



André Machado Caldeira

**Identificação de Modelos GARCH Usando
Inteligência Computacional**

Tese de Doutorado

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC-Rio como parte dos requisitos parciais para obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Reinaldo Castro Souza

Co-orientador: Prof. Ricardo Tanscheit

Rio de Janeiro

Julho de 2009



André Machado Caldeira

**Identificação de Modelos GARCH Usando
Inteligência Computacional**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor 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. Reinaldo Castro Souza
Orientador

Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

Dr. Ricardo Tanscheit
Co-orientador

Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

Dr. Alexandre Pinto Alves da Silva
UFRJ

Dra. Monica Barros
Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

Dr. Jorge Muniz Barreto
S/vínculo

Dr. José Francisco Moreira Pessanha
CEPEL

Prof. José Eugenio Leal
Coordenador Setorial do Centro
Técnico Científico

Rio de Janeiro, 01 de julho de 2009

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

André Machado Caldeira

Atua como Superintendente de Modelagem e Gestão de Riscos Corporativos na SulAmérica, sendo responsável pelos modelos internos de capital econômico e pela gestão de riscos corporativos. Ocupou outras posições na SulAmérica desde 2004, incluindo as áreas de fusões e aquisições, finanças corporativas e planejamento estratégico. Participou da coordenação da abertura de capital da SulAmérica. Graduado em Estatística pela Escola Nacional de Ciências Estatísticas, possui MBA em Gestão pelo IBMEC, Pós-MBA em Avaliação de Ativos pela FGV, Mestrado e Doutorado em Métodos de Apoio a Decisão na Engenharia Elétrica da PUC-RIO. Possui publicação de livros e artigos.

Ficha Catalográfica

Caldeira, André Machado

Identificação de modelos GARCH usando inteligência computacional / André Machado Caldeira; orientador: Reinaldo Castro Souza; co-orientador: Ricardo Tanscheit. – 2009.

84 f. ; 30 cm

Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

Inclui bibliografia

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Identificação. 3. GARCH. 4. Redes neurais. 5. SVM. I. Souza, Reinaldo Castro. II. Tanscheit, Ricardo. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. IV. Título.

CDD: 621.3

À minha mãe

Agradecimentos

Agradeço a minha mãe, pessoa mais inteligente que conheço e a grande responsável pelo meu viés de ciências exatas. Ela estimulou o meu lado racional e inconscientemente me levou a chegar aqui, mesmo que sua consciência tenha tentado me empurrar para o Direito.

À Marcela, minha namorada, que me proporcionou diversos momentos fantásticos, ajudando assim recarregar as energias para esta longa trilha que foi o doutorado.

Ao meu pai e meu irmão sempre ao meu lado me ajudando psicologicamente e fazendo com que eu chegasse até aqui.

À PUC pela bolsa fornecida, sem a qual não seria possível a realização do curso.

Ao meu professor orientador Reinaldo, excepcional professor, que me deu a mão me apoiando desde o período em que fui seu aluno ouvinte em 2002.

Ao meu professor co-orientador Ricardo Tanscheit pelo apoio e orientações.

Aos professores Alexandre Silva e Jorge Muniz Barreto pelas críticas, comentários e sugestões.

Aos meus amigos que, mesmo com a minha ausência devido aos estudos do doutorado, sempre me procuraram para saber se estava tudo bem.

Resumo

Caldeira, André Machado; Souza, Reinaldo Castro (Orientador); Tanscheit, Ricardo (Co-orientador). **Identificação de Modelos GARCH usando Inteligência Computacional**. Rio de Janeiro, 2009. 84p. Tese de Doutorado – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do rio de Janeiro

Os modelos ARCH e GARCH vêm sendo bastante explorados tanto tecnicamente quanto em estudos empíricos desde suas respectivas criações em 1982 e 1986. Contudo, o enfoque sempre foi na reprodução dos fatos estilizados das séries financeiras e na previsão de volatilidade, onde o GARCH(1,1) é o mais utilizado. Estudos sobre identificação dos modelos GARCH são muito raros. Diante desse contexto, este trabalho propõe um sistema inteligente para melhorar a identificação da correta especificação dos modelos GARCH, evitando assim o uso indiscriminado dos modelos GARCH(1,1). Para validar a eficácia do sistema proposto, séries simuladas foram utilizadas. Os resultados derivados desse sistema são comparados com os modelos escolhidos pelos critérios de informação AIC e BIC. O desempenho das previsões dos modelos identificados por esses métodos são comparados utilizando-se séries reais.

Palavras-chave

Identificação; GARCH; Redes Neurais; SVM.

Abstract

Caldeira, André Machado; Souza, Reinaldo Castro (Advisor); Tanscheit, Ricardo (Co-Advisor). **GARCH Models Identification Using Computational Intelligence**. Rio de Janeiro, 2009. 84p. Doctorate Thesis – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

ARCH and GARCH models have been largely explored technically and empirically since their creation in 1982 and 1986, respectively. However, the focus has always been on stylized facts of financial time series or volatility forecasts, where GARCH(1,1) has commonly been used. Studies on identification of GARCH models have been rare. In this context, this work aims to develop an intelligent system for improving the specification of GARCH models, thus avoiding the indiscriminate use of the GARCH(1,1) model. In order to validate the efficacy of the proposed system, simulated time series are used. Results are compared to chosen models through AIC and BIC criteria. Their performances are then compared by using real data.

Keywords

Identification; GARCH; Neural Networks; SVM.

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	Motivação.....	12
1.2	Objetivos do Trabalho.....	12
1.3	Descrição da Tese.....	13
1.4	Contribuições da Tese	14
1.5	Organização da Tese	15
2	MODELOS GARCH	17
2.1	Introdução	17
2.2	Testes Univariados para Séries Temporais	19
2.2.1	Testes para Estacionariedade.....	20
2.2.2	Testes para Normalidade	23
2.2.3	Testes para Independência.....	25
2.3	Representações dos Modelos GARCH	29
2.4	Estratégia de Modelagem	31
3	REDES NEURAIS E SVM.....	34
3.1	Redes neurais	34
3.2	Máquina de Vetor Suporte (SVM).....	36
3.2.1	Classificador SVM	36
3.2.2	Seleção de Variáveis Utilizando SVM	38
4	METODOLOGIA PROPOSTA	44
5	ESTUDO DE CASO	47
5.1	Dados Simulados.....	47
5.2	Dados Reais.....	67
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	79
6.1	Conclusões	79
6.2	Trabalhos Futuros.....	80
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81

Lista de Figuras

Figura 3.1: Exemplo de arquitetura de uma rede neural de múltiplas camadas	34
Figura 4.1: Representação gráfica do identificador.....	46
Figura 5.1: Estrutura da rede neural para identificação dos modelos GARCH.....	57
Figura 5.2: Sensibilidade do Identificador pela Rede Neural.....	57
Figura 5.3: Representação da Máquina de Comitê que combina os classificadores SVM e AIC	61
Figura 5.4: Sensibilidade da classificação pela Máquina de Comitê SVM.....	62

Lista de Tabelas

Tabela 1: Resumo das características dos modelos	44
Tabela 2: Resumo das diferenças de comportamento das ACFs e PACF dos modelos	45
Tabela 3: Séries Simuladas	48
Tabela 4: Resultados das identificações dos modelos pelos critérios AIC e BIC ..	48
Tabela 5: Percentual de acerto na identificação por modelo pelo AIC	49
Tabela 6: Percentual de acerto na identificação por modelo pelo BIC	49
Tabela 7: Nomenclatura utilizada	51
Tabela 8: Método SIE - Ranking de Importância das Variáveis	51
Tabela 9: Método de Fisher - Ranking de Importância das Variáveis	52
Tabela 10: Método SVM ordem zero (pesos) - Ranking de Importância das Variáveis	52
Tabela 11: Método SVM ordem zero (radius/margin) - Ranking de Importância das Variáveis	53
Tabela 12: Método SVM de primeira ordem (pesos) - Ranking de Importância das Variáveis	53
Tabela 13: Método SVM de primeira ordem (radius/margin) - Ranking de Importância das Variáveis	54
Tabela 14: Cruzamento das três variáveis mais importantes selecionadas pelos modelos com a intuição pela teoria	55
Tabela 15: Resumo das variáveis selecionadas	56
Tabela 16: Percentual de Acertos do Sistema de Identificação Utilizando Redes Neurais	58
Tabela 17: Matriz de Classificação Cruzada da Identificação pela Rede Neural..	58
Tabela 18: Percentual de Acertos do Sistema de Identificação Utilizando SVM ..	59
Tabela 19: Matriz de Classificação Cruzada Utilizando Uma Redes Neural para cada Tamanho de Série	59
Tabela 20: Topologia da Rede Utilizada Para Cada Tamanho de Série	60
Tabela 21: Percentual de Acertos do Sistema de Identificação Utilizando SVM ..	62
Tabela 22: Comparação dos Modelos Reais e Identificados pelo Sistema de Identificação Utilizando SVM	63
Tabela 23: Modelos a serem testados na sobre-fixação	64
Tabela 24: Percentual de Acertos da Rede Neural com sobre-fixação	64
Tabela 25: Comparação dos Modelos Reais e Identificados da Rede Neural com sobre-fixação	65
Tabela 26: Comparação dos acertos de identificação das metodologias por número de observações das séries	65
Tabela 27: Comparação dos acertos de identificação das metodologias por tipo de modelo	66
Tabela 28: Percentual de Acertos do Discriminante de Fisher	67
Tabela 29: Resultados do Teste ADF	71
Tabela 30: Resultados do Teste PP	71
Tabela 31: Resultados do Teste Ljung-Box	72
Tabela 32: Resultados do Teste McLeod-li	72
Tabela 33: Resultados do Teste Jarque-Bera	73
Tabela 34: Resultados do Teste BDS	73

Tabela 35: Resultado do Teste Hsieh	74
Tabela 36: Identificação dos Modelos para as Séries Reais Utilizando os Critérios AIC e BIC	75
Tabela 37: Identificação dos Modelos para as Séries Reais Utilizando Rede Feedforward	75
Tabela 38: Comparação das Previsões dos Modelos Identificados pela estatística REQM	77