissertation develops an intelligent, quantitative and probabilistic model to determine an optimal composition of a portfolio consisting of a financial asset and options over this asset. Initially we studied the characteristics of the historical distribution of returns and volatility of the most liquid stocks from the BOVESPA Stock Exchange, from January 2005 to July 2010, through a univariate and a bivariate polynomial regression. Characteristics such as mean reversion of volatility, strong correlation of historical and future volatility and a quadratic polynomial relationship between them were observed. A neural network was then developed to predict the future volatility of these stocks, since that is the most critical variable in determining an option's price. Using the option pricing, we evaluated the performance of genetic algorithms in optimizing portfolios, structured with these derivatives, with three different evaluation functions in order to increase the potential return of investments while minimizing downside risks. The developed evolutionary system showed satisfactory results when the optimal portfolio was compared with several other market option strategies, demonstrating to be a relevant decision support system for investors and portfolio managers.

Keywords

Artificial Neural Networks; Genetic Algorithms; Polynomial Regression; Portfolio Optimization; Options Strategies; Evaluation Functions.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 MOTIVAÇÃO	14
1.2 OBJETIVO	15
1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	16
2 REVISÃO DA LITERATURA	17
3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	21
3.1 O MERCADO DE OPÇÕES	21
3.1.1 Opção de Compra	22
3.1.2 Opção de Venda	24
3.1.3 Opções Européias e Americanas	26
3.2 Precificação de Opções	26
3.3 Volatilidade	32
3.4 Modelo EWMA	33
3.5 Modelo ARCH	34
3.6 Modelo GARCH	35
3.7 Redes Neurais Artificiais	36
3.7.1 O Neurônio Artificial.	37
3.7.2 Funções de Ativação	39
3.7.3 Arquiteturas de Rede	40
3.7.4 Aprendizagem	42
3.8 Métodos de Otimização	45
3.9 Algoritmos Genéticos	47
3.10 Avaliação de Carteiras e Medidas de Risco x Retorno	50
3.10.1 Critério de Média-Variância de Markowitz	50
3.10.2 Métricas de Avaliação de Desempenho de Carteiras e Fundos	52
4 ANÁLISE DA VOLATILIDADE	59
4.1 Metodologia da Regressão Uni-variada	59
4.2 Resultados da Regressão Uni-variada	61
4.3 Metodologia da Regressão Bivariada	64
4.4 Resultados da Regressão Bivariada	65
5 MODELO PROPOSTO	67
5.1 Modelo de Previsão da Volatilidade por Redes Neurais Artificiais	67
5.2 Modelo de Otimização de Carteiras/Estratégias com Opções Financeiras por Algoritmos Genéticos	69
5.2.1 Cromossoma	73
5.2.2 Função Objetivo	74
5.2.3 Função Probabilidade Máxima	75
5.2.4 Função Área Total	75
5.2.5 Função Omega	76

6 ESTUDO DE CASOS E RESULTADOS	79
6.1 Previsão da Volatilidade por Redes Neurais Artificiais	79
6.2 Otimização de Carteiras/Estratégias com Opções Financeiras por Algoritmos Genéticos	81
6.2.1 Estudo de Caso 1 – Sem custos operacionais	82
6.2.2 Estudo de Caso 2 – Sem custos operacionais	90
6.2.3 Estudo de Caso 2 – Com custos operacionais	98
6.2.4 Resumo dos Resultados	103
7 CONCLUSÕES	105
8 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	107
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
10 APÊNDICES	113
10.1 Apêndice 1: Método de Newton-Raphson	113
10.2 Apêndice 2: <i>Moneyness</i> de uma opção financeira	115
10.3 Apêndice 3: Cone de Volatilidade	116
10.4 Apêndice 4: Gregas das Opções	117
10.5 Apêndice 5: Curvas de Evolução das Otimizações	117
10.6 Apêndice 6: Histórico do IBOVESPA	119
10.7 Apêndice 7: Estatística da Regressão Quadrática	121

Lista de tabelas

Tabela 1 – Tabela com cenário de mercado e precificação das opções disponíveis nesse cenário	71
Tabela 2 – Exemplo de carteira com opções e ativo	72
Tabela 3 – Resultados da RNA para Múltiplos Ativos na previsão da volatilidade futura	80
Tabela 4 – Estudo de caso: previsão de volatilidade com AMBV4	80
Tabela 5 – Resultados da RNA de VALE5 na previsão da volatilidade futura	81
Tabela 6 – Cenário de Mercado do Estudo de Caso 1	82
Tabela 7 – Lista de opções Disponíveis para a elaboração da carteira no Estudo de Caso 1	83
Tabela 8 – Decodificação do Cromossoma da Carteira otimizada pela Função Probabilidade Máxima	84
Tabela 9 – Carteira Borboleta	85
Tabela 10 – Carteira Trava de Alta	86
Tabela 11 – Carteira Condor	87
Tabela 12 – Resumo dos Resultados da Função Probabilidade Máxima no Estudo de Caso 1	87
Tabela 13 – Decodificação do Cromossoma da Carteira otimizada pela Função Área Total	88
Tabela 14 – Resumo dos Resultados da Função Área Total no Estudo de Caso 1	89
Tabela 15 – Decodificação do Cromossoma da Carteira otimizada pela Função Omega	89
Tabela 16 – Resumo dos Resultados da Função Omega no Estudo de Caso 1	90
Tabela 17 – Cenário de Mercado do Estudo de Caso 2	91
Tabela 18 – Decodificação do Cromossoma da Carteira otimizada pela Função Probabilidade Máxima	92

Tabela 19 – Carteira Borboleta	93
Tabela 20 – Carteira Trava de Alta	93
Tabela 21 – Carteira Condor	94
Tabela 22 – Resumo dos Resultados da Função Probabilidade Máxima no Estudo de Caso 2 sem custos operacionais	95
Tabela 23 – Decodificação do Cromossoma da Carteira otimizada pela Função Área Total	96
Tabela 24 – Resumo dos Resultados da Função Área Total no Estudo de Caso 2 sem custos operacionais	97
Tabela 25 – Decodificação do Cromossoma da Carteira otimizada pela Função Omega	97
Tabela 26 – Decodificação do Cromossoma da Carteira otimizada pela Função Probabilidade Máxima (com custos)	98
Tabela 27 – Resumo dos Resultados da Função Probabilidade Máxima no Estudo de Caso 2 com custos operacionais	99
Tabela 28 – Decodificação do Cromossoma da Carteira otimizada pela Função Área Total (com custos)	100
Tabela 29 – Resumo dos Resultados da Função Área Total no Estudo de Caso 2 com custos operacionais	100
Tabela 30 – Decodificação do Cromossoma da Carteira otimizada pela Função Omega (com custos)	101
Tabela 31 – Resumo dos Resultados da Função Omega no Estudo de Caso 2 com custos operacionais	102
Tabela 32 – Comparação dos Resultados	103
Tabela 33 – Comparação dos Resultados	104
Tabela 34 – Estatísticas da Regressão	121

Lista de figuras

Figura 1 – Payoff para o titular de uma Call	23
Figura 2 – Payoff para o lançador de uma Call	23
Figura 3 – Payoff para o titular de uma Put	25
Figura 4 – Payoff para o Lançador de uma PUT	25
Figura 5 – Distribuição Normal e Distribuições com Skew.	28
Figura 6 – Distribuições com Curtose.	28
Figura 7 – “Sorriso” da volatilidade	29
Figura 8 – Esquema de um neurônio artificial	38
Figura 9 – Função Linear	39
Figura 10 – Função Degrau	39
Figura 11 – Função Sigmoide	40
Figura 12 – Função Tangente Hiperbólica	40
Figura 13 – Arquitetura de um multi layer perceptron	41
Figura 14 – Exemplo de arquitetura de uma rede recorrente	41
Figura 15 – Etapas de um Algoritmo Genético	48
Figura 16 – Cruzamento Genético	49
Figura 17 – Mutação Genética	49
Figura 18 – Distribuições de Retorno com mesma média e desvio padrão	54
Figura 19 – Gráficos Comparativos entre duas estratégias	54
Figura 20 – Distribuição de Retornos dos ativos A e B com limite $L=0,30$	57
Figura 21 – Exemplo da metodologia para a análise da volatilidade	60
Figura 22 – Gráfico da Volatilidade Histórica 30 dias x Volatilidade Futura 10 dias	62

Figura 23 – Gráfico da Volatilidade Histórica 60 dias x Volatilidade Futura 10 dias	63
Figura 24 – Gráfico da Volatilidade Histórica Curta x Volatilidade Futura Realizada para diferentes níveis de Volatilidade Histórica Longa	66
Figura 25 – Esquema da Rede Neural Artificial Utilizada neste Trabalho	69
Figura 26 – Payoff da carteira exemplo no vencimento	72
Figura 27 – Curva da Distribuição Normal, com suas probabilidades	73
Figura 28 – Representação do Modelo de Cromossoma Utilizado	74
Figura 30 – Representação Gráfica da “Função Área Total” no Vencimento da carteira	75
Figura 31 – Representação Gráfica da “Função Omega” no Vencimento da carteira	78
Figura 32 – Representação Gráfica do Cone de Volatilidade utilizado como entrada no Estudo de Caso	81
Figura 33 – Representação gráfica da carteira otimizada pela função Probabilidade Máxima no estudo de caso 1.	84
Figura 34 – Representação gráfica da Carteira Borboleta no estudo de caso 1	85
Figura 35 – Representação Gráfica da Carteira Trava de Alta no estudo de caso 1	86
Figura 36 – Representação gráfica da Carteira Condor no estudo de caso 1	87
Figura 37 – Representação gráfica da carteira otimizada pela função Área Total no estudo de caso 1	88
Figura 38 – Representação gráfica da carteira otimizada pela função Omega no estudo de caso 1	90
Figura 39 – Representação gráfica da carteira otimizada pela função Omega no estudo de caso 2 (sem custos)	92
Figura 40 – Representação gráfica da carteira “Borboleta” no estudo de caso 2	93
Figura 41 – Representação Gráfica da carteira “Trava de Alta” no estudo de caso 2.	94

Figura 42 – Representação gráfica da carteira “Condor” no estudo de caso 2	95
Figura 43 – Representação gráfica da carteira otimizada pela função Área Total no estudo de caso 2 (sem custos)	96
Figura 44 – Representação gráfica da carteira otimizada pela função Omega no estudo de caso 2 (sem custos)	98
Figura 45 – Representação gráfica da carteira otimizada pela função Probabilidade Máxima no estudo de caso 2 (com custos)	99
Figura 46 – Representação gráfica da carteira otimizada pela função Área Total no estudo de caso 2 (com custos)	101
Figura 47 – Representação gráfica da carteira otimizada pela função Omega no estudo de caso 2 (com custos)	102
Figura 48 – Exemplo das iterações do Método de Newton	114
Figura 49 – Exemplo de Cone de volatilidade para o ativo BBDC4 no dia 20/09/2007	116
Figura 50 – Evolução do resultado da carteira otimizada pela função Probabilidade Máxima	118
Figura 51 – Evolução do resultado da carteira otimizada pela função Probabilidade Área Total	118
Figura 52 – Evolução do resultado da carteira otimizada pela função Omega	119
Figura 53 – Histórico de Fechamento Diário do IBOVESPA	120