



Camila Rosa Epprecht

**Modelos de Transição Suave para Média e Volatilidade
Realizada Aplicados à Previsão de Retornos e Negociação
Automática**

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. Álvaro de Lima Veiga Filho

Rio de Janeiro
Setembro de 2008



Camila Rosa Epprecht

**Modelos de Transição Suave para Média e Volatilidade
Realizada Aplicados à Previsão de Retornos e Negociação
Automática**

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

Prof. Álvaro de Lima Veiga Filho

Orientador

Departamento de Engenharia Elétrica - PUC-Rio

Prof. Marcelo Medeiros

Departamento de Economia - PUC-Rio

Prof. Joel Corrêa da Roda

UFPR

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 12 de setembro de 2008

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

Camila Rosa Epprecht

Graduou-se em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Apoio à Decisão na PUC-Rio. Trabalhou durante o mestrado com estatística multivariada e modelagem atuarial.

Ficha Catalográfica

Epprecht, Camila Rosa

Modelos de transição suave para média e volatilidade realizada aplicados à previsão de retornos e negociação automática / Camila Rosa Epprecht ; orientador: Álvaro de Lima Veiga Filho. – 2008.

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

Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)– Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

Inclui bibliografia

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Modelos não lineares. 3. Árvore de regressão. 4. Star-tree. 5. Heterocedasticidade. 6. Volatilidade realizada. 7. Retornos financeiros. 8. Negociação automática. I. Veiga, Álvaro. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

Agradecimentos

Ao Prof. Álvaro Veiga, por toda a disponibilidade, paciência, incentivo e amizade em todos os momentos.

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

Ao Prof. Joel Corrêa da Rosa, Prof. Marcelo Medeiros, e Thiago Pinto pela ajuda.

Ao Victor B.B., que foi essencial para a implementação das Redes Neurais.

Ao Rodrigo e David, amigos que estiveram disponíveis para ajudar em todos os momentos.

À minha prima Luciana Rosa, que me emprestou um computador, essencial à conclusão da dissertação.

Ao meu pai, que mesmo de longe, me ajudou muito.

À minha mãe por todo o seu apoio moral, companhia e amor.

Aos meus amigos, que entenderam a minha ausência e nos raros momentos de lazer, me ajudaram a relaxar.

Ao Daniel, que sem a sua compreensão, paciência, companheirismo e amor, essa dissertação não seria possível.

Resumo

Epprecht, Camila Rosa; Veiga Filho, Álvaro de Lima. **Modelos de transição suave para média e volatilidade realizada aplicados à previsão de retornos e negociação automática.** Rio de Janeiro, 2008. 122p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O principal objetivo desta dissertação é comparar o desempenho de modelos lineares e não-lineares de previsão de retornos de 23 ativos do mercado acionário americano. Propõe-se o modelo STAR-Tree Heterocedástico, que faz uso da metodologia do STAR-Tree (Smooth Transition AutoRegression Tree) aplicada a séries temporais heterocedásticas. Com a disponibilidade de dados de retorno e da volatilidade realizada de ações intra-diários, as séries de retornos são transformadas através da divisão de cada retorno pela sua volatilidade realizada. A série transformada apresenta variância constante. O modelo é uma combinação da metodologia STAR (Smooth Transition AutoRegression) e do algoritmo CART (Classification and Regression Tree). O modelo resultante pode ser interpretado como uma regressão de múltiplos regimes com transição suave. A especificação do modelo é feita através de testes de Multiplicadores de Lagrange, que indicam o nó a ser dividido e a variável de transição correspondente. Os modelos de comparação usados são o modelo Média, o método Naive, modelos lineares ARX e Redes Neurais. As previsões dos modelos foram avaliadas através de medidas estatísticas e financeiras. Os resultados financeiros baseam-se em uma regra de negociação automática que informa o momento de comprar e vender cada ativo. O modelo STAR-Tree Heterocedástico teve resultados estatísticos equivalentes aos dos outros modelos, porém apresentou um desempenho financeiro superior para a maioria das séries. A volatilidade realizada também foi estimada usando a metodologia STAR-Tree, e sua previsão foi utilizada para fazer uma análise de alavancagem financeira.

Palavras-chave

Modelos Não Lineares, Árvore de Regressão, STAR-Tree, Heterocedasticidade, Volatilidade Realizada, Retornos Financeiros, Negociação Automática

Abstract

Epprecht, Camila Rosa; Veiga Filho, Álvaro de Lima. **Mean and Realized Volatility Smooth Transition Models Applied to Return Forecasting and Automatic Trading**. Rio de Janeiro, 2008. 122p. MSc. Dissertation - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The main goal of this dissertation is to compare the performance of linear and nonlinear models to forecast 23 assets of the American Stocks Market. The Heteroscedastic STAR-Tree Model is proposed using the STAR-Tree (Smooth Transition AutoRegression Tree) methodology applied to heteroscedastic time series. As assets returns and realized volatility intraday data are available, the returns series are transformed by dividing each return by its realized volatility, which gives homocedastic series. The model is a combination of the STAR (Smooth Transition AutoRegression) methodology and the CART (Classification and Regression Tree) algorithm. The resulting model can be interpreted as a smooth transition multiple regime regression. The model specification is done by Lagrange Multiplier tests that indicate the node to be split and the corresponding transition variable. The comparison models used are the Mean model, Naive method, ARX linear models and Neural Networks. The forecasting models were evaluated through statistical and financial measures. The financial results are based on an automatic trading rule that signals buy and hold moments in each stock. The Heteroscedastic STAR-Tree Model statistical performance was equivalent to the other models, however its financial performance was superior for most of the series. The STAR-Tree methodology was also applied for forecasting the realized volatility, and the forecasts were used in financial leverage analysis.

Keywords

Non Linear Models, Regression Tree, STAR-Tree, Heteroscedastic, Realized Volatility, Financial Return, Automatic Trading

Sumário

1	Introdução	13
2	Modelos Não Lineares	17
2.1.	Introdução	17
2.2.	Modelo STAR	17
2.3.	Modelo CART	22
3	Modelo STAR-Tree	27
3.1.	Introdução	27
3.2.	Formulação Matemática	28
3.3.	Construção do Modelo	29
3.4.	Estimação dos Parâmetros	30
3.5.	Algoritmo de Crescimento	32
3.6.	Ciclo de Modelagem – Sequência de Testes	35
3.7.	Previsão	35
4	Modelo STAR-Tree Heterocedástico	37
4.1.	Introdução	37
4.2.	Volatilidade Realizada	37
4.3.	Metodologia	39
5	Aplicação ao Mercado Financeiro	42
5.1.	Descrição dos Dados Utilizados	42
5.2.	Estimação do Retorno	50
5.3.	Comparação dos Modelos do Retorno	60
5.4.	Estimação da Volatilidade Realizada	81
5.5.	Alavancagem	90
6	Conclusão	96

Referências Bibliográficas	99
A Detalhamento do Teste de Harvey, Leybourne e Newbold (1997)	104
A1 Anexo 1	106
A2 Anexo 2	107
A3 Anexo 3	115

Lista de figuras

Figura 2.1: Função logística com parâmetros fixos	19
Figura 2.2: Numeração de uma árvore de decisão	23
Figura 2.3: Exemplo de modelo de árvore de regressão com 3 regimes	24
Figura 2.4: Hiperplanos que definem os regimes da árvore	25
Figura 5.1: Média dos Retornos das 23 Ações	69
Figura 5.2: Média do Retorno Acumulado das 23 Ações	80
Figura A2.1: Gráfico do Retorno Acumulado AA	107
Figura A2.2: Gráfico do Retorno Acumulado AIG	107
Figura A2.3: Gráfico do Retorno Acumulado AXP	108
Figura A2.4: Gráfico do Retorno Acumulado BA	108
Figura A2.5: Gráfico do Retorno Acumulado CAT	108
Figura A2.6: Gráfico do Retorno Acumulado DD	109
Figura A2.7: Gráfico do Retorno Acumulado DIS	109
Figura A2.8: Gráfico do Retorno Acumulado GE	109
Figura A2.9: Gráfico do Retorno Acumulado GM	110
Figura A2.10: Gráfico do Retorno Acumulado HD	110
Figura A2.11: Gráfico do Retorno Acumulado HOM	110
Figura A2.12: Gráfico do Retorno Acumulado IBM	111
Figura A2.13: Gráfico do Retorno Acumulado JNJ	111
Figura A2.14: Gráfico do Retorno Acumulado JPM	111
Figura A2.15: Gráfico do Retorno Acumulado KO	112
Figura A2.16: Gráfico do Retorno Acumulado MCD	112
Figura A2.17: Gráfico do Retorno Acumulado MMM	112
Figura A2.18: Gráfico do Retorno Acumulado MO	113
Figura A2.19: Gráfico do Retorno Acumulado MRK	113
Figura A2.20: Gráfico do Retorno Acumulado PFE	113
Figura A2.21: Gráfico do Retorno Acumulado PG	114
Figura A2.22: Gráfico do Retorno Acumulado UTX	114
Figura A2.23: Gráfico do Retorno Acumulado WMT	114

Figura A3.1: Retorno alavancado acumulado e Núm de Dias Alavancados AA	115
Figura A3.2: Retorno alavancado acumulado e Núm de Dias Alavancados AIG	115
Figura A3.3: Retorno alavancado acumulado e Núm de Dias Alavancados AXP	116
Figura A3.4: Retorno alavancado acumulado e Núm de Dias Alavancados BA	116
Figura A3.5: Retorno alavancado acumulado e Núm de Dias Alavancados CAT	116
Figura A3.6: Retorno alavancado acumulado e Núm de Dias Alavancados DD	117
Figura A3.7: Retorno alavancado acumulado e Núm de Dias Alavancados DIS	117
Figura A3.8: Retorno alavancado acumulado e Núm de Dias Alavancados GE	117
Figura A3.9: Retorno alavancado acumulado e Núm de Dias Alavancados GM	118
Figura A3.10: Retorno alavancado acumulado e Núm de Dias Alavancados HD	118
Figura A3.11: Retorno alavancado acumulado e Núm de Dias Alavancados HOM	118
Figura A3.12: Retorno alavancado acumulado e Núm de Dias Alavancados IBM	119
Figura A3.13: Retorno alavancado acumulado e Núm de Dias Alavancados JNJ	119
Figura A3.14: Retorno alavancado acumulado e Núm de Dias Alavancados JPM	119
Figura A3.15: Retorno alavancado acumulado e Núm de Dias Alavancados KO	120
Figura A3.16: Retorno alavancado acumulado e Núm de Dias Alavancados MCD	120
Figura A3.17: Retorno alavancado acumulado e Núm de Dias	

Alavancados MMM	120
Figura A3.18: Retorno alavancado acumulado e Núm de Dias	
Alavancados MO	121
Figura A3.19: Retorno alavancado acumulado e Núm de Dias	
Alavancados MRK	121
Figura A3.20: Retorno alavancado acumulado e Núm de Dias	
Alavancados PFE	121
Figura A3.21: Retorno alavancado acumulado e Núm de Dias	
Alavancados PG	122
Figura A3.22: Retorno alavancado acumulado e Núm de Dias	
Alavancados UTX	122
Figura A3.23: Retorno alavancado acumulado e Núm de Dias	
Alavancados WMT	122

Lista de tabelas

Tabela 5.1: Descrição das Ações da Base de Dados	43
Tabela 5.2: Divisão dos Dados	43
Tabela 5.3: Estatísticas Descritivas dos Retornos	45
Tabela 5.4: Estatísticas Descritivas do Log da Volatilidade Realizada	49
Tabela 5.5: Variáveis Explicativas Usadas nos Modelos ARX	53
Tabela 5.6: Estatísticas dos Resíduos Padronizados dos Modelos ARX	55
Tabela 5.7: Variáveis de Transição e N° de Regimes de cada Árvore	57
Tabela 5.8: Estatísticas dos Resíduos Padronizados dos Modelos STAR-Tree	59
Tabela 5.9: Medidas Estatísticas	61
Tabela 5.10: Resultados Estatísticos - Retorno	62
Tabela 5.11: Medidas Financeiras	68
Tabela 5.12: Resultados Financeiros	70
Tabela 5.13: Quantidade de Ações em que o Modelo Ganha	75
Tabela 5.16: Retorno Acumulado (%)	79
Tabela 5.17: Soma dos Postos e a Quantidade de Séries em que o Modelo Ganha	80
Tabela 5.18: Variáveis de Transição e N° de Regimes de cada Árvore	81
Tabela 5.19: Estatística dos Resíduos – Volatilidade Realizada	83
Tabela 5.20: Resultados Estatísticos – Volatilidade Realizada	86
Tabela A1.1: Estatísticas dos Resíduos das Redes Neurais	106