

Thiago Rezende Pinto

Aplicação de Modelos Não
Lineares em Negociação
Automática no Mercado
Acionário Brasileiro

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
Programa de Pós-graduação em
Engenharia Elétrica

Rio de Janeiro
Março de 2006



Thiago Rezende Pinto

**Aplicação de Modelos Não Lineares em
Negociação Automática no Mercado
Acionário Brasileiro**

Dissertação de Mestrado

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

Orientador: Dr. Álvaro Veiga Lima Filho
Co-Orientador: Dr. Joel Maurício Corrêa da Rosa

Rio de Janeiro
Março de 2006



Thiago Rezende Pinto

**Aplicação de Modelos Não Lineares em
Negociação Automática no Mercado
Acionário 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.

Dr. Álvaro Veiga Lima Filho
Orientador

Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

Dr. Joel Maurício Corrêa da Rosa
Co-Orientador

Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

Dr. Marcelo Cunha Medeiros
Departamento de Economia – PUC-Rio

Dr. Caio Ibsen R. de Almeida
IBMEC

Prof. José Eugenio Leal
Coordenador Setorial do Centro
Técnico Científico

Rio de Janeiro, 31 de Março de 2006

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

Thiago Rezende Pinto

Graduou-se em Engenharia Elétrica na Pontifícia Universidade Católica (PUC-Rio), cursando Telecomunicações. Trabalhou durante o mestrado com a análise de séries temporais e redes neurais para dados do mercado financeiro.

Ficha Catalográfica

Pinto, Thiago Rezende

Aplicação de Modelos Não Lineares em Negociação Automática no Mercado Acionário Brasileiro/ Thiago Rezende Pinto; orientador: Dr. Álvaro Veiga Lima Filho; co-orientador: Dr. Joel Maurício Corrêa da Rosa. – Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Engenharia Elétrica, 2006.

76 f. : il. ; 30 cm

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

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia elétrica - Teses. 2. Modelos Não Lineares. 3. Árvores de Regressão. 4. Regressão com Transição Suave. 5. Análise de Séries Temporais. 6. Particionamento Recursivo. I. Lima Filho, Álvaro Veiga. II. Rosa, Joel Maurício Corrêa da. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. IV. Título.

CDD: 621.3

Agradecimentos

Aos meus orientadores Professores Álvaro Veiga e Joel Côrrea da Rosa pelo apoio e incentivo para a realização deste trabalho.

Aos meus pais, família e amigos.

Ao CNPq e à PUC-Rio, pelos auxílios financeiros concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Ao corpo docente do departamento de Engenharia Elétrica pelo apoio didático nos momentos de necessidade, em particular à professora Marley Vellasco.

Resumo

Pinto, Thiago Rezende; Lima Filho, Álvaro Veiga; Rosa, Joel Maurício Corrêa da. **Aplicação de Modelos Não Lineares em Negociação Automática no Mercado Acionário Brasileiro**. Rio de Janeiro, 2006. 76p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Esta dissertação tem por objetivo comparar o desempenho de modelos não lineares de previsão de retornos em 10 ativos do mercado acionário brasileiro. Entre os modelos escolhidos, pode-se citar o STAR-Tree, que combina conceitos da metodologia STAR (Smooth Transition AutoRegression) e do algoritmo CART (Classification And Regression Trees), tendo como resultado final uma regressão com transição suave entre múltiplos regimes. A especificação do modelo é feita através de testes de hipótese do tipo Multiplicador de Lagrange que indicam o nó a ser dividido e a variável explicativa correspondente. A estimação dos parâmetros é feita pelo método de Mínimos Quadrados Não Lineares para determinar o valor dos parâmetros lineares e não lineares. Redes Neurais, modelos ARMAX (estes lineares) e ainda o método Naive também foram incluídos na análise. Os resultados das previsões foram avaliados a partir de medidas estatísticas e financeiras e se basearam em um negociador automático que informa o instante correto de assumir uma posição comprada ou vendida em cada ativo. Os melhores desempenhos foram alcançados pelas Redes Neurais, pelos modelos ARMAX e pela forma de previsão ARC (Adaptative Regime Combination) derivada da metodologia STAR-Tree, sendo ambos ainda superiores ao retorno das ações durante o período de teste.

Palavras-chave

Modelos Não Lineares; Árvores de Regressão; Regressão com Transição Suave; Análise de Séries Temporais; Particionamento Recursivo.

Abstract

Pinto, Thiago Rezende; Lima Filho, Álvaro Veiga; Rosa, Joel Maurício Corrêa da. **Application of NonLinear Models for Automatic Trading in the Brazilian Stock Market**. Rio de Janeiro, 2006. 76p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The goal of this dissertation is to compare the performance of non linear models to forecast return on 10 equities in the Brazilian Stock Market. Among the chosen ones, it can be cited the STAR-Tree, which matches concepts from the STAR (Smooth Transition AutoRegression) methodology and the CART (Classification And Regression Trees) algorithm, having as the resultant structure a regression with smooth transition among multiple regimes. The model specification is done by Lagrange Multiplier hypothesis tests that indicate the node to be splitted and the corresponding explanatory variable. The parameter estimation is done by the Non Linear Least Squares method that determine the linear and non linear parameters. Neural Networks, ARMAX models (these ones linear) and the Naive method were also included in the analysis. The forecasting results were calculated using statistical and financial measures and were based on an automatic negociator that signaled the right instant to take a short or a long position in each stock. The best results were reached by the Neural Networks, ARMAX models and ARC (Adaptative Regime Combination) forecasting method derived from STAR-Tree, with all of them performing better then the equity return during the test period.

Keywords

Nonlinear Models; Regression Trees; Smooth Transition Regression; Time Series Analysis; Recursive Partitioning.

Sumário

1	Introdução	10
2	Modelos STAR-Tree	13
2.1	CART	13
2.2	STAR	17
2.3	STAR-Tree	22
3	Modelos Comparativos: Teoria e Metodologia	26
3.1	Naive	26
3.2	ARMAX	26
3.3	Redes Neurais	28
4	Aplicação ao Mercado Brasileiro	32
4.1	Dados Utilizados	32
4.2	Modelos Estimados - STAR-Tree	35
4.3	Modelos Estimados - ARMAX	46
4.4	Modelos Estimados - Redes Neurais	48
4.5	Medidas e Avaliação dos Resultados	49
5	Conclusões	66
A	Aproximação de Taylor para a Função Logística	70
B	Algoritmo de Levenberg-Marquardt	72
C	Testes de Diagnósticos	74
C.1	Resíduos Descorrelatados	74
C.2	Não linearidade não remanescente	75

Lista de Figuras

2.1	Árvore CART	14
2.2	Exemplo de Árvore de Regressão	16
2.3	Função de Transição	18
3.1	Representação de uma Rede Neural	29
3.2	Tangente Hiperbólica	31
4.1	Árvore Ilustrativa do Ativo bbdc4	36
4.2	Árvore Ilustrativa do Ativo brkm5	37
4.3	Árvore Ilustrativa do Ativo csna3	38
4.4	Árvore Ilustrativa do Ativo elet6	39
4.5	Árvore Ilustrativa do Ativo ggbr4	40
4.6	Árvore Ilustrativa do Ativo klbn4	41
4.7	Árvore Ilustrativa do Ativo petr4	41
4.8	Árvore Ilustrativa do Ativo tnlp4	43
4.9	Árvore Ilustrativa do Ativo tspp4	44
4.10	Árvore Ilustrativa do Ativo vale5	45
4.11	Gráfico do Retorno Anualizado Médio	55
4.12	Gráfico bbdc4	56
4.13	Gráfico brkm5	57
4.14	Gráfico csna3	57
4.15	Gráfico elet6	58
4.16	Gráfico ggbr4	58
4.17	Gráfico klbn4	59
4.18	Gráfico petr4	59
4.19	Gráfico tnlp4	60
4.20	Gráfico tspp4	60
4.21	Gráfico vale5	61

Lista de Tabelas

4.1	Ativos	33
4.2	Divisão da Série Temporal	33
4.3	Estatísticas das Séries	34
4.4	Descrição dos Índices Financeiros	35
4.5	Estatística dos Resíduos - Treinamento	46
4.6	Coefficientes estimados dos Modelos ARMAX	47
4.7	Medidas Estatísticas para Avaliação dos Modelos	49
4.8	Medidas Financeiras para Avaliação dos Modelos	50
4.9	Resultados Estatísticos - Treinamento e Teste	50
4.10	Resultados Financeiros - Teste	53
4.11	Quantidade de ativos em que cada modelo é melhor que os demais	55
4.12	Retorno Acumulado(%)	56
4.13	Tabela de Corretagem BOVESPA	61
4.14	Retorno Acumulado (%) com Custos de Transação	62
4.15	Retorno Acumulado (%) - Alavancagem	65