Bruno Dore Rodrigues

MODELAGEM DE SÉRIES TEMPORAIS FOCADA NA PRECIFICAÇÃO DE DERIVATIVOS CLIMÁTICOS

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica da PUC/RJ como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica: Métodos de Apoio à Decisão.

Orientador: Reinaldo Castro Souza

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2006

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410264/CB

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO

Bruno Dore Rodrigues

Modelagem de Séries Temporais Focada na Precificação de Derivativos Climáticos

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.

Prof. Reinaldo Castro Souza
Orientador
Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

Profa. Mônica Barros
Departamento de Engenharia Elétrica - PUC-Rio

Prof. Tara Keshar-Nanda Baidya
Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Prof. Lúcio de Medeiros
ICF Consulting

Prof. José Eugenio Leal
Coordenador Setorial do Centro
Técnico Científico

Rio de Janeiro, 30 de março de 2006

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410264/CB

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

Bruno Dore Rodrigues

Graduou-se em Ciências Econômicas na Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) em 2002. Especializou-se em Métodos Estatísticos Computacionais na UFJF em 2003. Trabalhou por dois anos em uma empresa multinacional americana de produtos cirúrgicos de precisão. Presta consultoria em análise e previsão de séries temporais para empresas do setor energético e estudos de otimização e clusterização para empresas do setor de telecomunicações.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410264/CB

Ficha Catalográfica

Rodrigues, Bruno Dore

Modelagem de séries temporais focada na precificação de derivativos climáticos / Bruno Dore Rodrigues ; orientador: Reinaldo Castro Souza . – Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Engenharia Elétrica, 2006.

73 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. Risco climático. 3. Derivativos. 4. Séries temporais. 5. Precificação. I. Souza, Reinaldo Castro. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410264/CB

Este trabalho é inteiramente dedicado aos
meus pais, grandes responsáveis por
chegar até aqui.

Agradecimentos

Aos meus pais, Rita e Vertulino pelo incentivo, suporte psicológico e aporte financeiro durante toda a minha vida de estudante.

A Deus por orientar e iluminar meu caminho.

Ao meu irmão Gustavo e minha namorada Paula pelo incentivo e compreensão nos momentos difíceis.

Aos meus amigos de Juiz de Fora também pelo grande incentivo.

Ao meu orientador, professor doutor Reinaldo Souza Castro, ao qual devo muito pelo grande auxílio durante o curso e realização da dissertação.

A PUC-Rio pela concessão da bolsa de estudos sem a qual a realização deste trabalho seria muito difícil.

Aos colegas que conquistei durante esse período de mestrado na Rio de Janeiro e que sempre estiveram dispostos a tirar minhas dúvidas, ajudar em trabalhos e debater assuntos: Gláucia Falco, José Carlos Grizendi, Erick Romário, Luiz Felipe, Mônica Barros, Rui Américo, Gabriela e Carlos Gutierrez, dentre outros.

A Ana e Flávio, colaboradores do professor Reinaldo, por sua pronta disponibilidade ajudar.

Aos colegas do NEC-Puc, Carlos, Vanderley, Wesley, Sebastião, Cristiano, Bruno, Ricardo, Edilton,

A Roberta Andrade e Cristiane Osório da ONS, por disponibilizarem os dados utilizados neste trabalho.

Aos professores doutores que participaram da Comissão Examinadora.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410264/CB

Resumo

Bruno, Dore Rodrigues. **Modelagem de Séries Temporais Focada na Precificação de Derivativos Climáticos.** Rio de Janeiro, 2006. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O mercado de Derivativos Climáticos no Brasil ainda é incipiente. Uma das barreiras que atrapalham o aumento da liquidez no mercado é certamente a incerteza que está por traz da precificação e a falta de conhecimento por vários setores dos campos de aplicação potenciais desses derivativos. Com o objetivo de reduzir esta incerteza, este estudo revê abordagens para modelar e estabelecer previsões por modelos de séries temporais para a temperatura na cidade do Rio de Janeiro, e consequentemente para o índice de Cooling Degree Days (CDD) desta localidade. Três modelos são propostos para a previsão da média diária de temperatura, dois *benchmark* (Holt-Winters e Box & Jenkins) e um pela Transformação de Fourier combinado com o processo GARCH para a variância. Os resultados sugerem que o modelo baseado na transformação de Fourier consegue melhor performance na previsão que os demais.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410264/CB

Palavras-chave

Risco climático, derivativos, séries temporais, precificação.

Abstract

Bruno, Dore Rodrigues. **Time Series Modelling for Weather Derivatives Pricing.** Rio de Janeiro, 2006. Master Dissertation – Electrical Engineering Department, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The Weather Derivative market in Brazil quite inexist. One of the barriers to enhance liquidity in this market is the uncertainty in pricing derivatives. With the aim of reducing this uncertainty, this study reviews approaches of time series to model and forecast the temperature in Rio de Janeiro, and consequentely forecast the Cooling Degree Days (CDD) index of this location. Tree models are proposed to forecast the average daily temperature, two benchmark (Holt-Winters and Box & Jenkins) and one with Fourier Transfom with variance modeled with GARCH process. The results suggest that, overall, the model based on Fourier Transform have the best performance to forecast the serie.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410264/CB

Keywords

Weather Risk, Derivatives, Time Series, Pricing.

SUMÁRIO

1 Introdução 12

1.1 Considerações iniciais 12

1.2 Objetivos 15

1.3 Estrutura da dissertação 16

2 Mercado de derivativos climáticos 17

2.1 Análise de risco 17

2.1.1 Risco climáticos 17

2.1.2 Risco de base 18

2.2 Mercado de energia 20

2.3 Mercado de derivativos 21

2.4 Mercado financeiro 22

3 Precificação 24

3.1 Métodos de precificação 24

3.1.1 Tipos de precificação 25

3.1.2. Precificação usando a modelagem diária 27

3.2 Índices de temperatura 28

3.2.1 Índices de grau-dia (DD) 29

3.3 Contratos 31

3.3.1 Tipos de derivativos 32

3.3.2. Pay-off dos derivativos 34

4 Análise dos dados 38

4.1 Série de temperatura 38

4.2 Série de CDD 41

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410264/CB

5 Modelo de previsão de temperatura 43
5.1 Previsão de clima 44
5.1.1 Introdução á previsão meteorológica 46
5.2 Modelos de previsão 46
5.2.1 Holt-Winters 47
5.2.2 Box & Jenkins 51
5.2.3 Transformação de Fourier 54

6 Resultados 56
6.1 Modelo de Holt-Winters 57
6.2 Modelo de Box & Jenkins 59
6.3 Modelo pela transformação de fourier 63
6.4 Comparação entre os modelos 67

7 Conclusão 70

8 Referências bibliográficas 72

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410264/CB

Lista de Gráficos

Gráfico 1 – Média diária de temperatura 39
Gráfico 2 – Histograma da média diária de temperatura 40
Gráfico 3 – CDD acumulado mensal 41
Gráfico 4 – Ajuste do modelo Holt-Winters na amostra 57
Gráfico 5 – Ajuste do modelo Holt-Winters fora da amostra 58
Gráfico 6 – Função de autocorrelação 59
Gráfico 7 – Função de autocorrelação parcial 60
Gráfico 8 – Função de autocorrelação dos erros do modelo 61
Gráfico 9 – Função de autocorrelação parcial dos erros do modelo 61
Gráfico 10 – Ajuste do modelo SARIMA na amostra 62
Gráfico 11 – Ajuste do modelo SARIMA fora da amostra 63
Gráfico 12 – Ajuste do modelo Fourier na amostra 64
Gráfico 13 – Função de autocorrelação dos resíduos do modelo 66
Gráfico 14 – Ajuste do modelo Fourier fora da amostra 67
Gráfico 15 – Comparação da previsão do CDD Mensal 69

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410264/CB

Lista de Quadros

Quadro 1 – Estatísticas descritivas da série de temperatura média 40
Quadro 2 – Estatísticas do modelo Holt-Winters na amostra 58
Quadro 3 – Estatísticas do modelo Holt-Winters fora da amostra 58
Quadro 4 – Coeficientes do modelo SARIMA 60
Quadro 5 – Estatísticas do modelo SARIMA na amostra 62
Quadro 6 – Estatísticas do modelo SARIMA fora da amostra 63
Quadro 7 – Estatísticas do modelo de Fourier na amostra 64
Quadro 8 – Coeficientes do modelo de Fourier 65
Quadro 9 – Estatísticas do modelo de Fourier fora da amostra 66
Quadro 10 – Comparação das estatísticas dos modelos na amostra 67
Quadro 11 – Comparação das estatísticas dos modelos fora da amostra 68
Quadro 12 – Comparação das estatísticas dos modelos fora da amostra 69

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410264/CB