



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ADMINISTRATIVAS
CENTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISAS EM ADMINISTRAÇÃO**

**RISCO DE CÂMBIO NO MERCADO INTERBANCÁRIO BRASILEIRO:
um estudo comparativo entre modelos de predição de volatilidade**

Clayton Peixoto Goulart

BELO HORIZONTE, MG

2004

Clayton Peixoto Goulart

**RISCO DE CÂMBIO NO MERCADO INTERBANCÁRIO BRASILEIRO:
um estudo comparativo entre modelos de predição de volatilidade**

Dissertação apresentada ao Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração – CEPEAD – da Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Administração.

Área de Concentração: Mercadologia e Administração Estratégica

Orientador: Prof. Dr. Hudson Fernandes Amaral
Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte
Faculdade de Ciências Econômicas da UFMG
Março/2004




**Universidade Federal de Minas Gerais
Faculdade de Ciências Econômicas
Departamento de Ciências Administrativas
Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração**

ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ADMINISTRAÇÃO do Senhor CLAYTON PEIXOTO GOULART, REGISTRO N° 323/2004. No dia 26 de março de 2004, às 14:00 horas, reuniu-se na Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, a Comissão Examinadora de Dissertação, indicada pelo Colegiado do Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração do CEPEAD, em 10 de março de 2004, para julgar o trabalho final intitulado "Risco de Câmbio no Mercado Interbancário Brasileiro: Um Estudo Comparativo entre Modelos de Predição de Volatilidade", requisito para a obtenção do Grau de Mestre em Administração, área de concentração: Mercadologia e Administração Estratégica. Abrindo a sessão, o Senhor Presidente da Comissão, Prof. Dr. Hudson Fernandes Amaral, após dar conhecimento aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra ao candidato para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores com a respectiva defesa do candidato. Logo após, a Comissão se reuniu sem a presença do candidato e do público, para julgamento e expedição do resultado final. Foram atribuídas as seguintes indicações:

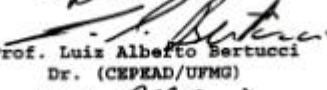
Prof. Dr. Hudson Fernandes Amaral	APROVADO
Prof. Dr. Aureliano Angel Bressan	APROVADO
Prof. Dr. Luiz Alberto Bertucci	APROVADO
Prof. Dr. Fabio Gallo Garcia	APROVADO


Pelas indicações, o candidato foi considerado **APROVADO**.

O resultado final foi comunicado publicamente ao candidato pelo Senhor Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, o Senhor Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora. Belo Horizonte, 26 de março de 2004.


Prof. Hudson Fernandes Amaral
ORIENTADOR - Dr. (CEPEAD/UFMG)


Prof. Aureliano Angel Bressan
Dr. (CEPEAD/UFMG)


Prof. Luiz Alberto Bertucci
Dr. (CEPEAD/UFMG)


Prof. Fabio Gallo Garcia
Dr. (FGV/ SP)

DEDICATÓRIA

À Patrícia, pelo amor, dedicação,
incentivo e paciência.

À nossa filha Julia, fonte inesgotável
de energia, alegria e luz.

AGRADECIMENTOS

Enfim a dissertação! Objetivo e obsessão de todo mestrando. Lembrada e relembada diuturnamente por familiares, amigos, funcionários e professores, desde o primeiro minuto em que se inicia o curso. Por mim, prefiro pensar como sendo apenas mais uma etapa em minha caminhada, muito sofrida, mas também muito prazerosa, na qual, o sentimento e a razão puderam afluir mais vigorosamente no aprimoramento deste ser que insiste em permanecer humano.

Muitos foram os que me ajudaram nesta jornada e, sob pena de cometer muitas injustiças, seja por esquecimento ou falhas de memória, gostaria de agradecer a todos. Mas especialmente ...

Aos meus pais, eternos incentivadores, que, com sua obstinação, honestidade, caráter e dedicação, sempre foram exemplo para seus filhos.

Ao Prof. Dr. Hudson Fernandes Amaral, pelo seu apoio, comentários e sugestões na orientação desta dissertação.

Aos professores Dr. Luiz Alberto Bertucci e Dr. Aureliano Angel Bressan, por suas valorosas sugestões metodológicas e bibliográficas, que auxiliaram, em muito, o desenvolvimento deste trabalho.

Aos demais professores do CEPEAD, em especial aos Prof. Dr. Ricardo Veiga e Prof. Dr. Francisco Vidal, por me mostrar os caminhos para a construção do conhecimento.

Ao Banco Central do Brasil, pela liberação e apoio financeiro, sem o qual não teria tido a oportunidade de realizar este projeto.

Ao meu orientador técnico, amigo e incentivador Paulo Augusto de Andrade, por suas sugestões, confiança e constante apoio nos diversos desafios que enfrentei nesses cinco anos de Banco Central do Brasil.

Aos colegas do BACEN, que, direta ou indiretamente, apresentaram sugestões e auxiliaram na difícil tarefa de *abrir as portas* para que a pesquisa fosse realizada a contento.

À Bolsa de Mercadorias & Futuros, em especial aos colegas da Câmara de Registro, Compensação e Liquidação de Operações de Câmbio, pela presteza e atenção que me dispensaram nos diversos contatos, pessoais e telefônicos, que se fizeram necessários para a concretização desse trabalho.

Aos funcionários do CAD, CEGE e CEPEAD pela ajuda nas questões administrativas, pedindo licença para um agradecimento especial à Vera, por sua extrema simpatia e bom atendimento.

Aos colegas mestrandos e doutorandos de todas as turmas que compartilharam comigo este profícuo período da minha vida, com destaque para os da turma de 2002, dos quais guardarei lembranças e que espero ter o prazer de reencontrar no futuro.

SUMÁRIO

<u>1</u>	<u>INTRODUÇÃO</u>	23
<u>1.1</u>	<u>Apresentação</u>	23
<u>1.2</u>	<u>Contextualização</u>	27
<u>1.3</u>	<u>O problema de pesquisa</u>	30
<u>1.4</u>	<u>Objetivos</u>	31
<u>1.5</u>	<u>Justificativa e relevância</u>	32
<u>2</u>	<u>REFERENCIAL TEÓRICO</u>	34
<u>2.1</u>	<u>Mercado de câmbio brasileiro</u>	34
<u>2.1.1</u>	<u>Introdução</u>	34
<u>2.1.2</u>	<u>Regimes cambiais</u>	37
<u>2.1.3</u>	<u>Clearing de Câmbio da BM&F</u>	39
<u>2.2</u>	<u>Modelos de cálculo de volatilidade</u>	54
<u>2.2.1</u>	<u>Aspectos gerais</u>	54
<u>2.2.2</u>	<u>Volatilidade histórica</u>	57
<u>2.2.3</u>	<u>Volatilidade implícita</u>	59
<u>2.2.4</u>	<u>Modelo EWMA</u>	62
<u>2.2.5</u>	<u>Modelo ARCH</u>	68
<u>2.2.6</u>	<u>Modelo GARCH</u>	72
<u>2.2.7</u>	<u>Modelo EGARCH</u>	77
<u>2.2.8</u>	<u>Modelo TARCH</u>	79

<u>2.3</u>	<u>Avaliação de modelos de volatilidade</u>	81
<u>2.3.1</u>	<u>Introdução</u>	81
<u>2.3.2</u>	<u>Estudos comparativos entre modelos de volatilidade</u>	82
<u>2.3.3</u>	<u>Critérios de avaliação</u>	87
<u>3</u>	<u>METODOLOGIA</u>	97
<u>3.1</u>	<u>Introdução</u>	97
<u>3.2</u>	<u>Prospecção inicial</u>	98
<u>3.2.1</u>	<u>Método e técnica de pesquisa</u>	98
<u>3.2.2</u>	<u>Unidade de observação, unidades de análise e amostra</u>	99
<u>3.2.3</u>	<u>Instrumento de pesquisa</u>	101
<u>3.2.4</u>	<u>Limitações da pesquisa</u>	101
<u>3.3</u>	<u>Comparação estatística</u>	102
<u>3.3.1</u>	<u>Método e técnica de pesquisa</u>	102
<u>3.3.2</u>	<u>Unidade de observação e unidades de análise</u>	102
<u>3.3.3</u>	<u>Delineamento da pesquisa</u>	103
<u>3.3.3.1</u>	<u>Amostra</u>	103
<u>3.3.3.2</u>	<u>Modelagem dos dados</u>	104
<u>3.3.3.3</u>	<u>Estatísticas descritivas e teste de heterocedasticidade</u>	105
<u>3.3.3.4</u>	<u>Definição dos modelos</u>	107
<u>3.3.3.5</u>	<u>Medidas de avaliação do desempenho preditivo</u>	110
<u>3.3.3.6</u>	<u>A descrição do processo</u>	111
<u>3.3.4</u>	<u>Instrumentos da pesquisa</u>	120
<u>3.3.5</u>	<u>Limitações da pesquisa</u>	120

<u>4</u>	<u>ANÁLISE DOS RESULTADOS</u>	122
4.1	<u>Prospecção inicial</u>	122
4.2	<u>Indicadores de desempenho operacional da <i>Clearing</i></u>	125
4.3	<u>Características estatísticas da série de retornos</u>	130
4.4	<u>Avaliação da capacidade preditiva</u>	133
4.5	<u>Representatividade do modelo econométrico no contexto operacional da <i>Clearing</i> de Câmbio</u>	137
<u>5</u>	<u>CONCLUSÕES</u>	151
	<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	156
	<u>ANEXOS</u>	168

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura 1 – Contratação e registro de operações de câmbio</u>	43
<u>Figura 2 – Liquidação de operação de câmbio em reais, sem intervenção da <i>Clearing</i></u>	45
<u>Figura 3 – Liquidação de operação de câmbio em dólar, sem a intervenção da <i>Clearing</i></u>	45
<u>Figura 4 – Submissão de uma operação à <i>Clearing</i> de Câmbio da BM&F</u>	48
<u>Figura 5 – Exemplo da primeira fase da liquidação através da <i>Clearing</i> de Câmbio</u>	49
<u>Figura 6 – Segunda etapa da liquidação de operações via <i>Clearing</i> de Câmbio</u>	50
<u>Figura 7 – Última etapa de liquidação via <i>Clearing</i> de Câmbio</u>	51

LISTA DE GRÁFICOS

<u>Gráfico 1 – Volumes contratados e liquidados (em reais) na <i>Clearing</i> de Câmbio da BM&F, no período compreendido entre 22/04/2002 a 03/10/2003</u>	52
<u>Gráfico 2 – Volumes contratados e liquidados (em dólares) na <i>Clearing</i> de Câmbio da BM&F, no período compreendido entre 22/04/2002 a 03/10/2003</u>	53
<u>Gráfico 3 – Volume financeiro negociado no mercado interbancário (liquidação em D+1 – dólares norte-americanos) e na <i>Clearing</i> de Câmbio da BM&F, no período compreendido entre 22/04/2002 e 03/10/2003</u>	126
<u>Gráfico 4– Volume financeiro negociado no mercado interbancário (liquidação em D+2 – em dólares norte-americanos) e na <i>Clearing</i> de Câmbio da BM&F, no período compreendido entre 22/04/2002 e 03/10/2003</u>	126
<u>Gráfico 5 – Comparação entre o percentual de garantia definido pela <i>Clearing</i> de Câmbio da BM&F (BM&F+ e BM&F-), o percentual calculado com base na predição da volatilidade obtida pelo modelo econométrico (VaR+ e VaR-); e o retorno hipotético calculado. Negócios efetuados para liquidação em D+1, no período compreendido entre 22/04/2002 e 03/10/2003.</u>	128
<u>Gráfico 6 – Comparação entre o percentual de garantia definido pela <i>Clearing</i> de Câmbio da BM&F (BM&F+ e BM&F-), o percentual calculado com base na predição da volatilidade obtida pelo modelo econométrico (VaR+ e VaR-); e o retorno hipotético calculado. Negócios efetuados para liquidação em D+2, no período compreendido entre 22/04/2002 a 03/10/2003</u>	129

<u>Gráfico 7 – Retornos diários da taxa de câmbio para o período compreendido entre 20/08/2001 e 30/09/2003</u>	132
<u>Gráfico 8 – Comportamento diário do <i>índice econométrico</i> (I_{eco}), calculado com base nas volatilidades previstas pelo modelo EWMA –, do <i>índice macroeconômico</i> (I_{macro}) e do índice de variação da taxa de câmbio contratualmente garantido (I_{est}); para D+1 (a) e D+2 (b)</u>	146
<u>Gráfico 9 – Comportamento diário do <i>índice econométrico</i> (I_{eco}), calculado com base nas volatilidades previstas pelo modelo GARCH (1,1) –, do <i>índice macroeconômico</i> (I_{macro}) e do índice de variação da taxa de câmbio contratualmente garantido (I_{est}); para D+1 (a) e D+2 (b)</u>	147
<u>Gráfico 10 – Comportamento diário do <i>índice econométrico</i> (I_{eco}), calculado com base nas volatilidades previstas pelo modelo EGARCH (1,1) –, do <i>índice macroeconômico</i> (I_{macro}) e do índice de variação da taxa de câmbio contratualmente garantido (I_{est}); para D+1 (a) e D+2 (b)</u>	148
<u>Gráfico 11 – Comportamento diário do <i>índice econométrico</i> (I_{eco}), calculado com base nas volatilidades previstas pelo modelo TARCH (1,1) –, do “índice macroeconômico” (I_{macro}) e do índice de variação da taxa de câmbio contratualmente garantido (I_{est}); para D+1 (a) e D+2 (b)</u>	149
<u>Gráfico 12 – Comportamento diário do <i>índice econométrico</i> (I_{eco}), calculado com base nas volatilidades previstas pelo modelo <i>random walk</i> –, do “índice macroeconômico” (I_{macro}) e do índice de variação da taxa de câmbio contratualmente garantido (I_{est}); para D+1 (a) e D+2 (b)</u>	150

<u>Gráfico 13 – Comparação entre a <i>volatilidade real</i> e a volatilidade prevista pelo modelo EWMA, expressas na forma de desvio-padrão, para D+1</u>	192
<u>Gráfico 14 – Comparação entre a <i>volatilidade real</i> e a volatilidade prevista pelo modelo EWMA, expressas na forma de desvio-padrão, para D+2</u>	193
<u>Gráfico 15 – Comparação entre a <i>volatilidade real</i> e a volatilidade prevista pelo modelo GARCH, expressas na forma de desvio-padrão, para D+1</u>	194
<u>Gráfico 16 – Comparação entre a <i>volatilidade real</i> e a volatilidade prevista pelo modelo GARCH, expressas na forma de desvio-padrão, para D+2</u>	196
<u>Gráfico 17 – Comparação entre a <i>volatilidade real</i> e a volatilidade prevista pelo modelo EGARCH, expressas na forma de desvio-padrão, para D+1</u>	197
<u>Gráfico 18 – Comparação entre a <i>volatilidade real</i> e a volatilidade prevista pelo modelo EGARCH, expressas na forma de desvio-padrão, para D+2</u>	198
<u>Gráfico 19 – Comparação entre a <i>volatilidade real</i> e a volatilidade prevista pelo modelo TARARCH, expressas na forma de desvio-padrão, para D+1</u>	199
<u>Gráfico 20 – Comparação entre a <i>volatilidade real</i> e a volatilidade prevista pelo modelo TARARCH, expressas na forma de desvio-padrão, para D+2</u>	200
<u>Gráfico 21 – Comparação entre a <i>volatilidade real</i> diária, expressa na forma de desvio-padrão, e o índice econométrico (I_{eco}), calculado com base no modelo EWMA, para D+1</u>	201

<u>Gráfico 22 – Comparação entre a <i>volatilidade real</i> acumulada em dois dias, expressa na forma de desvio-padrão, e o índice econométrico (I_{eco}), calculado com base no modelo EWMA, para cobertura de variações da taxa de câmbio no mesmo período.....</u>	202
<u>Gráfico 23 – Comparação entre a <i>volatilidade real</i> diária, expressa na forma de desvio-padrão, e o índice econométrico (I_{eco}), calculado com base no modelo GARCH, para D+1.....</u>	203
<u>Gráfico 24 – Comparação entre a <i>volatilidade real</i> acumulada em dois dias, expressa na forma de desvio-padrão, e o índice econométrico (I_{eco}), calculado com base no modelo GARCH, para cobertura de variações da taxa de câmbio no mesmo período</u>	204
<u>Gráfico 25 – Comparação entre a <i>volatilidade real</i> diária, expressa na forma de desvio-padrão, e o índice econométrico (I_{eco}), calculado com base no modelo EGARCH, para D+1</u>	205
<u>Gráfico 26 – Comparação entre a <i>volatilidade real</i> acumulada em dois dias, expressa na forma de desvio-padrão, e o índice econométrico (I_{eco}), calculado com base no modelo EGARCH, para cobertura de variações da taxa de câmbio no mesmo período</u>	207
<u>Gráfico 27 – Comparação entre a <i>volatilidade real</i> diária, expressa na forma de desvio-padrão, e o índice econométrico (I_{eco}), calculado com base no modelo TARCH, para D+1.....</u>	208

Gráfico 28 – Comparação entre a *volatilidade real* acumulada em dois dias, expressa na forma de desvio-padrão, e o índice econométrico (I_{eco}), calculado com base no modelo TARCH, para cobertura de variações da taxa de câmbio no mesmo período... 209

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Descrição dos períodos utilizados para análise descritiva e de heterocedasticidade da série de retornos	107
--------------------------	---	-----

LISTA DE TABELAS

<u>Tabela 1</u>	Número de observações históricas (retornos diários), sugerida pelo documento técnico do <i>RiskMetrics</i> TM , para a utilização do modelo EWMA.....	65
<u>Tabela 2</u>	Resumo comparativo do desempenho preditivo entre categorias de modelos de volatilidade	86
<u>Tabela 3</u>	Modelos mais utilizados em estudos comparativos de desempenho preditivo de modelos de volatilidade	95
<u>Tabela 4</u>	Estatísticas descritivas e testes ARCH-LM para a série de retornos da taxa de câmbio	130
<u>Tabela 5</u>	Avaliação da capacidade preditiva dos modelos de predição da volatilidade dos retornos da taxa de câmbio	134
<u>Tabela 6</u>	Resumo do comportamento dos modelos quanto ao viés de predição	136
<u>Tabela 7</u>	Representatividades médias dos modelos econométricos	140

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AR	Auto-Regressio
ARCH	<i>Autoregressive Conditional Hereroscedasticity</i>
ARCH-LM	ARCH – <i>Lagrange Multipliers</i>
ARMA	<i>autoregressive moving average</i>
BACEN	Banco Central do Brasil
BIS	<i>Bank for International Settlements</i>
BM&F	Bolsa de Mercadorias & Futuros
CHIPS	<i>Clearing House Interbank Payments System</i>
CMN	Conselho Monetário Nacional
DPIP	Desvio-Padrão Implícito Ponderado
EGARCH	<i>Exponencial Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity</i>
EAM	Erro Absoluto Médio;
EM	Erro Médio
EQM	Erro Quadrático médio;
EWMA	<i>Exponentially Weighted Moving Averages</i>

Fedwire	<i>Federal Reserve Wire Network</i>
GARCH	<i>Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity</i>
IGARCH	<i>Integrated Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity</i>
MAEP	Média Absoluta dos Erros Percentuais;
NYSE	<i>New York Stock Exchange</i>
RepM	Representatividade Média do componente econométrico
REQM	Raiz do Erro Quadrático Médio;
RW	<i>Random Walk</i>
SISBACEN	Sistema de Informações e Registro Eletrônico do BACEN
SPB	Sistema de Pagamentos Brasileiro
STR	Sistema de Transferência de Reservas
TARCH	<i>Threshold Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity</i>

RESUMO

A volatilidade é uma variável-chave na moderna teoria de finanças, presente nos processos de tomada de decisão financeira, precificação de ativos e nas metodologias de gerenciamento de risco. Entretanto, a escolha do modelo de predição de volatilidade adequado para cada aplicação, ativo e mercado não é uma tarefa trivial, merecendo especial atenção dos pesquisadores nos últimos vinte anos. Os estudos demonstram que o desempenho dos modelos de predição de volatilidade difere dependendo do ativo analisado, da amostra definida e da existência de características comumente encontradas nas séries temporais financeiras, tais como a heterocedasticidade, o agrupamento de volatilidades e a resposta assimétrica a boas e más notícias. Dessa forma, o presente trabalho apresenta um estudo comparativo da capacidade preditiva dos modelos EWMA (adotado pela *Clearing* de Câmbio da BM&F), GARCH (1,1), EGARCH (1,1) e TARCH (1,1), quando utilizados para prever a volatilidade das taxas de câmbio praticadas no mercado interbancário brasileiro. A amostra é composta pelas cotações diárias de fechamento da taxa de câmbio real/dólar estadunidense observadas no período de 20 de agosto de 2001 a 30 de setembro de 2003. Os resultados demonstraram que o modelo TARCH (1,1) apresenta o melhor desempenho preditivo, acompanhado de perto pelo modelo EGARCH (1,1), seguindo-se o modelo GARCH (1,1) e, por último, o modelo EWMA. Além disso, constatou-se que todos os modelos revelaram uma propensão a superestimar a volatilidade futura. Por fim, verificou-se que, em virtude de uma postura excessivamente conservadora e de um afastamento progressivo entre os valores estipulados para o índice de variação da taxa de câmbio contratualmente garantido e os índices calculados com base na volatilidade prevista por um modelo econométrico, uma

eventual substituição do modelo EWMA pelo modelo TARCH(1,1) não implicaria em alterações no atual contexto operacional da referida *Clearing*.

Palavras-chave: Volatilidade, EWMA, GARCH, TARCH, EGARCH, Câmbio, Risco, Modelos Econométricos.

ABSTRACT

Volatility is an important variable of the modern financial theory, present in financial decision-making and asset valuation processes, as well as in risk management methodologies. However, choosing the appropriate model for forecasting volatility – adjusted for each application, asset and market - is not a trivial task, and as such has been the focus of attention of many researches over the last twenty years. The studies demonstrated that the performance of volatility forecast models differ depending on the analyzed asset, the specified sample, and on the existence of characteristics that usually observed in financial time series, such as heteroscedasticity, volatility clustering and the leverage effect. Thus, this work presents a comparative study of the forecast capability of the EWMA (adopted by the BM&F Foreign Exchange Clearinghouse), GARCH (1,1), EGARCH (1,1) and TARCH (1,1) models - employed to predict the volatility of the exchange rate in the Brazilian interbank market. The sample consists of daily exchange (closing) rates of Real/US-dollar between August 20, 2001 and September 30, 2003. Study results demonstrated that the TARCH (1,1) model presents the best forecasting performance, closely followed by the EGARCH (1,1), followed by the GARCH (1,1) model and, at last, by the EWMA model. Moreover, all the studied models have shown a propensity to overestimate future volatility. Finally, due to the overly conservative position and progressive detachment amid the values set for the contractually guaranteed exchange rate fluctuation index and the index based on an econometric model, the eventual substitution of the EWMA model by the TARCH (1,1) model would not imply in alterations in the current operational context of the Brazilian Clearinghouse.

KEYWORDS: Volatility, EWMA, GARCH, TARCH, EGARCH, Foreign Exchange, Risk, Econometric Models.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

Desde o trabalho inicial de Markowitz (1952), a volatilidade é uma variável presente em grande parte da moderna teoria de finanças e dos processos de tomada de decisão financeira. Nesse sentido, Bollerslev, Chou e Kroner (1992, p.62) afirmam que a “volatilidade é uma variável chave que permeia a maioria dos instrumentos financeiros e que exerce um papel central em diversas áreas de finanças”¹. Entretanto, passados mais de 50 anos de extensas pesquisas e discussões acadêmicas, observa-se que ainda não há um consenso sobre o modelo mais adequado para o cálculo da volatilidade, merecendo ainda calorosas discussões e configurando-se em um amplo campo de pesquisas (SUGANUMA, 2000).

Durante muitos anos, a proposição dominante nas publicações científicas financeiras e nas aplicações de mercado baseavam-se na pressuposição de que se poderia considerar a volatilidade dos retornos dos ativos financeiros como um fator constante no tempo. Embora Mandelbrot (1963) e Fama (1965), dentre outros, já tivessem alertado para as mudanças na volatilidade dos ativos ao longo do tempo, destaca-se a ênfase dada por Merton (1980, p 354-355) no que se refere à necessidade do “desenvolvimento de modelos mais precisos de estimação de variâncias que levassem em conta os erros de estimativas passadas”, bem como os problemas decorrentes da não existência desses:

[...] como a variância dos retornos no mercado muda significativamente ao longo do tempo, os estimadores levantados de séries temporais sobre retornos passados devem ser ajustados para a heterocedasticidade. Como sugerido pelos resultados empíricos aqui apresentados, estimadores que se baseiam na premissa de variância constante, embora consistentes, podem

produzir estimativas substancialmente diferentes das produzidas por estimadores de mínimos quadrados ponderados, ainda que as séries temporais se estendam por cinquenta anos².

Como preconizado por Merton (1980), Robert F. Engle propôs³, em artigo datado de julho de 1982, uma nova classe de processos estocásticos denominada *Autoregressive Conditional Heteroscedasticity* – ARCH –, na qual a variância de uma série temporal modifica-se, com o passar do tempo, de forma condicional aos erros de previsão observados no passado. Posteriormente, Bollerslev (1986) generalizou o tratamento da variância condicional por meio do modelo intitulado *Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity* – GARCH –, no qual a variância condicional em um determinado tempo “t” depende não somente dos erros de previsão observados no passado, como também das variâncias condicionadas observadas no passado (GUJARATI, 2000).

Durante os anos que se seguiram, diversas variantes dos modelos originais ARCH e GARCH foram desenvolvidas no sentido de melhor representar o comportamento dos diversos ativos nos mercados financeiros, por vezes apresentando maior complexidade matemática e, conseqüentemente, de implementação; por vezes adotando simplificações que, por pouco, não descaracterizam os princípios básicos dos modelos originais. Dentre os modelos simplificados, destaca-se o adotado pelo *RiskMetrics*^{TM4}, denominado *Exponentially Weighted Moving Averages* – EWMA –, que pode ser interpretado como um caso especial do modelo *Integrated GARCH* – I-GARCH –, tendo obtido ampla aceitação pelo mercado financeiro (ALEXANDER, 1998).

¹ Original em inglês

² Original em inglês.

³ O trabalho seminal de Robert F. Engle, intitulado *Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom Inflation*, foi publicado no v. 50, n. 4, da *Econometrica*, em julho de 1982. Por este trabalho, o autor foi laureado com o Prêmio Nobel de Economia de 2003.

No campo acadêmico, foram e são efetuados diversos estudos empíricos testando a capacidade preditiva dos modelos da família ARCH, principalmente nos mercados de câmbio e de ações, originando um grande número de artigos, teses e dissertações sobre o assunto. Já no âmbito comercial, embora no início dos anos 90 fosse possível considerar que os modelos ARCH, como ferramentas de decisão, estivessem em um estágio ainda experimental, nos dias de hoje, muitas instituições já detêm a expertise necessária para utilizá-los (GOURIÉROUX, 1997).

No Brasil, infelizmente, tanto no âmbito acadêmico como no comercial, ainda não se observa o mesmo volume de publicações, pesquisas e aplicativos que se constata nos mercados financeiros dos países desenvolvidos. Dessa forma, o presente trabalho apresenta um estudo comparativo da capacidade preditiva dos modelos da família ARCH em relação ao modelo EWMA – adotado pelo *RiskMetrics*TM e pela *Clearing*⁵ de Câmbio da Bolsa de Mercadorias e Futuros⁶ (BM&F) – no mercado de câmbio interbancário brasileiro. Por um lado, contribuindo para a academia no sentido de preencher parte da lacuna nos estudos relativos ao comportamento dos modelos de predição de volatilidade no mercado de câmbio brasileiro. Por outro, contribuindo para o mercado no sentido de apresentar um estudo científico da capacidade preditiva dos modelos e, assim, trazer maior segurança nas tomadas de decisões e gerenciamento de riscos nos negócios efetuados.

Nesse sentido, a dissertação está estruturada em cinco capítulos, além das referências bibliográficas e dos anexos. Neste primeiro capítulo, faz-se uma breve discussão das recentes

⁴ Uma metodologia de mensuração e gerenciamento de risco, desenvolvida e comercializada pelo MORGAN GUARANTY TRUST COMPANY & REUTERS LTD (1996).

⁵ Nesse trabalho, dá-se a denominação de *clearing* a uma entidade legalmente constituída que provê uma gama de serviços relacionados à compensação e liquidação de transações; pagamentos e gerenciamento dos riscos associados (BACEN, 2001).

mudanças ocorridas no Sistema Financeiro Nacional, contextualizando o leitor na problemática que envolve esta pesquisa. São apresentadas as questões a serem respondidas e os objetivos propostos, argumentando-se sobre as justificativas para a realização desta pesquisa e sua relevância tanto para o meio acadêmico quanto para o mercado financeiro.

A apresentação da fundamentação teórica que apóia este estudo está no segundo capítulo. Discutem-se brevemente as características do mercado cambial brasileiro e o contexto operacional dos negócios realizados no âmbito da *Clearing* de Câmbio da BM&F. A seguir, discorre-se sobre alguns dos principais modelos de cálculo da volatilidade, com especial atenção para aqueles que participam diretamente desta pesquisa. Finalizando, faz-se uma discussão sobre as metodologias para avaliação da capacidade preditiva mais comumente encontradas na literatura especializada.

O terceiro capítulo traz, em detalhes, a metodologia adotada para a realização deste trabalho. São descritos os procedimentos empregados em cada etapa, caracterizadas as amostras, as unidades de observação e análise, definidos os instrumentos de pesquisa e discutidas as limitações de cada processo.

A exibição, a análise e a discussão dos resultados se encontram no quarto capítulo, estando subdividido em cinco seções, apresentadas na mesma ordem lógica em que foram definidos os procedimentos empíricos no capítulo referente à metodologia. Sempre que oportuno, as análises e conclusões parciais extrapolam os limites das seções, buscando-se demonstrar o inter-relacionamento dos resultados.

⁶ A denominação formal da *clearing* é Câmara de Registro, Compensação e Liquidação de Operações de Câmbio BM&F.

As conclusões finais são apresentadas no quinto capítulo, no qual são cotejados os objetivos geral e específicos com os resultados encontrados, efetuadas as considerações pertinentes e apontadas possibilidades para pesquisas futuras.

O referencial teórico dispensa comentários. Já os Anexos, foram organizados de forma a permitir a reprodução futura da pesquisa, na medida em que são oferecidos, na íntegra, os dados utilizados e o programa desenvolvido para o respectivo tratamento no software econométrico EviewsTM.

1.2 Contextualização

O Banco Central do Brasil – BACEN –, após longo período de desenvolvimento conjunto com as instituições do Sistema Financeiro Nacional, implementou⁷ uma grande reforma no Sistema de Pagamentos⁸ Brasileiro – SPB –, visando, como objetivo maior, a redução do risco sistêmico no mercado financeiro nacional. Para tanto, além de mudanças estruturais e tecnológicas, foi necessária a criação de um arcabouço legal e regulamentar que desse sustentação à nova estrutura, das quais se destacam a Lei n. 10.214/01; a Resolução CMN⁹ 2.882/01; e as Circulares BACEN 3.057/01 e 3.101/02.

Dentre as novidades legais e regulamentares, os seguintes pontos merecem especial atenção (BACEN, 2003):

⁷ O novo SPB iniciou oficialmente suas atividades no dia 22 de abril de 2002.

⁸ Nesse projeto, entende-se como sistema de pagamentos o conjunto de procedimentos, regras, instrumentos e sistemas operacionais integrados usados para transferir fundos do pagador para o recebedor e, com isso, encerrar uma obrigação. Economias de mercado dependem desses sistemas para movimentar os fundos decorrentes da atividade econômica (produtiva, comercial e financeira), tanto em moeda local quanto em moeda estrangeira (BACEN, 2001).

⁹ No Brasil, o Conselho Monetário Nacional – CMN – é o órgão máximo do Sistema Financeiro Nacional.

- a) o reconhecimento da compensação multilateral no âmbito dos sistemas de compensação e de liquidação;
- b) determinação da existência de dispositivos que garantam a exequibilidade dos ativos oferecidos em garantia, no caso de quebra de participante em sistema de compensação e de liquidação;
- c) a obrigatoriedade de que, em todo sistema de liquidação considerado sistemicamente importante¹⁰ pelo BACEN, a entidade operadora atue como contraparte central¹¹ e, ressalvado o risco de emissor, assegure a liquidação de todas as operações cursadas, devendo para isso contar com adequados mecanismos de proteção e gerenciamento de riscos;
- d) o estabelecimento de princípios para o funcionamento do SPB em conformidade com as recomendações feitas por organismos financeiros internacionais;
- e) a exigência de que, nos sistemas considerados sistemicamente importantes, a liquidação final dos resultados apurados seja feita diretamente em contas mantidas no BACEN;
- f) a proibição de saldo a descoberto nas contas de liquidação mantidas no BACEN.

É importante observar que especial atenção foi dada às entidades operadores dos sistemas de compensação e de liquidação, exigindo que estas, uma vez consideradas sistemicamente importantes pelo BACEN, tomem a posição de contraparte central e assegurem a liquidação de todas as operações cursadas. Ou seja, a partir do advento do novo SPB, o risco privado

¹⁰ São considerados sistemas de liquidação sistemicamente importantes todos aqueles que liquidam operações com títulos, valores mobiliários, outros ativos financeiros, inclusive moeda estrangeira, e derivativos financeiros, bem como os sistemas de transferência de fundos por intermédio dos quais sejam feitas transferências de grande valor, isto é, R\$ 10 milhões por operação ou R\$ 5 bilhões de giro diário, bem como todos aqueles assim definidos pelo Banco Central do Brasil.

¹¹ Diz-se que uma *clearing* é contraparte central em uma operação quando esta se interpõe entre os contratantes em uma negociação, assumindo a posição oposta em cada ponta da referida operação. Dessa forma, a contraparte de cada operação passa a ser a *clearing*, e não mais os operadores iniciais.

deixa de ser assumido pelo poder público – representado, nesse caso, pelo BACEN – e é *devolvido* para o setor privado, devendo ser devidamente por ele gerenciado.

Evidentemente, a garantia da minimização do risco sistêmico nesse novo sistema depende do bom gerenciamento de riscos e da correta operação das câmaras de liquidação e de compensação e, por isso, têm de ser formalmente aprovadas pelo BACEN e são submetidas a controle e fiscalização periódicas.

A Bolsa de Mercadorias e Futuros teve aprovada a criação de três *clearings*, quais sejam: a) *Clearing* de câmbio; b) *Clearing* de derivativos; e c) *Clearing* de ativos. A presente dissertação se propõe a abordar apenas o gerenciamento de risco da *Clearing* de câmbio e, mais especificamente, modelos de estimação de volatilidade a serem utilizados como base para a determinação do índice de variação contratualmente garantido da taxa de câmbio nos negócios realizados no âmbito da referida câmara.

Segundo o Anexo I do Manual de Gerenciamento de Risco da *Clearing* de Câmbio (BM&F, 2002, p 83),

O índice de variação da taxa de câmbio deve cobrir os movimentos de taxa plausíveis, sendo determinado pela Câmara com base em metodologias de estimação de volatilidade e na análise das economias brasileira e internacional. Os índices de variação da taxa de câmbio são válidos para operações contratadas no dia D, para liquidação em D+1 ou D+2, sendo necessário o depósito prévio de garantias. [...]

Com base na volatilidade corrente, a Câmara definirá a cobertura da variação da taxa de câmbio, determina o índice de variação a ser garantida para operações com liquidação em D+1, multiplicando a volatilidade da taxa de câmbio pelo número de desvios associado ao nível de cobertura desejado. O índice de variação garantida para D+2 será estabelecido como o índice de variação garantida para D+1 multiplicado pela raiz quadrada de 2. O índice de variação da taxa de câmbio deverá estar, portanto, acima da volatilidade

estimada pelo modelo. Contudo, a decisão final baseia-se na análise econômica dos fatos.

Nota-se, portanto, que o cálculo da volatilidade¹² é parâmetro fundamental para a determinação das garantias exigidas dos participantes. Dessa forma, também se coloca como parâmetro fundamental para o bom gerenciamento de riscos da *Clearing*. Considerando-se que os negócios efetuados no âmbito da *Clearing* de Câmbio da BM&F atingiram a marca de US\$ 270 bilhões¹³ no primeiro ano de funcionamento, pode-se ter a dimensão da importância do seu gerenciamento de riscos para a mitigação do risco sistêmico do Sistema Financeiro Nacional.

1.3 O problema de pesquisa

Segundo Laville e Dionne (1999), o problema de pesquisa é uma questão não resolvida, ou seja, é algo para o qual se vai buscar a resposta via pesquisa. Dessa forma, considerando as implicações já discutidas sobre a escolha de um modelo adequado para o cálculo da volatilidade no processo de gerenciamento dos riscos financeiros, a questão que se coloca é:

Os modelos de cálculo de volatilidade derivados da família ARCH apresentam melhor capacidade preditiva que o modelo EWMA no contexto do mercado interbancário de câmbio *spot* brasileiro?

Sendo que, por extensão, também são discutidas as seguintes questões subjacentes:

¹² Segundo o Analista de Risco operacional da BM&F, em entrevista realizado em 27/03/2003, na sede da *Clearing* de Câmbio da BM&F, São Paulo (SP), a câmara adotou a modelagem sugerida pelo RiskMetrics™ (EWMA), com fator λ igual a 0,94.

Os modelos de natureza assimétrica da família ARCH apresentam uma capacidade preditiva superior aos modelos simétricos no cálculo da volatilidade da taxa de câmbio no mercado interbancário *spot* brasileiro?

No atual contexto operacional da *Clearing* de Câmbio da BM&F, a substituição do modelo EWMA por um dos modelos da família ARCH implicaria em uma alteração nos índices de variação da taxa de câmbio contratualmente garantidos por ela estipulados?

1.4 Objetivos

O objetivo principal desta pesquisa é avaliar a capacidade preditiva dos modelos da família ARCH em relação ao modelo EWMA no cálculo da volatilidade da taxa de câmbio no contexto dos negócios efetuados no âmbito da *Clearing* de Câmbio da BM&F.

Tendo como objetivos específicos:

- a) verificar a presença de heterocedasticidade condicional, agrupamentos de volatilidade, reações assimétricas a boas e más notícias e leptocurtose na série de retornos da taxa de câmbio no período de 21/08/2001 a 30/09/2003;
- b) comparar, no contexto deste trabalho, a capacidade preditiva dos modelos assimétricos da família ARCH em relação ao modelo simétrico;
- c) avaliar o impacto na capacidade preditiva dos modelos da família ARCH ao se adotar o mesmo número de observações utilizadas pelo modelo EWMA para a estimação dos parâmetros da equação da volatilidade condicional;

¹³ Informação disponibilizada em palestra efetuada no dia 16 de maio de 2003, pelo Diretor da Câmara de Registro, Compensação e de Liquidação da Bolsa de Mercadorias e Futuros, Sr. Isney M. Rodrigues, no auditório da representação regional de Belo Horizonte (MG), do Banco Central do Brasil.

- d) avaliar, no contexto operacional da *Clearing*, se uma substituição do modelo de predição de volatilidade utilizado pela Câmara implicaria em alterações na definição do índice de variação da taxa de câmbio contratualmente garantido.

1.5 Justificativa e relevância

O mercado de câmbio brasileiro, submetido a diversas mudanças de regime cambial durante os últimos 30 anos – inseridos ou não no contexto de plano de estabilização financeira –, não mereceu, por parte da academia brasileira, um número expressivo de pesquisas e publicações, ao contrário do que ocorre nos demais países cuja economia se apresenta mais estabilizada. Entretanto, o crescimento do comércio internacional, a necessidade de obtenção de resultados superavitários na balança de pagamentos brasileira e a adoção do regime cambial de taxas flutuantes delineiam um grande incremento na representatividade desse mercado no cenário financeiro nacional (FILHO, 2000).

Acrescente-se a isso o fato de a *Clearing* de Câmbio ter registrado um volume de 81.645 operações no seu primeiro ano de atividade, perfazendo um total de 270 bilhões de dólares (BM&F, 2003, p. 23), confirmando, assim, o seu caráter de câmara de registro sistemicamente importante. Além disso, a implementação do novo SPB trouxe maior transparência aos mercados e, ao mesmo tempo, exigiu maior responsabilidade na gestão dos riscos financeiros.

Dessa forma, justifica-se a proposta de dissertação no sentido de contribuir não só para preencher parte da lacuna observada nos estudos relativos aos modelos de predição de

volatilidade no mercado de câmbio interbancário brasileiro, como também para apresentar um estudo científico da capacidade preditiva dos modelos aplicados a processos de gerenciamento de riscos e controle de garantias. Ademais, o presente estudo pode servir como referência para discussões futuras, por parte da autoridade monetária, da *Clearing* de Câmbio da BM&F e dos operadores de mercado, sobre a pertinência da utilização de modelos econométricos mais elaborados no procedimento de definição do índice de variação da taxa de câmbio contratualmente garantido pela Câmara.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Mercado de câmbio brasileiro

2.1.1 Introdução

Segundo Ratti (2001), conceitua-se mercado de câmbio – ou mercado de divisas – o arcabouço organizacional e regulamentar sob o qual os agentes¹⁴ realizam o conjunto das transações que envolvam a compra e venda de moedas estrangeiras ou papéis que as representem¹⁵. Esse mercado, cada dia mais importante em vista do constante crescimento do comércio e transações internacionais, pode ser subdividido, para efeito de análise, em sete grandes segmentos: sacado, manual, paralelo, à vista, futuro, primário e interbancário (AMARAL e LIMA, 2001; RATTI, 2001).

Entende-se como mercado de câmbio sacado aquele em que a compra e venda de divisas estrangeiras não envolve a transação de dinheiro em espécie, utilizando-se precipuamente de documentos legais amplamente aceitos no mercado financeiro, tais como: letras de câmbio, cheques, ordens de pagamento. Trata-se do segmento de mercado de maior volume em termos financeiros, sendo que as transações são geralmente concretizadas mediante movimentação

¹⁴ Lunardi (2000) define os agentes de mercado como o conjunto formado pelos compradores de moeda estrangeira (importadores, investidores no exterior, turistas, etc), os vendedores de moedas estrangeira (exportadores, receptores de investimentos no exterior) e os intermediadores do mercado (bancos, bolsas, agências de turismo e corretoras de câmbio).

¹⁵ Ainda segundo o autor, entende-se o termo *papéis* como todo documento legal (letras de câmbio, ordens de pagamento, cheques, *warrants*, saques, valores mobiliários, etc) que possa ser convertido em papel-moeda estrangeiro.

nas contas de depósitos que os bancos mantêm junto aos seus correspondentes¹⁶ no exterior (RATTI, 2001).

Por sua vez, denomina-se mercado de câmbio manual a compra, venda ou troca de moedas em espécie ou cheques de viagem¹⁷ (*traveller's checks*), efetuada por instituição devidamente autorizada pelo BACEN. Portanto, não deve ser confundido com mercado paralelo, o qual compreende todas as operações conduzidas por pessoas físicas ou jurídicas que não estão autorizadas a operar pela autoridade monetária. Enquanto o mercado de câmbio manual é inexpressivo em termos de volume financeiro, o mercado paralelo apresenta maior ou menor fluxo financeiro em decorrência de diversos fatores conjunturais e estruturais políticos e econômicos (FILHO, 2000).

Denomina-se mercado de câmbio à vista (também conhecido como *pronto* ou *spot*) toda operação de compra ou venda de divisas que se realize em um prazo de até dois dias úteis, considerados os calendários do Brasil e do país em que haverá a movimentação financeira correspondente¹⁸. Já o mercado de câmbio futuro compreende as operações contratadas em mercado específico (balcão ou bolsa) em uma determinada data e que tenha a sua liquidação efetuada em data futura contratualmente acordada ou regulamentada (FILHO, 2000; LUNARDI, 2001; RATTI, 2001).

FILHO (2000) define o mercado de câmbio primário como aquele em que as operações cambiais ocorrem entre os bancos autorizados e seus clientes não-bancários. Por sua vez; o

¹⁶ Denomina-se *banco correspondente* aquela instituição financeira com sede no exterior que, em virtude de um acordo com uma instituição financeira nacional, possibilita que a instituição nacional possa remeter ou receber divisas em uma *conta-corrente* no banco estrangeiro. Em geral, acorda-se também uma linha de crédito da instituição financeira estrangeira para a instituição financeira nacional, negociada no intuito de estabelecer uma linha de crédito que possa suprir eventuais necessidades em moeda estrangeira.

¹⁷ Decreto n. 42.820, de 16 de dezembro de 1957.

mercado interbancário é definido como aquele em que as operações cambiais ocorrem somente entre os bancos. Em geral, observa-se um grande número de transações de *pequeno valor* no mercado primário e um pequeno número de transações de *alto valor* no interbancário.

O mercado cambial brasileiro apresenta algumas particularidades que merecem destaque: a) o BACEN é o depositário único da moeda estrangeira¹⁹ no país, sendo também o responsável pelo controle, normatização e fiscalização de todo o mercado; b) toda operação de câmbio deve ser registrada no BACEN; c) é considerada ilegítima toda operação que não transitar por estabelecimento autorizado pelo BACEN a operar em câmbio²⁰.

Devido à dinâmica do mercado, durante todo o expediente as instituições atuam no mercado primário vendendo e comprando divisas de seus clientes. O registro dessas operações, sejam elas de liquidação imediata, pronta ou futura, resulta, ao final do dia, em um saldo líquido denominado posição de câmbio, que é obtido subtraindo-se as vendas e adicionando-se as compras ao saldo inicial de moeda estrangeira. Caso o saldo líquido de divisas apresente sinal positivo, diz-se que a instituição está em uma posição comprada; se o saldo líquido indicar um sinal negativo, tem-se a instituição em uma posição vendida; e caso o saldo seja igual a zero, diz-se que a instituição está nivelada.

O BACEN, no intuito de coibir políticas operacionais especulativas que poderiam colocar em risco a situação financeira das instituições – ou provocar um desequilíbrio artificial no mercado – estabelece limites tanto para a posição comprada como para a vendida. Assim,

¹⁸ Filho(2000) exemplifica que, caso seja fechada uma operação em uma sexta-feira no Brasil, sendo seguida por um feriado na segunda-feira na praça de movimentação da moeda estrangeira, a liquidação, ou troca efetiva, ocorrerá na terça-feira, ou seja, no quinto dia corrido após a contratação.

¹⁹ Lei n. 4.595, de 31/12/1964, artigo 10, inciso VII.

²⁰ Lei n. 4.595, de 31/12/1964, artigo 10, inciso IX, alínea d.

como forma de evitar penalizações por parte da autoridade monetária, as instituições utilizam o mercado interbancário para ajustar suas posições dentro dos limites regulamentares.

Ademais, o maior ou o menor número de transações, bem como o volume de moeda transacionado no mercado, está diretamente relacionado com o regime cambial e com a política de incentivo ao comércio exterior adotadas, o que será abordado a seguir.

2.1.2 Regimes cambiais

Conforme afirma Ratti (2001, p. 243),

O regime cambial brasileiro é um regime controlado pelas autoridades monetárias. Esse controle tem sido mais ameno ou mais rigoroso conforme as condições econômicas do momento (ou conforme a mentalidade dos nossos governantes).

Nesse sentido, Filho (2002) observa que, até 1998, existia um único mercado de câmbio oficial, com taxas fixadas pelo BACEN, denominado *mercado de câmbio de taxas fixas* que, ao contrário da denominação, sofria desvalorizações periódicas²¹ de forma a seguir as diretrizes das políticas econômicas de cada época. Essas desvalorizações, por vezes ocorridas em níveis suficientemente elevados para receberem a denominação de *mini* ou *maxidesvalorizações*, visavam não só corrigir distorções de paridade em decorrência de índices domésticos de inflação, como também favorecer o mercado exportador de forma a suprir a demanda do País por recursos externos.

O primeiro passo para a liberalização das taxas de câmbio ocorreu com a edição da Resolução CMN 1.552, de 22 de dezembro de 1988, na qual se autorizou a criação do *mercado de taxas*

flutuantes. Nesse mercado, permitia-se que algumas operações²² cambiais fossem realizadas a taxas livremente convencionadas entre os intervenientes. Posteriormente, pela Resolução CMN 1.690, de 18 de março de 1990, o *mercado de taxas fixas* foi substituído pelo *mercado de taxas livres*, no qual o BACEN permitia que operações cambiais de maior vulto e de cunho eminentemente comercial e financeiro (exportação e importação de mercadorias, fretes e seguros, comissões de agente, empréstimos, financiamentos, amortizações, juros, lucros, *royalties*, etc) pudessem ser efetuadas a taxas fixadas *livremente* pelo mercado, ressaltando-se que o BACEN tinha plena liberdade para intervir no mercado (vendendo ou comprando divisas) sempre que julgasse conveniente²³ (RATTI, 2001).

Com o advento do Plano Real²⁴, em julho de 1994, o BACEN utilizou-se de um sistema de faixas cambiais de flutuação²⁵ (ou *bandas cambiais*), no qual era definido um valor mínimo e um valor máximo para cotação do dólar, permitindo-se a contratação de operações de câmbio desde que o valor se situasse dentro da faixa estipulada para o período. Segundo essa política cambial, o BACEN intervinha no mercado (vendendo ou comprando) sempre que o limite inferior ou superior fossem atingidos, configurando-se uma política de controle do ritmo e amplitude de desvalorização da moeda local frente ao dólar (RATTI, 2001; FILHO, 2002).

²¹ Filho (2002) postula ainda que as desvalorizações periódicas ocorreram em quase toda a história cambial brasileira, excetuando-se em poucos e curtos períodos em que houve uma fixação real da taxa, seguidas por mini ou máxi desvalorizações que visavam eliminar defasagem cambial decorrente da fixação artificial dos índices.

²² Dentre as operações que hoje são realizadas no mercado flutuante, pode-se destacar: investimentos (de pessoas físicas ou jurídicas), câmbio manual, despesas de viagem, manutenção de pessoas no exterior, gastos com tratamentos de saúde, aposentadorias e pensões, serviços turísticos, heranças, doações, garantias bancárias, cartões de crédito internacionais, cursos e aquisição e aluguel de imóveis.

²³ Este processo de flutuação administrada do câmbio é conhecido como *dirty floating*.

²⁴ Plano Real é o nome dado ao plano de estabilização econômica implementado em julho de 1994 que, dentre outras coisas, substituiu a moeda corrente (o cruzeiro real conviveu, durante o período de fevereiro de 1994 a 30 de junho do mesmo ano, com uma *quase moeda* denominada URV) pelo real.

²⁵ Este modelo de administração da taxa de câmbio, embora utilizado desde os primeiros momentos do Plano Real, somente foi formalizado em 06/03/1995, recebendo a denominação de regime de bandas cambiais.

A política de *bandas cambiais* foi mantida até janeiro de 1999, quando, depois de uma malsucedida tentativa de ajuste implementada pelo economista Francisco Lopes²⁶, adotou-se a política de *câmbio livre*, que vigora até os dias de hoje. Ressalte-se, porém, que ainda persiste a permissão para que o BACEN atue como regulador do mercado sempre que julgar necessário.

Assim, com maior liberdade na negociação das taxas de câmbio, com o esforço para se incrementar o comércio exterior em busca de menor dependência do capital externo e com a implementação do novo SPB visando obter maior eficiência e segurança, estabeleceu-se o ambiente propício para o surgimento de uma *clearing* específica para atuar no mercado de câmbio brasileiro.

2.1.3 *Clearing* de Câmbio da BM&F

No primeiro semestre de 1999, o BACEN tornou público o projeto de reestruturação do Sistema de Pagamentos Brasileiro. O principal intuito desse projeto era o de dotar o País dos instrumentos necessários ao gerenciamento dos riscos típicos do processo de liquidação de operações contratadas nos mercados financeiro e de capitais, notadamente aqueles com potencial sistêmico²⁷ (BM&F, 2002). O novo SPB, cuja implantação se deu em 22 de abril de

²⁶ Conforme observa Filho (2002, p. 412): “Na concepção de Lopes, foi realizada uma mudança nas bandas cambiais onde estava implícita uma desvalorização maior da moeda nacional, uma máxi, adotando-se, a partir dali, novo modelo de variação periódica das próprias bandas definidas, uma linha diagonal, endógena, que delinearía o ritmo de desvalorização futura da moeda. [...] O mercado não entendeu, mais uma vez, a exemplo do que acontecera no período Pérsio Arida, e repetiu a forma de atuação daquela ocasião. Em dúvida, compraram dólar, gerando demanda tão violenta por dólares que a taxa, prevista para flutuar até 1,32 reais por dólar, chegou rapidamente a 2,20”.

²⁷ Conforme explicitado no documento intitulado Reestruturação do Sistema de Pagamentos Brasileiro, “sistema de pagamentos é o conjunto de procedimentos, regras, instrumentos e sistemas operacionais integrados usados para transferir fundos do pagador para o recebedor e, com isso, encerrar uma obrigação. Economias de mercado dependem desses sistemas para movimentar os fundos decorrentes da atividade econômica (produtiva, comercial e financeira), tanto em moeda local quanto em moeda estrangeira.

Esses sistemas interligam, por meio de uma cadeia não coordenada de ordens de pagamentos, os agentes não-bancários, os bancos e o banco central. Exceto as transações efetuadas com papel-moeda, o montante das transferências diárias de tais ordens- realizadas, em sua maioria, por meio de cheques, cartões de crédito, transferências eletrônicas de fundos, documento

2002, trouxe profundas alterações nos aspectos funcional, legal e de relacionamento entre os intervenientes, das quais merecem destaque:

- a) a instituição de sistema de transferência de valores em tempo real entre contas de reserva bancária junto ao BACEN;
- b) a proibição de saldo a descoberto, em qualquer instante, nas contas de liquidação mantidas no BACEN;
- c) determinação da irrevogabilidade e incondicionabilidade das ordens de transferência que trafegam no sistema, juntamente com o princípio básico de que apenas o detentor da conta de reserva bancária pode debitá-la²⁸;
- d) constituição de uma rede de comunicação eletrônica exclusiva para a transferência de *mensagens*²⁹ entre os participantes do novo SPB, com rígidos prazos e regras de funcionamento;

de crédito – é transformado em poucas transferências interbancárias de fundos de alto valor nas contas reservas bancárias que cada banco mantém no banco central. Como resultado dessas transferências, desequilibra-se o fluxo de caixa dos bancos nas reservas bancárias, criando a condição para o funcionamento de mercado interbancário de reservas, cujas transações também cursam no sistema de pagamentos.

De modo geral, reformas em sistemas de pagamentos visam o aumento da eficiência e melhorias na gerência de risco. O primeiro aspecto diz respeito ao melhor fornecimento de serviços de pagamentos adequados às necessidades dos agentes, à minimização do *float* gerado pela defasagem entre a contratação e a liquidação dos pagamentos e à busca da redução de custos. O resultado desses aspectos é o melhor desempenho das atividades econômicas suportadas por tais sistemas.

O segundo aspecto compreende a criação de mecanismos que reduzam a possibilidade de perdas enquanto o pagamento ainda não se tornou final, isto é, antes da efetiva transferência de fundos entre as contas reservas bancárias dos bancos envolvidos e, no outro lado, a transferência do bem, serviço ou ativo negociado. Esse aspecto é crucial para a estabilidade dos mercados financeiros, pois a rede na qual o sistema de pagamentos opera é um meio potencial de transmissão de distúrbios, em alguns casos magnificando-os.

O pagamento de um banco é a liquidez de outro. Problemas na transferência de fundos, qualquer que seja a razão, podem levar à inadimplência de outros participantes, que deles dependiam para equilibrar seus caixas. Mesmo as instituições financeiras não envolvidas diretamente com o banco inadimplente podem ser afetadas. Falhas na cadeia de pagamentos, sem mecanismos de proteção, causam perda de confiança e maior discricionariedade de todo o sistema financeiro na concessão de crédito, especialmente o interbancário. Assim, a inadimplência local, se não contida, possui a capacidade de desestabilizar todo o sistema financeiro (BACEN, 2001, p. 1-2).”

²⁸ Esses três fatores modificam substancialmente o relacionamento entre os intervenientes do SPB, uma vez que sendo a instituição financeira a única que detém autoridade para debitar em suas reservas, não há porque se permitir que sejam impostas condições para a transferências ou se permita eventuais “estornos” dessas.

²⁹ Denomina-se “mensagem” um conjunto de dados, codificados em linguagem própria padronizada (xml), eletronicamente assinada e criptografada, que trafega no protocolo ‘tcp/ip’, em uma rede de comunicação (“internet”) especificamente constituída para o novo SPB.

- e) instituição de câmaras de compensação e liquidação de operações de compra e venda de ativos e moedas (em valor bruto ou líquido);
- f) a obrigatoriedade de que, em todo sistema de liquidação considerado sistemicamente importante pelo BACEN, a entidade operadora atue como contraparte central e, ressalvado o risco de emissor, assegure a liquidação de todas as operações cursadas, devendo para isso contar com adequados mecanismos de proteção e gerenciamento de riscos.

Nesse contexto se insere a Câmara de Registro, Compensação e Liquidação de Operações de Câmbio BM&F, cuja operação se iniciou juntamente com o novo SPB com a finalidade de atuar no mercado interbancário³⁰, nas operações contratadas para liquidação em, no máximo, dois dias úteis³¹.

³⁰ O mercado interbancário brasileiro apresenta como característica uma razoável concentração, pois, como afirma o manual de operações da clearing (BM&F, 2002, p. 10), “*Dos quase 200 bancos hoje titulares de conta ‘reservas bancárias’ junto ao BACEN, aproximadamente 120 estão autorizados a praticar operações de câmbio, sendo que 50% do volume do mercado se concentra em cerca de 20 bancos*”.

³¹ O manual da *Clearing* de Câmbio explicita que “o projeto da Bolsa de Mercadorias & Futuros para a Câmara de Registro, Compensação e Liquidação de Operações de Câmbio BM&F, respeitadas as características do mercado cambial brasileiro, está em consonância com todos os princípios básicos (*core principals*) elaborados pela força-tarefa do *Bank for International Settlements* (BIS) para sistemas de pagamentos e com os princípios do relatório conhecido como *Lamfalussy*, também produzido com a coordenação do BIS.

A preocupação básica da BM&F no desenvolvimento do projeto foi a de garantir aos participantes a eliminação do risco de principal no processo de liquidação. Para consecução disso, buscou a viabilização, nas operações de câmbio cursadas nos sistemas da Câmara, do princípio de pagamento contra pagamento por valores líquidos compensados. Nessa linha, a Câmara de Câmbio BM&F colocar-se-á como parte contratante, para os efeitos de liquidação, de todas as operações contratadas por seus participantes e registradas, analisadas e aceitas por seus sistemas.

Para operacionalizar esse princípio, a Câmara possuirá uma conta de liquidação em moeda nacional junto ao Banco Central e contas em moeda estrangeira junto a bancos de primeira linha, criteriosamente escolhidos, no Exterior. Todos os devedores em moeda nacional pagarão à conta de liquidação da Câmara no Banco Central e todos os devedores em moeda estrangeira pagarão à conta da Câmara junto ao banco no Exterior por ela indicado. Todos os credores em moeda nacional receberão da Câmara em suas contas no Banco Central e todos os credores em moeda estrangeira receberão da Câmara em suas contas junto a correspondentes no Exterior. Todas essas movimentações financeiras, em moeda nacional e estrangeira, ocorrerão dentro da mesma janela de tempo, definida em conjunto com o Banco Central.

Outra preocupação da BM&F foi possibilitar a garantia e o controle, por parte dos bancos participantes, da variação da taxa de câmbio no período entre a contratação e a liquidação das operações. Os sistemas da Câmara trabalharão, inicialmente, com operações contratadas para liquidação em, no máximo, dois dias úteis, contados da data de contratação – aproximadamente 95% das operações no mercado interbancário de câmbio se concentram nesse prazo. A variação da taxa de câmbio nesse período será garantida pelas partes mediante o depósito prévio de garantias, até o índice estabelecido pela Câmara, com o uso de banco de dados estatísticos e análise de mercado (BM&F, 2002, p. 15-16).”

Antes de iniciar uma discussão sobre a operacionalização da *Clearing* de Câmbio, é importante ressaltar que não há obrigatoriedade legal de que as operações do mercado interbancário de câmbio brasileiro sejam efetuadas no âmbito de uma *clearing*. Ou seja, as instituições financeiras podem optar ou não pela utilização da *clearing* nas suas operações no mercado interbancário.

Uma operação no interbancário de câmbio efetuada fora do âmbito da *Clearing* de Câmbio segue, basicamente, os seguintes passos:

- a) em D+0, os operadores de duas instituições ajustam os detalhes da operação (quantidade, valor, datas, cotações) e, seguindo a legislação em vigor, registram a operação em transação específica no Sisbacen³² (figura 1);

³² Recapitulando, o Sisbacen é a denominação dada ao sistema de informações e registro eletrônico do BACEN, principal meio de comunicação entre o Banco Central e o mercado financeiro, por meio do qual se registram boa parte das informações legalmente exigidas, bem como também se obtém diversas informações necessárias ao bom funcionamento dos diversos intervenientes do mercado.



Figura 1 – Contratação e registro de operações de câmbio

Fonte – BM&F, adaptado pelo autor da dissertação.

- b) em D+N (onde N é o número de dias após a contratação da operação), a liquidação financeira se dá em duas fases: a liquidação em moeda nacional e a liquidação em moeda estrangeira. A liquidação em moeda nacional se faz por meio do ambiente do novo SPB, com a transferência de reservas³³ da instituição compradora de divisas para a instituição vendedora (figura 2). Já a liquidação em moeda

³³ Em razão de determinações normativas e do volume de dinheiro movimentado, as instituições utilizam-se do Sistema de Transferência de Reservas – STR –, sistema gerenciado pelo Banco Central e desenvolvido para o novo SPB, que permite a transferência em tempo real entre contas de reserva bancária das instituições financeiras junto ao BACEN, para o pagamento das operações de câmbio. Ressalte-se que a transferência tem

estrangeira concretiza-se com a movimentação de recursos entre bancos correspondentes no exterior³⁴, em geral utilizando-se dos recursos do sistema de pagamentos onde estão localizados (figura 3).

Em primeiro lugar, é importante observar que não há simultaneidade entre as transferências de valor em moeda nacional e moeda estrangeira. Assim, as instituições envolvidas ficam expostas tanto aos riscos de crédito³⁵ como de liquidez³⁶. Em segundo lugar, deve-se ressaltar que as transferências de reservas que ocorrerem no âmbito do novo SPB são efetuadas, uma a uma, pelos valores brutos envolvidos. Ou seja, ainda que uma instituição detenha uma posição líquida nula ao final do dia, deverá ter recursos em reserva para liquidar as operações contratadas, uma a uma, pelo seu valor bruto, durante o correr do dia.

caráter irrevogável, incondicional e final, ou seja, uma vez emitida uma *mensagem* de transferência de reservas e havendo recursos disponíveis, a transação será completada em questão de segundos.

³⁴ Em geral, as transferências ocorrem na praça de Nova Iorque (mais de 95% das operações do mercado de câmbio brasileiro são efetuadas em dólares estadunidenses), através de três modalidades: *book transfer*; CHIPS e *Fedwire*. Denomina-se *book transfer* a transferência que ocorre entre contas correntes de uma mesma instituição financeira. CHIPS é a denominação que se dá à *Clearing* de Ativos por compensação líquida dos Estados Unidos da América. Já o *Fedwire* é a denominação do sistema de transferência de reservas entre bancos estadunidenses gerenciado pelo *Federal Reserve*.

³⁵ O risco de crédito decorre do fato de que não há como se garantir que uma determinada instituição não cumpra com sua parte no acordo, recebendo valores em uma moeda e não transferindo em outra. Por exemplo: uma das partes da operação poderá ficar sem receber o valor acordado em reais e ainda transferir para a outra os valores em dólares. Nesses casos, resta apenas o caminho judicial para o ressarcimento dos prejuízos.

³⁶ O risco de liquidez decorre do fato de que uma determinada instituição poderá ter problemas para cumprir com seus compromissos até o efetivo recebimento dos valores acordados pela contraparte na negociação.

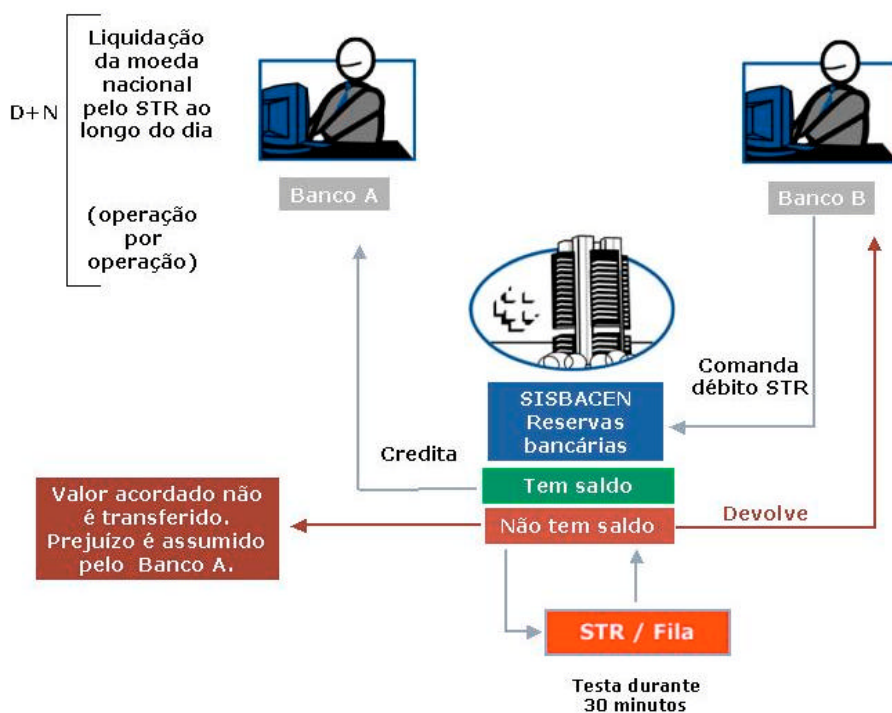


Figura 2 – Liquidação de operação de câmbio em reais, sem intervenção da *Clearing*
 Fonte – BM&F, adaptado pelo autor da dissertação.

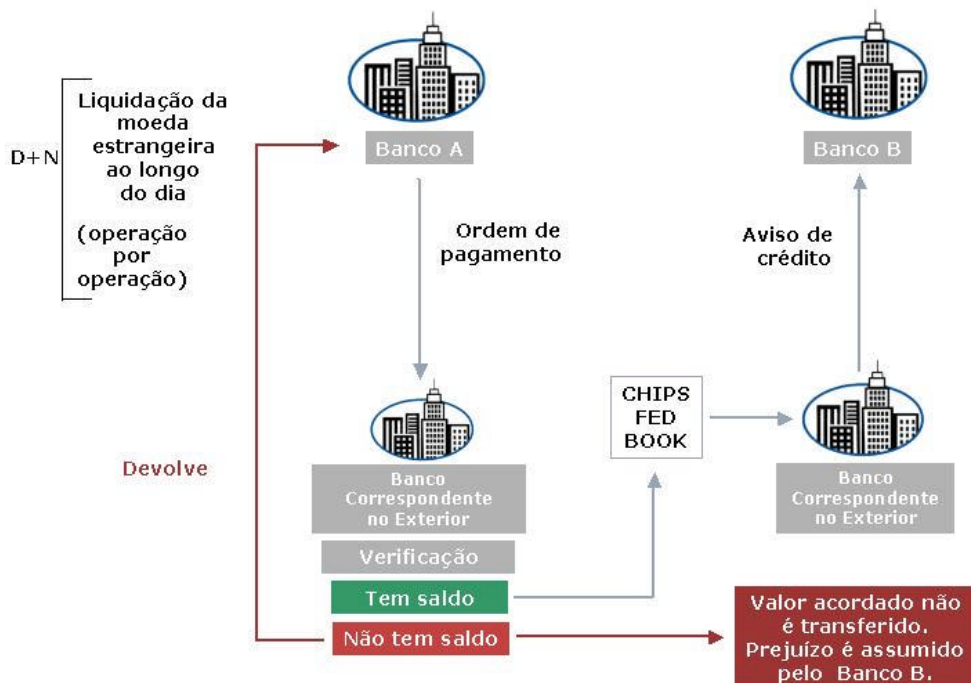


Figura 3 – Liquidação de operação de câmbio em dólar, sem a intervenção da *Clearing*
 Fonte – BM&F, adaptado pelo autor da dissertação.

Dessa forma, pode-se observar que as transações efetuadas fora do âmbito de uma *clearing* expõem os seus participantes:

- a) a riscos de crédito e liquidez, uma vez que as transferências de valores ocorrem de forma não sincronizada e são dependentes da saúde financeira e da correta operação tanto dos bancos locais como dos respectivos correspondentes no exterior;
- b) à limitação do número de possíveis parceiros de negócio, dada a necessidade de que as instituições envolvidas tenham razoável estrutura para fazer frente às exigências de disponibilidade de recursos em moeda local e estrangeira;
- c) a restrições no que se refere à exposição cambial, determinadas por regras prudenciais de supervisão bancária, em virtude dos riscos envolvidos;
- d) ao aumento dos custos de transação, advindos principalmente da cobrança de maiores *spreads* em virtude dos riscos envolvidos; dos custos de gerenciamento dos recursos intradia; da manutenção de linhas de crédito em moedas estrangeiras nos bancos correspondentes e das taxas cobradas por cada interveniente no processo.

A *Clearing* de Câmbio da BM&F, seguindo os preceitos legais vigentes³⁷, apresenta-se como solução para a mitigação dos riscos envolvidos no processo de transações interbancárias de câmbio, para a redução dos custos de transação e ampliação do número de participantes do mercado (BM&F, 2002).

³⁷ Fundamentalmente a Lei n. 10.214, de 27 de março de 2001, que dispõe sobre o SPB; a Resolução CMN 2.882, de 30 de agosto de 2001, que dispõe sobre câmaras de compensação e liquidação e Circular BACEN 3.057, de 31 de agosto de 2001, que também dispõe sobre câmaras de compensação e liquidação.

Para que possam operar com a *Clearing*, as instituições devem efetuar um cadastro prévio, no qual são colhidas diversas informações, tais como: relatórios financeiros, volume histórico das operações realizadas, capitalização, descasamento, liquidez, segmento de atuação, diversificação de atividades, etc. Após uma detalhada análise desses dados, a câmara estabelece um limite operacional para cada instituição³⁸, que representa a exposição máxima, em moeda nacional, que um participante poderá manter na Câmara sem depósito de garantias. Sempre que superado, o participante deverá depositar garantias adicionais em moeda nacional (caso a posição do mesmo seja liquidamente comprada) ou moeda estrangeira (caso a posição seja liquidamente vendida), no mesmo montante do excesso (BM&F, 2002).

Observa-se, assim, que o limite operacional atua como um mecanismo para redução do risco de crédito e liquidez. Além disso, a Câmara ainda adota o princípio de *pagamento contra pagamento*³⁹; atua como contraparte central em todas as operações; constituiu um fundo operacional no valor de R\$ 50 milhões (para cobrir prejuízos causados por eventuais falhas operacionais, administrativas ou funcionais da Câmara); exige um depósito inicial de todos os participantes no ato de sua habilitação e separou contabilmente uma fração do patrimônio total da BM&F, no valor de R\$ 10 milhões, para garantir, com exclusividade, o cumprimento das obrigações de responsabilidade da Câmara (BM&F, 2002).

³⁸ O estabelecimento de um limite operacional serve como forma de distribuição de liquidez entre os participantes e de adequação de posições às capacidades de pagamento. A determinação desse limite baseia-se em duas avaliações: um sistema de *rating* (com componentes quantitativos e qualitativos) e uma análise do histórico de operações dos participantes no mercado interbancário de câmbio (BM&F, 2002). Uma discussão aprofundada da metodologia para análise de *rating* e do limite operacional pode ser encontrada no Anexo VI do documento *Câmara de Registro, Compensação e Liquidação de Operações de Câmbio BM&F*, disponível em <www.bmf.com.br>, acessado em 12 de setembro de 2003.

³⁹ Dá-se a denominação de *pagamento contra pagamento* ao sistema de troca de valores em que a transferência final de um pagamento só ocorre se houver a garantia da transferência do outro pagamento. No caso específico da *Clearing* de Câmbio, a operacionalização desse princípio se dá pelo simples fato de que a Câmara primeiramente recebe os valores devidos das duas partes da operação para, só depois de confirmado o recebimento, proceder à troca de valores. Por exemplo, caso o comprador de moeda estrangeira não depositar o valor devido em reais, não será creditado para o mesmo o valor contratado em moeda estrangeira.

Esquemáticamente, as operações no âmbito da *Clearing* seguem, em essência, os seguintes passos:

- a) em D+0, os operadores de duas instituições ajustam os detalhes da operação e a registram em transação específica no Sisbacen⁴⁰, cujos dados são capturados pelos sistemas da Câmara. Após as devidas verificações e negociações⁴¹, a operação será aceita ou não (figura 4);

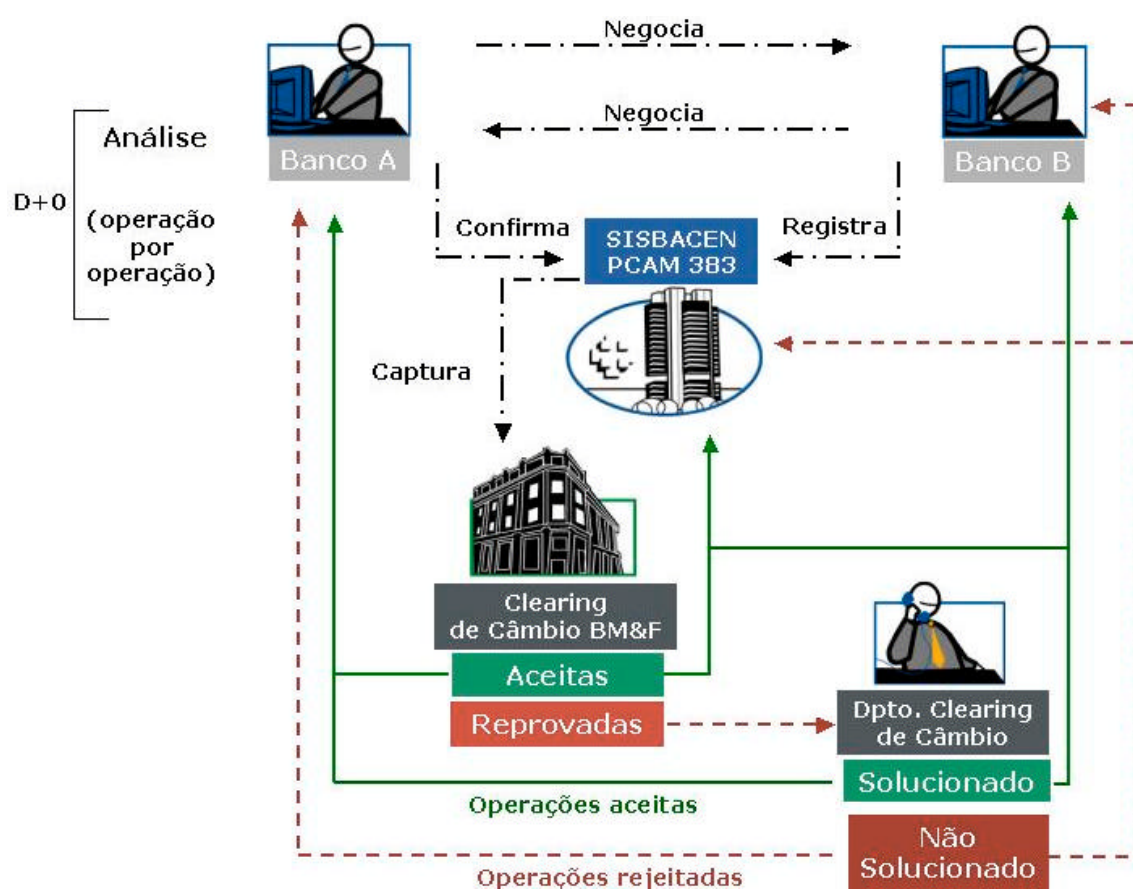


Figura 4 – Submissão de uma operação à *Clearing* de Câmbio da BM&F

Fonte – BM&F, adaptado pelo autor da dissertação.

⁴⁰ Foi desenvolvida uma transação específica no Sisbacen, denominada PCAM383, para as instituições que desejem realizar suas operações no âmbito da *Clearing* de Câmbio.

⁴¹ Caso a operação cumpra todos os requisitos preestabelecidos pela Câmara, a operação será automaticamente aceita. Entretanto, caso haja algum empecilho (taxas, insuficiência de garantias, etc), a *Clearing* entrará em contato com as partes para tentar ajustar a operação. Se as tentativas de ajuste não tiverem sucesso, a operação é então recusada.

b) na primeira etapa do processo de liquidação, a Câmara remete documentos eletrônicos a todos os participantes com operações vencendo no dia e, por motivo de controle e planejamento de política monetária, também ao BACEN. Os documentos contêm o extrato e as posições líquidas de cada um ⁴²dos intervenientes (figura 5);

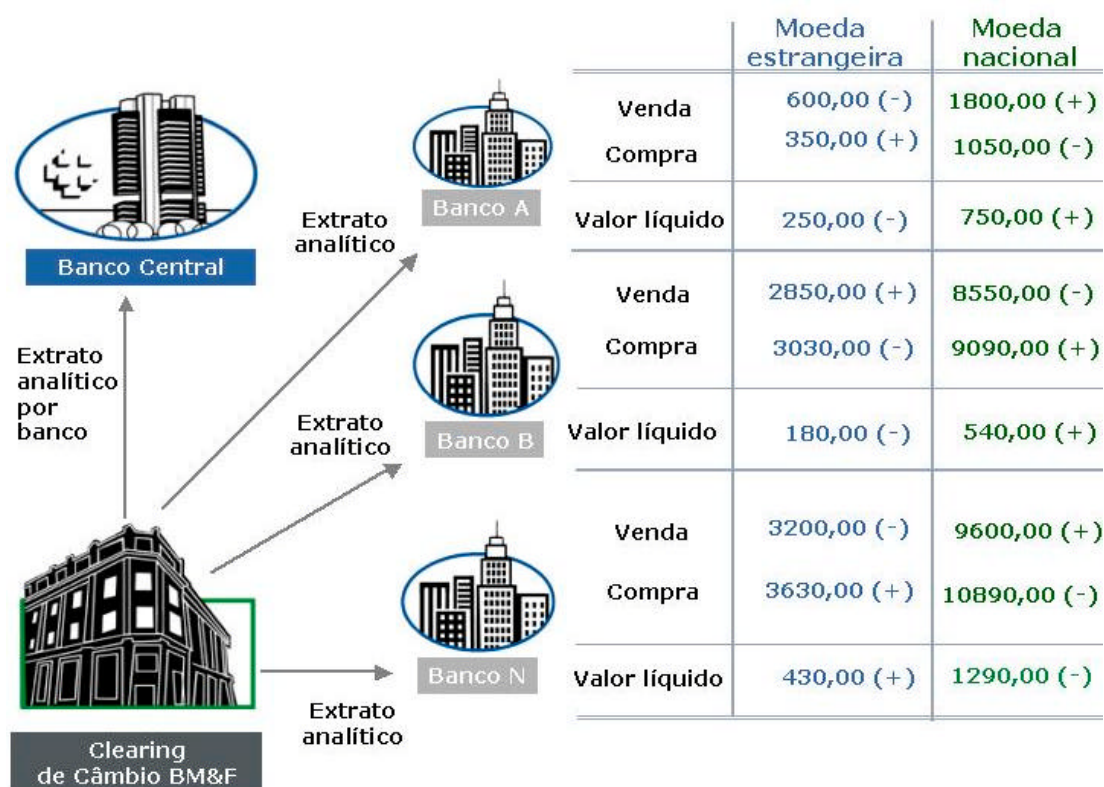


Figura 5 – Exemplo da primeira fase da liquidação através da *Clearing* de Câmbio

Fonte – BM&F, adaptado pelo autor da dissertação.

⁴² Segundo o Manual de Operações da Câmara (BM&F, 2002, p. 53), “Na primeira etapa da sessão de liquidação, a Câmara emitirá os documentos ‘Solicitação de Pagamento em Moeda Nacional’ e ‘Solicitação de Entrega de Moeda Estrangeira’, respectivamente, para os participantes liquidamente devedores em moeda nacional e estrangeira. O processo de sua emissão terá início logo após o encerramento das operações de câmbio do dia anterior ao dia de liquidação. Os documentos serão enviados no formato de mensagens, dentro dos parâmetros definidos para a rede de comunicação do Sistema de Pagamentos Brasileiro. [...] As solicitações de pagamento em moeda nacional e de entrega da moeda estrangeira ficarão à disposição dos devedores, no máximo, até as 06:00 do dia de liquidação e deverão ter seu recebimento confirmado pelo participante, também por mensagem específica, até, no máximo, as 09:00.”

- c) em D+N, na segunda etapa do processo de liquidação, a Câmara aguarda os pagamentos de todos os participantes – em valores líquidos e nas respectivas moedas – em suas *contas-correntes* abertas especialmente para o processo (figura 6);

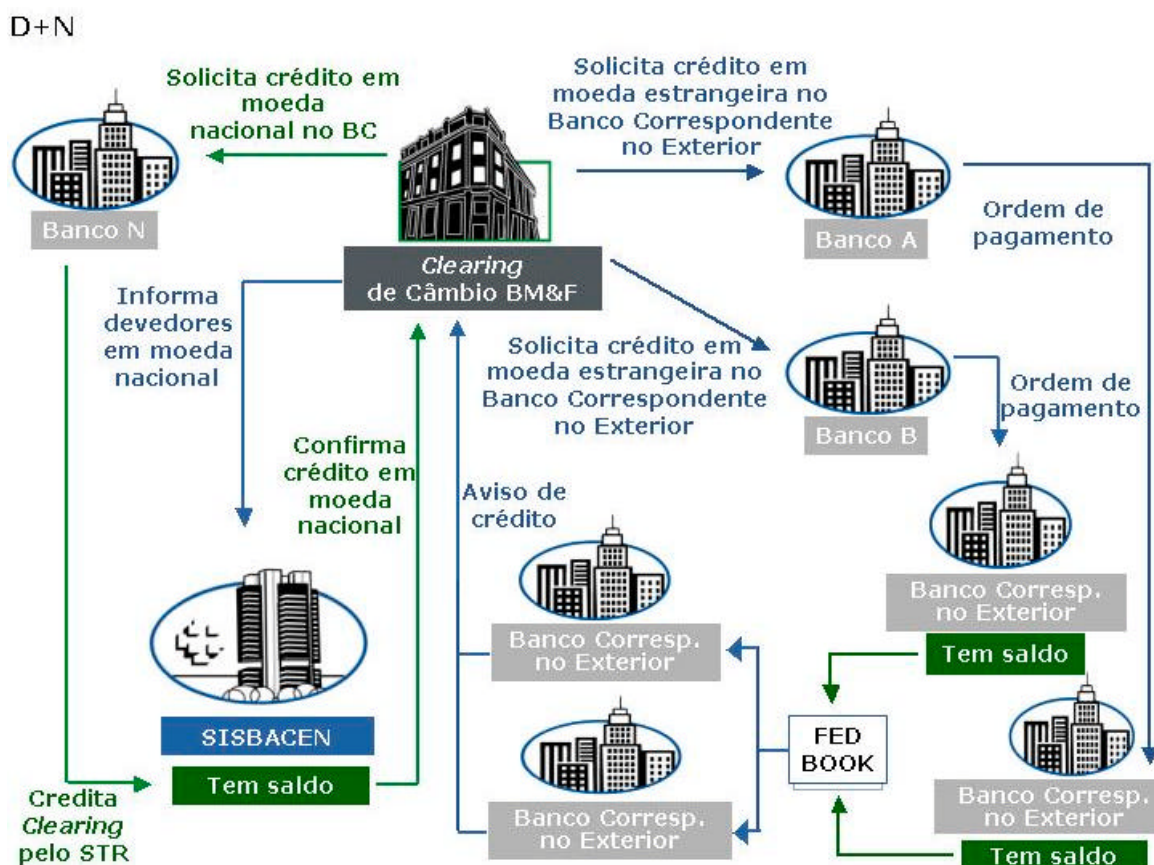


Figura 6 – Segunda etapa da liquidação de operações via *Clearing* de Câmbio

Fonte – BM&F, adaptado pelo autor da dissertação.

- d) ainda em D+N, finaliza-se⁴³ o processo de compensação e liquidação com o pagamento, pela Câmara, dos valores devidos (em moeda nacional e estrangeira) a todos os participantes (figura. 7).

⁴³ Por não se objeto desta dissertação, não serão analisados os fluxos de liquidação no caso de inadimplência de um ou mais participantes. Caso seja de interesse do leitor, todas as informações podem ser obtidas no Manual de Operações da *Clearing* de Câmbio, disponível em <www.bmf.com.br>, acessado em 15 de julho de 2003.

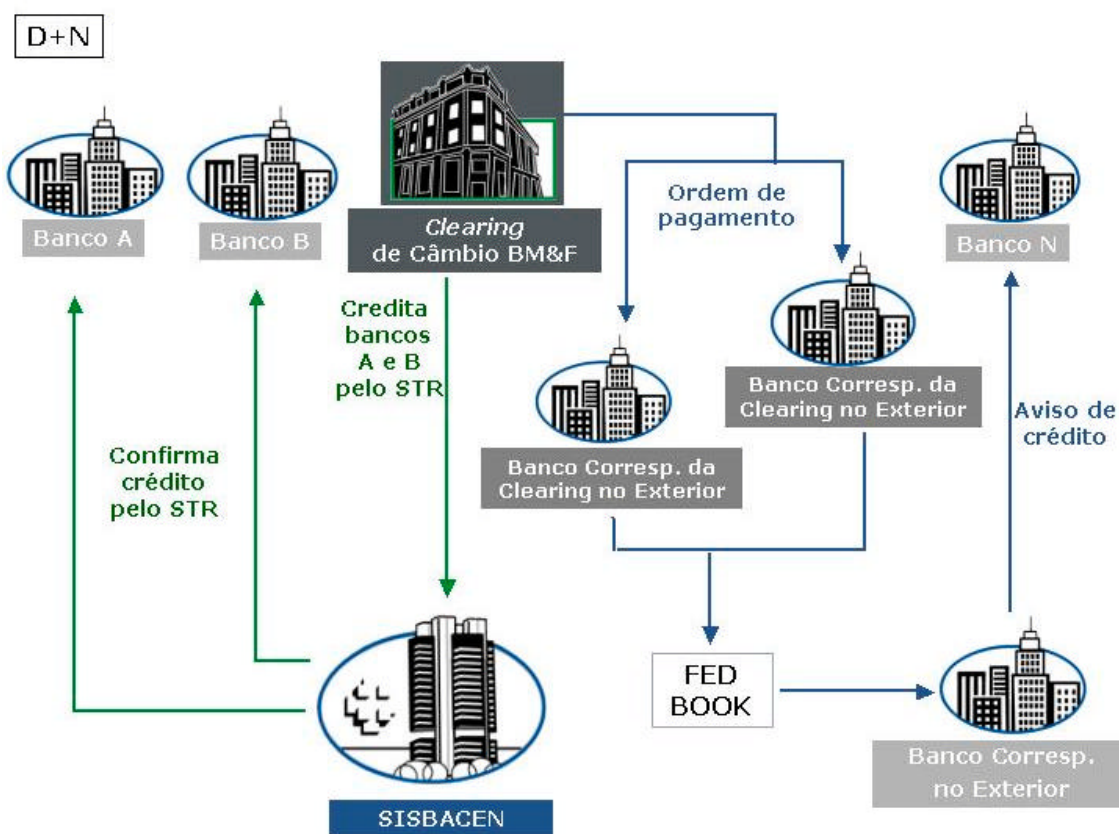


Figura 7 – Última etapa de liquidação via *Clearing* de Câmbio

Fonte – BM&F, adaptado pelo autor da dissertação.

Pode-se observar que, dada as características da operação de compensação e liquidação no ambiente da Câmara, não há diferença se em uma das partes da operação se encontra um banco de pequeno ou grande porte, uma vez que a *Clearing* atua como contraparte central para ambos os participantes. No mesmo sentido, a liquidação por valor líquido exige um menor aporte de recursos em moeda nacional e de linhas de crédito nos bancos estrangeiros para que se possa operar no mercado de câmbio. Ou seja, observam-se as condições para a diminuição dos *spreads*, dos custos de transação e amplia-se o número de participantes aptos a operar em grande escala no mercado de câmbio.

Para se ter a dimensão da redução nos volumes de recursos necessários para concretizar as transações no âmbito da *Clearing*, os gráficos 1 e 2 apresentam, para o período compreendido entre 22 de abril de 2002 e 03 de outubro de 2003, uma comparação entre os valores brutos contratados e os valores líquidos efetivamente utilizados na liquidação das operações.

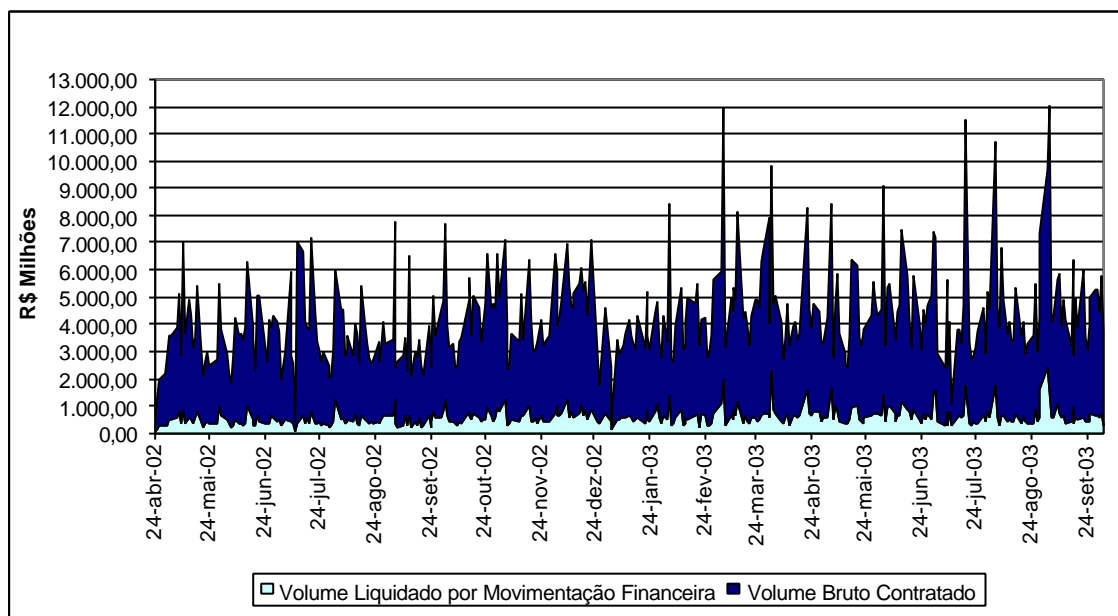


Gráfico 1 – Volumes contratados e liquidados (em reais) na *Clearing* de Câmbio da BM&F, no período compreendido entre 22/04/2002 a 03/10/2003

Fonte – BM&F, adaptado pelo autor da dissertação.

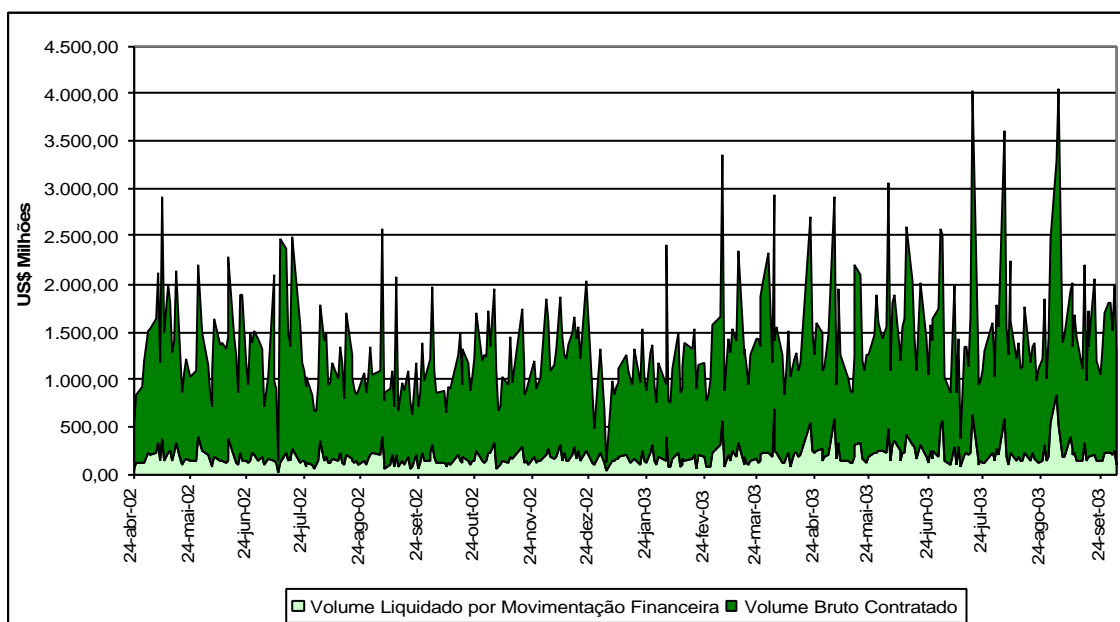


Gráfico 2 – Volumes contratados e liquidados (em dólares) na *Clearing* de Câmbio da BM&F, no período compreendido entre 22/04/2002 a 03/10/2003

Fonte – BM&F, adaptado pelo autor da dissertação.

Ressalte-se, porém, que, para um bom gerenciamento de riscos, a *Clearing* necessita instituir mecanismos que possibilitem a avaliação e controle do risco de mercado. Nesse sentido, afirma o Anexo IV do Manual da *Clearing* :

[...] Quando um participante ficar inadimplente, a Câmara deverá ir a mercado para recompor sua posição e fechar seu caixa, pagando todos os participantes adimplentes, até o limite do índice de variação contratualmente garantida da taxa de câmbio, quando for o caso.

No momento em que a Câmara precisar ir a mercado, as condições deste poderão ser diferentes daquelas em que o participante inadimplente realizou suas operações. Isso significa que pode haver um custo adicional, em decorrência da flutuação do mercado, para recompor sua posição.

Para cobrir o risco de mercado, a Câmara exigirá garantias dos participantes. As garantias para cobertura do índice de variação da taxa de câmbio serão exigidas no instante do registro das operações, sendo calculadas sobre a posição líquida de cada participante, até o seu limite operacional (BM&F, 2002, p. 88).

Para se determinar o índice de variação da taxa de câmbio contratualmente garantida, fator fundamental para o bom gerenciamento do risco de mercado, a Câmara utiliza-se da conjunção de duas análises: a estimação da volatilidade através de modelos econométricos e a avaliação da conjuntura macroeconômica (BM&F, 2002). No que tange à avaliação da conjuntura macroeconômica, não são informados os critérios ou metodologia utilizados para tal análise e, portanto, não será objeto de análise desta dissertação. Já em relação aos modelos econométricos para cálculo da volatilidade, a *Clearing* sinaliza para a utilização de modelos de média móvel e de volatilidade condicionada, os quais serão objetos de discussão a seguir.

2.2 Modelos de cálculo de volatilidade

2.2.1 Aspectos gerais

Ao contrário dos preços, a volatilidade não é diretamente observável no mercado, podendo apenas ser estimada no contexto de um modelo. Assim, é plenamente possível a obtenção de diferentes valores de volatilidade utilizando-se um mesmo conjunto de dados, bastando, para tanto, utilizar modelos distintos que são, em sua grande maioria, teoricamente bem fundamentados (ALEXANDER, 2002).

Segundo Brooks (2002), pode-se segmentar os modelos de volatilidade em três grandes grupos: a) aqueles que consideram que a volatilidade não se modifica durante o tempo; b) os que consideram que a volatilidade modifica-se durante o tempo, podendo-se determiná-la por meio de uma modelagem que leve em consideração a análise do comportamento passado dos dados; c) os que consideram que a volatilidade apresenta uma natureza eminentemente estocástica.

No primeiro grupo, existem aqueles que defendem o pressuposto da homocedasticidade (uma das premissas básicas do modelo clássico de regressão linear e de outros modelos econométricos), no qual a volatilidade se mantém constante para toda a gama de possíveis valores das variáveis preditoras ou para qualquer intervalo de tempo em uma série temporal (GREENE, 1996; WOOLDRIDGE, 2003). Conforme há muito observado por Mandelbrot (1963) e Fama (1965), essa é uma premissa muito forte para os mercados financeiros, não encontrando suporte nos estudos empíricos realizados.

Ainda no primeiro grupo, há os que postulam que a volatilidade pode ser considerada *constante* para uma determinada gama de valores das variáveis preditoras ou para determinados intervalos de tempo. Ou seja, uma vez determinado o valor da volatilidade com base em um grupo de dados, pode-se, sob determinadas condições, considerar-se que este comportamento será reproduzido no futuro. Nesse sentido, destacam-se os modelos de média móvel (volatilidade histórica e EWMA) e volatilidade implícita, que serão melhor abordados nos próximos tópicos.

Por sua vez, o segundo grupo foi fortemente influenciado pelo desenvolvimento da teoria de séries temporais⁴⁴ e de modelos que buscavam projetar médias futuras condicionadas por valores passados. Dentre esses modelos, destacam-se os modelos ARMA⁴⁵ (acrônimo do original em inglês: *autoregressive moving average* – modelos auto-regressivos de média móvel), que podem ser expressos matematicamente como (HAMILTON, 1994; MILLS, 2000):

$$y_t = c + \mathbf{f}_1 \cdot y_{t-1} + \dots + \mathbf{f}_p \cdot y_{t-p} + \mathbf{e}_t + \mathbf{q}_1 \cdot \mathbf{e}_{t-1} + \dots + \mathbf{q}_q \cdot \mathbf{e}_{t-q} \quad (\text{Equação 1})$$

em que

c : constante

ϕ_p : estimadores dos termos auto regressivos de ordem p

y_{t-n} : observações anteriores da variável y_t com defasagem n;

⁴⁴ Segundo Harvey (1994, p. 1), “Uma série temporal consiste, tipicamente, em um conjunto de observações de uma variável, y , tomadas em intervalos iguais no tempo” (original em inglês).

⁴⁵ Os modelos ARMA são baseados na assunção que a média e a variância são constantes ao longo do tempo e que a autocovariância é dependente apenas da distância entre as observações ou da defasagem entre dois períodos. Tais condições, necessárias para que se possa denominar uma série de “fracamente estacionária”, pode ser representada matematicamente por (GREENE, 1996): a) $E[y_t]$ é independente de t ; b) variância de y_t é constante e independente de t ; covariância de y_t e y_s é função apenas de $t-s$.

θ_q : estimados dos termos de média móvel de ordem q .

A estrutura de construção dos modelos ARMA serviu como base para que Engle (1982) propusesse uma nova classe de processos estocásticos denominada ARCH, na qual a variância de uma série temporal modifica-se, com o passar do tempo, de forma condicional aos erros de previsão observados no passado, introduzindo-se, assim, o conceito de volatilidades condicionadas. Nos anos que se seguiram, diversas variantes do modelo original de Engle (1982) foram desenvolvidas, tais como os modelos GARCH (*Generalized ARCH*), EGARCH (*Exponencial GARCH*) e TARCH (*Threshold GARCH*); que serão melhor discutidos em tópicos específicos a serem apresentados no decorrer desta dissertação.

O terceiro grupo corresponde aos modelos denominados de volatilidade estocástica (*stochastic volatility models*), que⁴⁶

[...] Como o nome sugere, diferem dos modelos GARCH principalmente na equação da variância condicional, uma vez que a especificação GARCH é completamente determinística, dado que toda informação necessária está disponível até o período imediatamente anterior. Modelos de volatilidade estocástica contêm um segundo termo de erro na equação da variância condicional.

[..] Entretanto, esses modelos não têm sido populares nas aplicações financeiras empíricas em tempo discreto, provavelmente devido à complexidade envolvendo o processo de estimação de parâmetros (BROOKS, 2002, p. 501).

Dessa forma, os modelos de volatilidade estocástica, conforme definido no parágrafo anterior, não serão objeto de discussão no presente trabalho.

⁴⁶ Original em inglês.

Por fim, é importante salientar que as evidências empíricas sobre a distribuição de taxas de câmbio produzidas por Westerfield (1977), Rogalsky e Visno (1977), Papadia (1981), McFarland, Petit e Sung (1982), Scott e Tucker (1987), Melino e Turnbull (1990) e Holland e Pereira (1999) apontam para o afastamento da premissa de normalidade (ou log-normalidade dos retornos dos ativos), acrescentando um componente de erro aos modelos que assumem tal condição.

2.2.2 Volatilidade histórica

Segundo Brooks (2002), volatilidade histórica é definida como o desvio-padrão dos dados históricos de retornos dos ativos⁴⁷, tomados em um determinado período de tempo. Dessa forma, definidos os dados e o número de observações a se considerar, podemos determinar o valor da volatilidade histórica dos retornos de uma série financeira pela fórmula⁴⁸:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (r_i - \bar{r})^2} \quad (\text{Equação 2})$$

em que

n : número de observações;

⁴⁷ Nesse modelo, adota-se a premissa de log-normalidade da distribuição dos retornos. Para tanto, o retorno relativo a um período t é calculado tomando-se o logaritmo natural da relação entre os preços nos períodos t e t-1, expresso matematicamente como:

$$r_t = \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right)$$

⁴⁸ No caso de se considerar o conjunto de dados como uma amostra, faz-se o seguinte ajuste na fórmula:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (r_i - \bar{r})^2}$$

r_i : retorno observado na observação i ; e

\bar{r} : retorno médio para o período.

Jorion (1998) explica que a aplicação da técnica baseia-se na definição de uma janela móvel, de extensão fixa, na qual, a cada deslocamento, descarta-se a observação mais antiga e agrega-se a observação mais atual. Assim, parte-se do pressuposto de que a volatilidade calculada com base nos dados observados em determinado período passado se manterá constante por igual período futuro. Nesse sentido, Hull (1998) sugere que o período a ser considerado no cálculo da volatilidade deve ser compatível com o período sobre o qual se vai utilizar a estimativa dessa volatilidade.

Alexander (1998) observa que, ao atribuir pesos iguais a todos os retornos de uma série, independentemente do momento em que ocorreram, a volatilidade histórica considera que os eventos ocorridos há mais tempo têm o mesmo grau de influência dos eventos recentes. Dessa forma, qualquer retorno atípico (alta ou baixa excessiva) ocorrido durante o período de apuração da volatilidade fará com que as previsões para a volatilidade, para igual período futuro, se mantenham artificialmente altas ou baixas.

Nesse sentido, Alexander (2002, p. 57) ainda afirma que “*O modelo ‘histórico’ é essencialmente um modelo estático que não deveria ser imposto em uma estrutura de variação temporal, a despeito das conseqüências*”⁴⁹.

2.2.3 Volatilidade implícita

Latané e Rendleman (1976) desenvolveram um modelo de mensuração da volatilidade denominado inicialmente como *Desvio-Padrão Implícito Ponderado – DPIP* –, cujo pressuposto básico é a existência de um mercado de opções. O referido modelo sugere que,

⁴⁹ Original em inglês.

como a fórmula de Black & Scholes guarda uma relação direta com o preço da opção, e sendo os demais fatores observáveis no mercado (preço do ativo, preço da opção, taxa de juros e tempo até o vencimento), pode-se estimar o valor da volatilidade para um determinado período futuro por meio da inversão da referida fórmula. Tendo em vista a existência de diversas opções para um mesmo ativo subjacente, os autores propuseram a seguinte ponderação para o cálculo da volatilidade de um ativo:

$$DPIP = \sum_{j=1}^N DPI_j \cdot \frac{\sigma_{C_j} \cdot s_j}{\sigma_{s_j} \cdot C_j} \quad (\text{Equação 3})$$

em que

DPIP : desvio-padrão implícito ponderado para um determinado ativo subjacente em determinada data;

N : número de opções lançadas sobre um mesmo ativo;

DPI_j : desvio-padrão implícito para a opção de série “j” lançada sobre o ativo; e

$\frac{\sigma_{C_j} \cdot s_j}{\sigma_{s_j} \cdot C_j}$: elasticidade-preço da opção “j” (C_j) em relação ao seu desvio padrão implícito (σ_j).

Posteriormente, Beckers (1981) desenvolveu estudos que concluíram pela restrição da análise apenas às opções do ativo subjacente que detivessem a mesma data de exercício⁵⁰. Ademais, o autor concluiu também pela irrelevância do processo de ponderação, uma vez que a utilização do desvio-padrão da série mais sensível à volatilidade seria uma *proxy* eficiente para a volatilidade do ativo subjacente.

⁵⁰ O que posteriormente ficou conhecido como *séries de uma opção*.

Por sua vez, Day e Lewis⁵¹, citado por Bertucci (1999), resgataram a idéia de ponderação, propondo um novo sistema de pesos para o cálculo da volatilidade implícita, no qual se considera a relação entre o volume de operações relativas a cada série e o total de operações das diferentes séries lançadas sobre o mesmo ativo subjacente.

Nos últimos anos, diversos autores desenvolveram estudos comparativos de capacidade preditiva entre o modelo de volatilidade implícita e outros modelos de cálculo de volatilidade (volatilidade histórica, GARCH, EGARCH, volatilidade estocástica, etc)⁵². Esses estudos, em grande parte realizados no mercado de ações, em geral, concluíram que o modelo de volatilidade implícita contém maior conteúdo informativo que os demais modelos.

Entretanto, conforme postulam Harvey e Whaley (1991), sua utilização dependente de alguns cuidados metodológicos:

- a) o modelo Black & Scholes modificado para a possibilidade de dividendos e de exercício antecipado é o mais adequado para a determinação de volatilidades implícitas;
- b) deve ser observada uma contemporaneidade entre os mercados de opções e à vista para o ativo subjacente;
- c) não devem ser objetos de uso para cálculo de volatilidade ativos subjacentes que apresentem baixa negociação ou negociação infrequente.

⁵¹ DAY, T. E.; LEWIS, C. M. *The behavior of the volatility implicit in the prices of stock index options*. *Journal of Financial Economics*, v. 22, p. 103-122, 1988.

⁵² Ver Xu e Taylor (1995); Jorion (1995); Amin e NG (1997); Andersen e Bollerslev (1998a), Campa, Chang e Reider (1998); Christensen e Prabhala (1998); Bertucci (1999); Gwilym (2001) e Andrade e Tabak (2001).

Além disso, Brooks (1998) ainda alerta para a necessidade de que o volume de negociações deva ser representativo e pulverizado, uma vez que a inobservância desses aspectos pode levar a previsões equivocadas para a volatilidade.

Dessa forma, considerando que o mercado de opções cambiais brasileiro apresenta pouco volume de transações, concentração no número de participantes e negociações pouco frequentes, é razoável desconsiderar o uso do modelo de volatilidade implícita para o cálculo de volatilidades no curto prazo⁵³, típico das transações efetuadas no âmbito da *Clearing* de Câmbio.

2.2.4 Modelo EWMA

Segundo Brooks (2002, p. 442),

O modelo de média móvel com ponderação exponencial (EWMA) é, essencialmente, uma simples extensão do modelo de volatilidade histórica ponderada, no qual as observações mais recentes têm um impacto maior na previsão da volatilidade que os dados mais antigos. Na especificação do modelo EWMA, a última observação recebe maior peso, enquanto os pesos associados às observações anteriores declinam exponencialmente. Esta abordagem tem duas vantagens em relação ao modelo histórico simples. Em primeiro lugar, na prática, a volatilidade é mais influenciada por eventos recentes, aos quais são atribuídos maiores pesos, que eventos ocorridos no passado. Em segundo lugar, o efeito na volatilidade de uma simples observação declina a uma taxa exponencial, na medida em que os pesos a ela associados declinam com o passar do tempo. Por outro lado, a abordagem histórica simples poderia levar a uma abrupta mudança de volatilidade caso o choque seja retirado da amostragem. E se o choque estiver incluído em período de amostragem relativamente longo, então uma observação

⁵³ É importante lembrar que as transações no âmbito da *Clearing* de Câmbio se restringem ao prazo máximo de dois dias úteis.

anormalmente grande implicará que a previsão da volatilidade se manterá artificialmente elevada, mesmo que o mercado se normalize.⁵⁴

Um modelo de média móvel com ponderação exponencial para “n” períodos de uma série temporal “x” pode ser definido como (ALEXANDER, 1998):

$$\frac{x_{t-1} + \lambda \cdot x_{t-2} + \lambda^2 \cdot x_{t-3} + \dots + \lambda^{n-1} \cdot x_{t-n}}{1 + \lambda + \lambda^2 + \lambda^3 + \dots + \lambda^{n-1}} \quad (\text{Equação 4})$$

em que

n : número de observações de uma série;

x_{t-n} : observação da série com “t-n” defasagem temporal; e

λ : fator de decaimento exponencial, tal que $0 < \lambda < 1$.

Uma vez que $0 < \lambda < 1$, λ^n tende a zero quando n tende a infinito. Assim, o modelo EWMA tende a atribuir pesos ínfimos às observações muito antigas e, portanto, o denominador da equação 4 converge para $1/(1-\lambda)$ quando n tende a infinito, o que implica que a referida equação pode ser reescrita como (ALEXANDER, 2002):

$$(1 - \lambda) \cdot \sum_{i=1}^{\infty} \lambda^{i-1} \cdot x_{t-i} \quad (\text{Equação 5})$$

Ou, aplicando-se o modelo para o cálculo de uma série temporal constituída dos retornos de um ativo, temos:

$$s_t^2 = (1 - \lambda) \cdot \sum_{i=1}^{\infty} \lambda^{i-1} \cdot (r_{t-1} - \bar{r}) \quad (\text{Equação 6})$$

⁵⁴ Original em inglês.

em que

\bar{r} : retorno médio;

r_{t-i} : retorno da série com “t-i” defasagens; e

λ : fator de decaimento exponencial, tal que $0 < \lambda < 1$.

σ_t^2 : variância prevista para o tempo t.

A partir de 1994, o modelo EWMA recebeu especial impulso junto ao mercado financeiro com o lançamento do *software* de administração de riscos *RiskMetrics™* pelo J. P. Morgan. A grande aceitação do referido *software* e a divulgação livre do respectivo documento técnico⁵⁵ rapidamente tornaram a metodologia um *padrão de mercado* (ALEXANDER, 1996; SUGANUMA, 2000).

Entretanto, é importante observar que o referido documento técnico tece algumas considerações e estabelece premissas para a utilização do modelo no âmbito do *software RiskMetrics™*, dentre as quais se destacam:

- a) os retornos das séries financeiras são calculados de forma contínua, tomando-se o logaritmo da relação entre os preços observados nos períodos t e t-1, considerando-se o comportamento log-normal dos retornos;
- b) o retorno médio (\bar{r}) é definido como sendo nulo, para qualquer série financeira e em qualquer intervalo de tempo utilizado;

⁵⁵ MORGAN GUARANTY TRUST COMPANY & REUTERS LTD. *RiskMetrics: technical document*. New York: RiskMetrics, 4th ed., 1996.

- c) o valor do fator de decaimento (λ), quando se utilizam retornos diários, obedece a relação predeterminada cujos principais valores podem ser observados na tabela 1. Ressalte-se que tais valores são constantes para qualquer ativo financeiro ou mercado;

Tabela 1
Número de observações históricas (retornos diários), sugerida pelo documento técnico do *RiskMetrics*TM, para a utilização do modelo EWMA

Fator de Decaimento	Dias de dados históricos no nível de tolerância:			
	0,001%	0,01%	0,1%	1%
0,85	71	57	43	28
0,86	76	61	46	31
0,87	83	66	50	33
0,88	90	72	54	36
0,89	99	79	59	40
0,90	109	87	66	44
0,91	122	98	73	49
0,92	138	110	83	55
0,93	159	127	95	63
0,94	186	149	112	74
0,95	224	180	135	90
0,96	282	226	169	113
0,97	378	302	227	151
0,98	570	456	342	228
0,99	1146	916	687	458

Fonte – *RiskMetrics – technical document*, (MORGAN GUARANTY TRUST COMPANY & REUTERS LTD, 1996, p. 94.

Nota – Por exemplo, para um nível de tolerância de 0,01% e 149 observações históricas, o fator de decaimento (λ) sugerido para a utilização no modelo EWMA é igual a 0,94.

- d) a volatilidade para múltiplos dias não pode ser estimada diretamente por meio do modelo EWMA (tipicamente um modelo do tipo *um passo à frente*). Assim,

assume-se a regra da *raiz quadrada do tempo*⁵⁶ para se calcular a volatilidade em períodos maiores. Ou seja, uma vez calculada a volatilidade para t (σ_t), pode-se obter a volatilidade para um período T à frente (σ_{t+T}), multiplicando-se pela raiz quadrada de T :

$$\mathbf{s}_{t+T} = \sqrt{T} \cdot \mathbf{s}_t \quad (\text{Equação 7})$$

em que

σ_t : variância calculada, pelo modelo EWMA, para um passo adiante;

σ_{t+T} : variância calculada, segundo a *regra da raiz quadrada do tempo*, para um período “ T ” à frente; e

T : número de dias à frente que estabelece o período para o qual se deseja determinar a volatilidade futura.

e) admitindo-se o retorno médio igual a zero e a variância inicial igual ao quadrado do retorno da primeira observação da série, a equação 6 pode ser escrita na forma recursiva⁵⁷ (normalmente utilizada nos pacotes econométricos e aplicativos utilizados pelos analistas de mercado), qual seja:

$$\mathbf{s}_t^2 = (1 - \mathbf{l}) \cdot r_{t-1}^2 + \mathbf{l} \cdot \mathbf{s}_{t-1}^2 \quad (\text{Equação 8})$$

em que

⁵⁶ Conforme lembra Alexander (1996), tal regra considera que a volatilidade se manterá constante pelo período T e pressupõe que o logaritmo dos retornos diários sejam normais, independentes e identicamente distribuídos, o que não condiz com os estudos empíricos em séries financeiras.

⁵⁷ Alexander (2002, p. 58) afirma que os dois termos da equação 8 podem ser interpretados. “O primeiro termo, $(1-\lambda) r_{t-1}^2$, determina a intensidade da *reação* da volatilidade a eventos de mercado: quanto menor é λ , maior a reação da volatilidade à informação do mercado, expressa pelo retorno do dia anterior. O segundo termo, $\lambda \sigma_{t-1}^2$, determina a *persistência* na volatilidade: independentemente do que ocorre no mercado, se a volatilidade foi alta no dia anterior, ela o será no dia atual.”

- σ_t^2 : variância prevista para um passo adiante (t);
- σ_{t-1}^2 : variância calculada para a observação t-1;
- r_{t-1}^2 : quadrado do retorno obtido na observação t-1; e
- λ : fator de decaimento.

As restrições e premissas impostas no documento técnico do *RiskMetrics*TM trouxeram maior praticidade e facilidade na implementação e no uso do modelo EWMA, sendo em grande parte responsáveis pelo seu sucesso. Porém, além do fato de que o modelo EWMA não apresenta a propriedade de *reversão à média*⁵⁸ – desejável a todo modelo de previsão de volatilidade –, é forçoso reconhecer as dificuldades de atendimento a algumas das restrições colocadas, tais como (SUGANUMA, 2000; BROOKS, 2002):

- a) a utilização do mesmo fator de decaimento ($\lambda=0,94$ para retornos diários e $\lambda=0,97$ para retornos mensais) para qualquer ativo, em qualquer tempo e em qualquer mercado⁵⁹;
- b) a admissão de que as séries de retornos, para qualquer ativo e em qualquer intervalo de tempo, têm média igual a zero e são normalmente distribuídas⁶⁰.

⁵⁸ Engle e Patton (2001) definem que uma das propriedades desejáveis em um modelo de previsão de volatilidade é a *reversão à média*. Entende-se como *reversão à média* a tendência de comportamento das séries de volatilidade que faz com que períodos de altas volatilidades venham a ser seguidos de períodos de baixas volatilidades (e vice-versa), de forma que haja uma propensão natural à estabilização em uma média histórica.

⁵⁹ Segundo o documento técnico do *RiskMetrics* (MORGAN GUARANTY TRUST COMPANY & REUTERS LTD, 1996, p. 100), após a análise de 480 séries temporais com vistas à determinação do fator de decaimento ótimo a ser utilizado pelo modelo, concluiu-se que: “Aplicando esta metodologia [minimização da raiz dos erros quadráticos médios] para os retornos diários e mensais, nós encontramos que o fator de decaimento para dados diários é 0.94, e o fator de decaimento para dados mensais é 0.97.”

⁶⁰ No que se refere à admissão de que o retorno médio de uma série seja zero, Brooks (2002, p. 443) observa que “Para dados expressos em frequência diária ou superior, não se trata de uma assunção irrazoável, levando, provavelmente, a uma perda de acurácia desprezível, já que se tratam de valores muito pequenos.”

Assim, a despeito da grande aceitação do modelo EWMA entre os participantes do mercado financeiro, outros modelos de previsão de volatilidade vêm conquistando espaço na preferência de analistas e acadêmicos, notadamente os da família ARCH.

2.2.5 Modelo ARCH

Os modelos de séries temporais foram desenvolvidos visando a correção da sazonalidade, o controle dinâmico e a predição. Durante toda a década de 70 e início da década de 80, as pesquisas se concentravam em uma classe específica de modelos de séries temporais, denominados processos auto-regressivos de média móvel (ARMA), tendo como foco principal a projeção de médias futuras condicionadas por valores passados, sempre com a premissa de que os demais momentos eram invariantes ao longo do tempo. (GOURIÉROUX, 1997; BOLLERSLEV, ENGLE, NELSON, 1994).

Embora diversos estudos empíricos há muito já demonstrassem que as séries financeiras apresentavam características de leptocurtose⁶¹, *efeito alavancagem*⁶² e *clusters* de volatilidade⁶³, somente a partir da introdução do modelo ARCH por Engle (1982) foi possível estabelecer um novo conceito econométrico de variâncias condicionadas por valores passados de uma série temporal (BOLLERSLEV, CHOU e KRONER, 1992; GOURIÉROUX, 1997; GUJARATI, 2000; BROOKS, 2002).

⁶¹ A presença de leptocurtose em uma série financeira de retornos é evidenciada por uma distribuição com caudas grossas e *pico mais alto e fino* que a distribuição normal (HAIR et al, 1998).

⁶² Define-se como efeito alavancagem a tendência de a volatilidade aumentar mais quando se observa uma elevação nos preços dos ativos do que quando se observa uma queda, de mesma amplitude, nos preços (BROOKS, 2002).

⁶³ Define-se *cluster* de volatilidade a tendência de que, nos mercados financeiros, períodos de altos retornos sejam seguidos de altos retornos, o mesmo ocorrendo para os períodos de baixo retorno. Dessa forma, é possível identificar agrupamentos de alta e baixa volatilidade durante o tempo (ALEXANDER, 1996).

Os modelos ARCH podem ser definidos genericamente como aqueles que seguem o processo estocástico na forma (BOLLERSLEV, CHOU e KRONER, 1992):

$$\mathbf{e}_t = z_t \cdot \mathbf{S}_t \quad (\text{Equação 9})$$

em que

- ε_t : é variante no tempo, não possui correlação serial e tem média zero e variância igual a σ_t^2 ;
- σ_t : é uma função positiva, variante no tempo, e dependente, do conjunto de informações disponíveis em t-1; e
- z_t : é idêntica e independentemente distribuída, com média zero e variância igual a um.

Sendo que, na maioria das aplicações, os resíduos ε_t correspondem às inovações na média de algum outro processo estocástico y_t , tal que (BOLLERSLEV, CHOU e KRONER, 1992):

$$y_t = g(x_{t-1}; b) + \mathbf{e}_t \quad (\text{Equação 10})$$

em que

- ε_t : resíduos correspondentes às inovações de y_t , tal como especificado na equação 9;
- x_{t-1} : vetor de variáveis exógenas (ou endógenas) que correspondem, ao conjunto de informações disponíveis em t-1; e
- b : vetor de parâmetros da função y_t .

Como Engle (1982) sugere, uma possível parametrização para a variância condicional (σ_t^2) é expressá-la como uma função linear do quadrado dos resíduos estimados no passado, ou seja:

$$E_{t-1}(e_t^2) \equiv s_t^2 = \omega + \alpha_1 \cdot e_{t-1}^2 + \alpha_2 \cdot e_{t-2}^2 + \dots + \alpha_q \cdot e_{t-q}^2 + n_t \quad (\text{Equação 11})$$

ou,

$$s_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^q \alpha_i \cdot e_{t-i}^2 + n_t \quad (\text{Equação 12})$$

em que

$E_{t-1}(e_t^2)$: é o valor esperado em “t-1” do erro quadrático em “t”, que é identicamente igual à variância condicionada em “t”;

ω : constante;

e_{t-q} : é o erro observado no tempo “t-q”, onde “q” denota a defasagem;

α_i : é a constante multiplicadora do termo de defasagem “i”; e

v_t : é um ruído branco [$N \sim (0,1)$].

Sendo que, para que o modelo seja estável e a variância condicional assuma valores positivos, é necessário que $\omega > 0$ e $\alpha_i \geq 0$, para $i = 1, \dots, q$; e, para que o processo seja estacionário⁶⁴, a

⁶⁴ Na realidade, configurar-se-á em um processo fracamente estacionário.

soma dos coeficientes α_i deve ser menor que um ($\sum \alpha_i < 1$). Nesse caso, temos que a variância incondicional é dada por:

$$s_t^2 = \frac{w}{1 - a_1 - \dots - a_q} \quad (\text{Equação 13})$$

A despeito dos bons resultados obtidos na aplicação do modelo para a análise da volatilidade das inflações na Grã-Bretanha e nos Estados Unidos da América, Engle (1982) deparou-se, já no seu primeiro trabalho, com algumas das limitações inerentes à sua formulação:

- a) a inexistência de procedimento consistente que permitisse a determinação do número de períodos defasados, de tal forma que se evitassem sinais negativos de coeficientes e a não estacionaridade da variância condicionada;
- b) a necessidade de se arbitrar uma estrutura declinante para os pesos atribuídos aos erros quadráticos passados.

Além disso, testes empíricos demonstraram que o número de períodos defasados necessários para capturar adequadamente a variância condicional eram, em geral, muito grandes⁶⁵. Dessa forma, e considerando que a metodologia usual para a estimação dos parâmetros do modelo é a maximização da função de log-veromaximilhança⁶⁶ (equação 14), cuja complexidade é grandemente afetada pelo número de parâmetros a se estimar, pode-se compreender a resistência inicial ao uso do modelo (BROOKS, 2002).

⁶⁵ A título de ilustração, a equação da variância condicionada obtida por Engle e Kraft, citados por Bertucci (1999), para o caso da inflação estadunidense, continha oito períodos de defasagem.

⁶⁶ Admitindo-se a premissa de normalidade na distribuição dos erros de previsão.

$$L = -(T/2) \cdot \log(2\mathbf{p}) - (1/2) \sum_{t=1}^T \log(\mathbf{s}_t^2) - (1/2) \sum_{t=1}^T (y_t - X_t' \mathbf{b})^2 / \mathbf{s}_t^2 \quad (\text{Equação 14})$$

em que

σ_t^2 : é representada pela equação 11;

T : é o número de observações da amostra;

X_t' : é a matriz transposta das variáveis exógenas (e/ou endógenas) da equação da média condicional; e

β : é a matriz de coeficientes da equação da média condicional.

Grande parte da resistência ao uso dos modelos ARCH(q) e de suas limitações só foi superada a partir de 1986, com a apresentação do artigo intitulado *Generalized Autoregressive Conditional Heterokedasticity* por Bollerslev (1986), no qual o autor apresenta uma extensão ao modelo proposto por Engle (1982), futuramente conhecido como GARCH⁶⁷.

2.2.6 Modelo GARCH

Bollerslev (1986) introduziu uma importante inovação ao modelo ARCH ao propor que a volatilidade condicionada fosse função não apenas dos quadrados dos erros passados (ϵ_{t-i}^2), como também dos seus próprios valores passados (σ_{t-j}^2)⁶⁸. Assim, um modelo GARCH(p,q) pode ser expresso como:

⁶⁷ É importante registrar que Stephen J. Taylor, em seu artigo intitulado *Forecasting the Volatility of Currency Exchange Rate* (*International Journal of Forecasting*, v. 3, p. 159-170, 1986), de forma independente, sugeriu um modelo de cálculo de volatilidade que se assemelhava a um processo GARCH(1,1) (BOLLERSLEV, CHOU e KRONER, 1992; BROOKS, 2002).

⁶⁸ Em seu texto original, Bollerslev (1986, p. 309) denominou esse processo como “um tipo de mecanismo adaptativo de aprendizado”.

$$s_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^q \alpha_i \cdot \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^p \beta_j \cdot s_{t-j}^2 + n_t \quad (\text{Equação 15})$$

em que

σ_t^2 : é variância condicionada em “t”;

ω : constante;

ε_{t-i} : é o erro observado no tempo “t-i”, em que “i” denota a defasagem;

α_i : é a constante multiplicadora do termo de defasagem “i”;

- β_j : é a constante multiplicadora do termo de defasagem “j”;
- σ_{t-j}^2 : é variância condicionada observada em “t-j”;e
- v_t : é um ruído branco [N~(0,1)].

Alexander (2002) observa que o modelo permite, no contexto das séries históricas financeiras, que se possa interpretar a variância condicionada (σ_t^2) como uma função do valor médio da variância no longo prazo (ω), da informação sobre a volatilidade observada durante os períodos passados ($\alpha_i \varepsilon_{t-i}^2$) e das variâncias estimadas nos períodos passados ($\beta \sigma_{t-j}^2$). Além disso, a formulação do modelo permite captar o comportamento de agrupamento de volatilidade (*volatility clustering*), amplamente observado em séries financeiras.

Por sua vez, Hamilton (1994) salienta que, enquanto um processo ARCH(q) pode ser visto como um processo auto-regressivo – AR – de ordem “q”, o modelo GARCH(p,q) pode ser visto como um processo auto-regressivo de média móvel – ARMA – de ordem “p,q”; pois σ_t^2 pode ser escrito como:

$$\mathbf{n}_t = \mathbf{e}_t^2 - \mathbf{s}_t^2 \quad (\text{Equação 16})$$

ou

$$\mathbf{s}_t^2 = \mathbf{e}_t^2 - \mathbf{n}_t \quad (\text{Equação 17})$$

que, substituindo na equação 15, para q=p=1:

$$\mathbf{e}_t^2 - \mathbf{n}_t = \mathbf{w} + \mathbf{a}_1 \cdot \mathbf{e}_{t-1}^2 + \mathbf{b}_1 \cdot (\mathbf{e}_{t-1}^2 - \mathbf{n}_{t-1}) \quad (\text{Equação 18})$$

Rearranjando os termos,

$$\mathbf{e}_t^2 = \mathbf{w} + (\mathbf{a}_1 + \mathbf{b}_1) \cdot \mathbf{e}_{t-1}^2 - \mathbf{b}_1 \cdot \mathbf{n}_{t-1} + \mathbf{n}_t \quad (\text{Equação 19})$$

Ou seja, a equação 19 pode ser interpretada como um processo ARMA(1,1) sobre ε_t^2 , no qual o coeficiente da parcela auto-regressiva é $(\alpha_1 + \beta_1)$ e o coeficiente da “média móvel” é β_1 . Dessa forma, pode-se concluir que a estacionariedade do processo para o modelo GARCH(1,1) dependerá de que $(\alpha_1 + \beta_1) < 1$.

Assim, de forma genérica, as restrições para a não negatividade da variância condicionada e para a estacionariedade do processo são, respectivamente:

$$w > 0 \quad a_i \geq 0, \text{ para } i=1, \dots, p \quad \beta_j \geq 0, \text{ para } j=1, \dots, q \quad ; e$$

$$\sum_{i=1}^p a_i + \sum_{j=1}^q \beta_j < 1$$

E a variância incondicional do modelo é expressa por:

$$\mathbf{s}^2 = \frac{\mathbf{w}}{1 - \left(\sum_{i=1}^p a_i + \sum_{j=1}^q \beta_j \right)} \quad (\text{Equação 20})$$

Embora o modelo generalizado permita inúmeros coeficientes de defasagem para ambos os fatores, Brooks (2002, p.455) afirma que, “em geral, um modelo GARCH(1,1) é suficiente para capturar os agrupamento de volatilidade nos dados, e raramente um modelo de ordem

superior é estimado ou mesmo considerado na literatura acadêmica financeira”. Uma das razões para tanto é o fato de que um modelo GARCH(1,1) já incorpora um modelo ARCH de ordem infinita.

Um caso especial do modelo GARCH(1,1) é quando $\alpha + \beta = 1$. Nesses casos, o modelo GARCH(1,1) recebe a denominação de GARCH integrado (*Integrated GARCH – IGARCH*), o qual, embora apresente raízes unitárias, é um processo estritamente estacionário, mesmo não sendo em seus momentos incondicionais (CAMPBELL, LO E MACKINLAY, 1997).

Andersen *et al.* (2001) observam que, com $\alpha + \beta = 1$, pode-se substituir $\beta = \lambda$ e reescrever o modelo IGARCH(1,1) como:

$$\mathbf{s}_t^2 = \mathbf{w} + (1 - \mathbf{I}) \cdot \mathbf{e}_{t-1}^2 + \mathbf{I} \cdot \mathbf{s}_{t-1}^2 \quad (\text{Equação 21})$$

Além disso, se $\lambda = 0$, o modelo IGARCH(1,1) assume a formatação do modelo EWMA. Dessa forma, pode-se afirmar que o modelo EWMA é um caso especial do modelo IGARCH(1,1), no qual o valor de β (ou λ) é definido arbitrariamente, conforme sugerido pelo documento técnico do *RiskMetrics™*.

Por fim, apesar de o modelo GARCH(p,q) capturar corretamente diversas características observadas nas séries históricas de finanças, tais como a leptocurtose e o agrupamento de volatilidades, não captura o efeito alavancagem, uma vez que a variância condicional é função apenas da magnitude das inovações e não dos seus sinais (BROOKS, 2002). Assim, surgiram algumas extensões com a finalidade de modelar o problema da assimetria, dentre os quais destacam-se os modelos EGARCH e TARCH.

2.2.7 Modelo EGARCH

Nelson (1991) propôs uma nova formulação para o modelo GARCH, denominado posteriormente EGARCH (*Exponential GARCH*), de forma a incorporar os efeitos assimétricos de mercado aos modelos auto-regressivos de volatilidade condicionada. Segundo Brooks (2002), há vários modos⁶⁹ de se expressar a equação da variância condicional, dentre as quais:

$$\ln(\sigma_t^2) = \omega + \beta \cdot \ln(\sigma_{t-1}^2) + \gamma \cdot \frac{e_{t-1}}{\sigma_{t-1}} + \alpha \left[\frac{|e_{t-1}|}{\sigma_{t-1}} - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \right] + u_t \quad (\text{Equação 22})$$

em que

- σ_t^2 : é variância condicionada em “t”;
- ω : constante;
- e_{t-1} : é o erro observado no tempo “t-1”;
- α, β, γ : são coeficientes da equação;
- σ_{t-1} : é o desvio-padrão observado em “t-1”; e
- u_t : é um ruído branco [N~(0,1)].

O modelo EGARCH apresenta algumas vantagens em relação ao modelo GARCH padrão. Em primeiro lugar, como é modelado o logaritmo da volatilidade condicional, mesmo se os parâmetros forem negativos, fica assegurada a não negatividade do σ_t^2 . Portanto, não há

necessidade de imposição artificial de restrições aos parâmetros. Em segundo lugar, a formulação do modelo permite capturar as relações assimétricas entre retornos e volatilidades por meio do termo $\gamma \cdot (\varepsilon_{t-1} / \sigma_{t-1})$. Por exemplo, considerando-se uma série temporal de retornos de um ativo, um valor negativo para γ indicaria uma elasticidade negativa entre a volatilidade dos retornos e os preços dos ativos (NELSON, 1991; BROOKS, 2002).

Por outro lado, embora muitos estudos tenham concluído que o modelo EGARCH representa adequadamente o comportamento de várias séries financeiras, o seu uso para a predição é dificultado na medida em que não há uma forma analítica predefinida para a estrutura da volatilidade (ALEXANDER, 2002).

Além disso, Nelson (1991) já havia detectado que o modelo apresentava problemas em mensurar corretamente a extensão dos choques após grandes variações de volatilidades, como a ocorrida em outubro de 1987 na Bolsa de Nova Iorque, *New York Stock Exchange* – NYSE. Nesse sentido, Hsieh (1993), em estudo empírico realizado nos mercados futuros de moedas da Chicago Mercantile Exchange⁷⁰, concluiu que o modelo EGARCH apresentava um alto grau de persistência na volatilidade, uma vez que o referido modelo pressupõe um lento retorno à volatilidade incondicional de longo prazo.

Um modelo mais simples e intuitivo para a captura do comportamento assimétrico das séries financeiras foi apresentado independentemente por Glosten, Jagannathan e Runkle (1993) e

⁶⁹ Brooks (2002) observa que, na formulação original, Nelson (1991) assumiu uma distribuição generalizada dos erros (GED). Entretanto, por motivos computacionais e de facilidade de interpretação, a grande maioria das aplicações desenvolvidas para o modelo considera os erros condicionais normalmente distribuídos.

⁷⁰ O estudo foi realizado com base na cotação dos contratos futuros referentes à libra esterlina, marco alemão, yen e franco suíços, do período de 22 de fevereiro de 1985 a 9 de março de 1990, totalizando 1.275 observações por contrato.

Zakoian⁷¹, citado por Alexander (2002) e Brooks (2002), sendo denominado como modelo GJR ou TARARCH (*Threshold ARCH*).

2.2.8 Modelo TARARCH⁷²

Glosten, Jagannathan e Runkle (1993) propuseram uma extensão ao modelo GARCH, de forma a incorporar os efeitos da assimetria de mercado à determinação da volatilidade condicionada. Nesse novo modelo, é acrescentado um termo à equação-padrão GARCH, cuja função é o reconhecimento dos efeitos assimétricos à volatilidade condicional, ou seja:

$$\sigma_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^q \alpha_i \cdot \varepsilon_{t-i}^2 + \gamma \cdot \varepsilon_{t-i}^2 \cdot d_{t-1} + \sum_{j=1}^p \beta_j \cdot \sigma_{t-j}^2 + n_t \quad (\text{Equação 23})$$

em que

- σ_t^2 : é variância condicionada em “t”;
- ω : constante;
- ε_{t-i} : é o erro observado no tempo “t-i”, onde “i” denota a defasagem;
- α_i : é a constante multiplicadora do termo de defasagem “i”;
- β_j : é a constante multiplicadora do termo de defasagem “j”;
- σ_{t-j}^2 : é variância condicionada observada em “t-j”;
- γ : coeficiente do termo de assimetria;

⁷¹ ZAKOIAN, J. M. *Threshold heteroscedastic models*. Journal of Economic Dynamics and Control, nro. 18, p. 931-955, 1994 (citado por ALEXANDER, 2002; BROOKS, 2002).

⁷² Alguns autores denominam o modelo como TGARCH, uma vez que o modelo se assemelha muito mais à formulação dada ao modelo GARCH que ao modelo ARCH. Neste trabalho, adotam-se as denominações TARARCH e GJR indistintamente, sem prejuízo às eventuais considerações em relação à sua pertinência.

- d_{t-1} : é a variável *dummy* que assume o valor igual a 1 se $\varepsilon_{t-1} < 0$ (más notícias), e valor igual a 0 se $\varepsilon_{t-1} > 0$ (boas notícias)⁷³; e
- v_t : é um ruído branco [N~(0,1)].

De forma similar ao modelo GARCH, estudos empíricos demonstram que o modelo TAR(1,1) é, na maioria das vezes, suficiente para capturar os efeitos de mercado na volatilidade condicional. No que se refere ao referido modelo, as condições para não negatividade são: $\omega \geq 0$; $\alpha_i \geq 0$, para $i=1,\dots,q$; $\beta_j \geq 0$, para $j=1,\dots,p$; e $\Sigma\alpha_i + \gamma \geq 0$ (BROOKS, 2002).

Engle e Ng (1993) efetuaram um amplo estudo comparativo entre diversos modelos de volatilidade condicionada (simétricos e assimétricos). O estudo baseou-se nos dados diários do índice do mercado acionário japonês (TOPIX), coletados no período de janeiro de 1980 a dezembro de 1988. Os resultados permitiram aos autores concluir que o modelo TAR(1,1) é o que apresentava o melhor desempenho na função preditiva, tanto nos períodos estáveis como instáveis. Posteriormente, Hagerud (1997) efetuou um estudo comparativo entre diversos modelos assimétricos de volatilidade condicionada, tomando como base os preços diários das ações de empresas negociadas nas bolsas dos países nórdicos, observados no período de julho de 1991 a julho de 1996. Nesse caso, o autor concluiu que o modelo TAR(1,1)⁷⁴ apresenta um desempenho, no mínimo, tão bom quanto outros modelos mais complexos.

⁷³ É importante salientar que, ao se utilizar o modelo para predições, deve-se fixar o valor de d_{t-1} em “0,5”, como forma de não se configurar um viés para o comportamento do erro.

⁷⁴ Hagerud (1997) conclui que os modelos GJR, TGARCH e GQARCH (Generalized Quadratic ARCH) apresentam desempenho equivalente. Ressalte-se, porém, que, mesmo acentuando que os modelos GJR e TGARCH têm a mesma forma funcional para a determinação da volatilidade condicional, o autor faz questão de utilizar as duas formulações separadamente.

Ressalte-se, entretanto, que qualquer afirmação comparativa entre modelos de predição de volatilidade suscita discussões, uma vez que a literatura acadêmica não aponta um critério de consenso para a avaliação do desempenho dos modelos. Assim, é de fundamental importância uma abordagem mais detalhada sobre o assunto.

2.3 Avaliação de modelos de volatilidade

2.3.1 Introdução

Segundo Engle e Patton (2001), um modelo de volatilidade deve ser capaz de capturar e refletir algumas características que já foram detectadas nos diversos estudos empíricos realizados em séries financeiras, tais como a reversão à média, a persistência, a resposta assimétrica a inovações e a sensibilidade a variáveis exógenas ou predeterminadas. Mas, principalmente, tal modelo deve ser capaz de *prever* a volatilidade futura, uma vez que “Virtualmente, todos usos dos modelos de volatilidade em aplicações financeiras exigem aspectos de previsão de retornos futuros”⁷⁵ (ENGLE e PATTON, 2001, p. 237).

Entretanto, tanto a predição como a avaliação do desempenho dos modelos são tarefas controversas e de notória dificuldade, dando margem a extensas discussões (BRAILSFORD e FAFF, 1996)⁷⁶. Um dos principais obstáculos à avaliação do desempenho dos modelos refere-se ao fato de que a volatilidade não pode ser diretamente observada. Assim, o máximo que se pode mensurar é uma “estimativa *ex-post* da realização de um processo de volatilidade” (ALEXANDER, 2002, p.119).

⁷⁵ Original em inglês.

⁷⁶ Idem.

Alexander (2002, p. 119)⁷⁷ ainda afirma que,

[...] Nos mercados financeiros, a volatilidade da distribuição dos retornos pode modificar-se consideravelmente com o passar do tempo, mas há somente um modo por meio do qual se pode mensurar o sucesso de uma previsão para um determinado horizonte: o retorno observado após o respectivo horizonte. A análise do desempenho de uma previsão será, então, dependente do período escolhido para a avaliação. Além disso, a avaliação da acurácia da previsão depende muito do método de avaliação empregado (DIEBOLD e MARIANO, 1995)⁷⁸.

[...] Qualquer que seja o critério a ser utilizado para se validar um modelo, é importante ressaltar que mesmo que o modelo se ajuste bem quando testado dentro da amostra (isto é, no intervalo dos dados utilizados para estimar os parâmetros do modelo), o teste real do poder de previsão é realizado fora da amostra, usualmente em um período posterior à amostragem.

A despeito das dificuldades inerentes ao processo, observou-se, nos últimos anos, uma vasta produção acadêmica dedicada à avaliação da capacidade preditiva dos modelos de volatilidade (BROOKS, 2002). No tópico seguinte, serão abordados alguns desses trabalhos e suas respectivas conclusões, com especial ênfase para aqueles cuja seleção de modelos a serem avaliados inclua os de volatilidade condicionada.

2.3.2 Estudos comparativos entre modelos de volatilidade⁷⁹

Um dos primeiros e mais importantes artigos, comparando a capacidade preditiva dos modelos de volatilidade condicionada, foi elaborado por Akgiray (1989). Os dados utilizados referiam-se às cotações diárias de índices de ações estadunidenses observados no período de

⁷⁷ Ibidem.

⁷⁸ O referido texto citado pela autora é equivalente, em conteúdo, a Diebold e Mariano (1994), inserido nas referências bibliográficas do presente trabalho.

⁷⁹ Neste tópico, será dada especial ênfase às conclusões obtidas dos testes fora da amostra. Assim, sempre que não houver indicação explícita contrária, as conclusões se referem aos testes realizados fora da amostra.

janeiro de 1963 a dezembro de 1986. Nesse estudo, o autor concluiu que o modelo GARCH (1,1) apresentou um desempenho superior, na predição da volatilidade mensal dos respectivos índices, que os modelos ARCH, EWMA e de volatilidade histórica.

Por sua vez, Pagan e Schwert (1990) compararam o desempenho dos modelos GARCH, EGARCH, *Markov switching regime* e de três outros modelos não-paramétricos, quando utilizados para a previsão, dentro e fora da amostra, da volatilidade mensal de ações no mercado estadunidense. Para tanto, foram utilizadas as cotações de algumas das ações transacionadas no mercado estadunidense, coletadas no período de 1834 a 1937⁸⁰. Os autores concluíram que há uma grande diferença de desempenho entre os modelos quando os testes são efetuados dentro e fora da amostra. Ademais, para os testes realizados fora da amostra, o modelo EGARCH (1,2) apresentou um desempenho superior a todos os demais.

Day e Lewis (1992) buscaram analisar se a inserção de volatilidades implícitas nos modelos GARCH e EGARCH proporcionaria um melhor desempenho na determinação da volatilidade futura. Adicionalmente, os autores efetuaram testes visando comparar a capacidade preditiva dos modelos. Os dados utilizados referiam-se aos preços dos contratos de opções de compra do índice Standard & Poor 100, observados no período de março de 1983 a dezembro de 1989. Os resultados dos testes não permitiram aos autores concluir sobre a superioridade de um modelo em relação aos demais.

Já para West e Cho (1994), os testes realizados demonstraram que o modelo GARCH (1,1) apresentou um desempenho superior nas previsões da volatilidade no mercado de câmbio, quando comparado aos modelos homocedásticos, auto-regressivos e não paramétricos. O

referido estudo foi realizado com base nas cotações da taxa de câmbio de cinco moedas (Canadá, França, Alemanha, Japão e Reino Unido) frente ao dólar estadunidense, coletadas semanalmente, no período de março de 1973 a setembro de 1989.

Por sua vez, Brailsford e Faff (1996, p. 436) concluíram que os modelos GARCH (1,1) e TARARCH(1,1) são apenas “um pouco superiores” a outros modelos mais simples utilizados na predição da volatilidade mensal do índice de ações da bolsa australiana. Os dados utilizados referiam-se às cotações do índice das 56 ações mais negociadas na bolsa australiana, observadas no período de janeiro de 1974 a junho de 1993.

Para Walsh e Tsou (1998), o modelo EWMA apresentou uma capacidade preditiva superior aos modelos GARCH, volatilidade histórica e “valor extremo melhorado”⁸¹. Para sua análise, os autores utilizaram cotações tomadas a cada 5 minutos de três índices de ações negociados na Australian Stock Exchange, observadas no período que se estendeu de janeiro de 1993 a dezembro de 1995.

Bertucci (1999) comparou a capacidade preditiva dos modelos de volatilidade implícita, volatilidade histórica, *random walk*, GARCH, EGARCH e TARARCH, quando utilizados para a precificação de opções nas situações *dentro e fora do dinheiro*. O referido estudo foi baseado nos preços da ação TELEBRAS PN – e de opções sobre esta ação – negociados na Bolsa de Valores de São Paulo, coletados no período de julho de 1994 a julho de 1998. Nos testes fora da amostra, o autor concluiu pela superioridade do modelo de volatilidade implícita em relação aos demais.

⁸⁰ O artigo não entra em detalhes sobre os dados utilizados, remetendo a discussão para outro artigo denominado *Business cycles, financial crises and stock volatility*, elaborado por Schwert, em 1989, e publicado no *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, 31, p. 83-126.

⁸¹ Este método foi introduzido por Kunitomo, em artigo intitulado *Improving the Parkinson method of estimating security price volatilities*, publicado em 1992, no periódico *Journal of Business*, v. 65, p. 295-302. Por estar fora do escopo do presente trabalho, não serão discutidos detalhes sobre esse modelo.

Já Mendes (2000) concluiu pela superioridade preditiva do modelo GARCH (1,1) em relação aos modelos de volatilidade histórica e volatilidade implícita, quando da sua utilização na precificação de opções *no dinheiro*. O autor também utilizou os preços da ação TELEBRAS PN – e de opções sobre esta ação – negociados na Bolsa de Valores de São Paulo, nesse caso, coletados no período de janeiro de 1998 a dezembro de 1998.

Galvão (2002), por outro lado, concluiu pela superioridade preditiva do modelo de volatilidade implícita em comparação ao modelo GARCH (1,1), quando utilizado para a precificação de opções. Os dados utilizados referiam-se às cotações de ações da empresa TELEMAR negociadas na Bolsa de Valores de São Paulo, coletadas a cada 30 minutos, durante o período que se estende de setembro de 1998 a janeiro de 2001⁸².

Por fim, para se ter uma dimensão empírica da diversidade dos resultados reportados pela literatura, é importante analisar a pesquisa realizada por Poon e Granger (2003). Nessa pesquisa, os autores selecionaram 93 artigos e *working papers*⁸³, publicados no período de 1976 a 2002, cujo tema central se baseava na avaliação do desempenho preditivo de modelos de volatilidade. Desses, 66 estudos comparavam o desempenho preditivo entre, pelo menos, duas das quatro categorias de modelos definidas pelos autores, quais sejam: volatilidade histórica (HISVOL⁸⁴), GARCH⁸⁵, volatilidade implícita (ISD⁸⁶) e volatilidade estocástica (SV⁸⁷).

⁸² Em relação às opções, o autor ressalta que os dados foram coletados no período de agosto de 2001 a janeiro de 2002, sendo necessário relaxar o critério de tempo entre observações.

⁸³ É importante ressaltar que os autores excluíram de sua seleção todas as publicações que não abordassem testes fora da amostra, bem como aquelas que se restringiram aos aspectos de previsão de correlações.

⁸⁴ A categoria HISVOL é composta por *random walk*, médias históricas de retornos quadráticos ou retornos absolutos, modelos de séries temporais baseados na volatilidade histórica usando médias móveis, ponderação exponencial, modelos auto-regressivos, ou mesmo modelos auto-regressivos integrados fracionalmente. Dessa forma, o modelo EWMA é incluído nessa categoria.

⁸⁵ A categoria GARCH é composta por qualquer variante do modelo ARCH.

⁸⁶ A categoria ISD engloba quaisquer modelos de volatilidade implícita que tenham, como base, o modelo Black & Scholes e suas várias generalizações.

⁸⁷ A categoria SV é composta por todo e qualquer modelo baseado no princípio de volatilidade estocástica.

Para um melhor entendimento, Poon e Granger (2003) compilaram as conclusões sobre o desempenho dos modelos analisados em cada um dos 66 estudos⁸⁸, consolidando-os conforme as quatro categorias acima descritas. A tabela 2 apresenta o resumo comparativo entre as categorias, tomadas duas a duas.

Tabela 2

Resumo comparativo do desempenho preditivo entre categorias de modelos de volatilidade

Conclusão sobre o desempenho preditivo	Número de estudos	Percentual relativo (%)
HISVOL melhor que GARCH	22	56
GARCH melhor que HISVOL	17	44
HISVOL melhor que ISD	8	24
ISD melhor que HISVOL	26	76
GARCH melhor que ISD	1	6
ISD melhor que GARCH	17	94
SV melhor que GARCH	3	75
GARCH melhor que SV	1	25
SV melhor HISVOL	3	-
ISD melhor que SV	1	-

Fonte – Poon e Granger (2003, p. 506), adaptada pelo autor da dissertação.

Portanto, percebe-se que ainda não se firmou um consenso sobre a capacidade preditiva dos modelos de volatilidade e, como observa Alexander (2002, p. 119)⁸⁹,

Embora nos deparemos com declarações do tipo “Nós empregamos volatilidades fracionariamente integradas EWMA por serem mais acuradas”, é improvável que um dado modelo de previsão de volatilidade seja “mais acurado” segundo todos os possíveis critérios estatísticos e operacionais. Um modelo pode funcionar bem segundo um algum critério, mas não tão bem em relação a outros. Em resumo, não há uma resposta definitiva e incondicional à questão: “qual método é mais acurado?”

⁸⁸ É importante ressaltar que os autores não analisaram aspectos relativos ao período de coleta de dados, tipo de ativos utilizado, ou critérios de avaliação.

Assim, tendo em vista que o critério de avaliação da capacidade preditiva é um fator de fundamental importância nos estudos comparativos entre os modelos de volatilidade, o tópico seguinte será dedicado a abordar alguns dos critérios encontrados na literatura especializada.

2.3.3 Critérios de avaliação

Os critérios utilizados para avaliar o desempenho dos modelos de volatilidade podem ser classificados em dois grandes grupos: critérios funcionais e critérios estatísticos. Um critério funcional é todo aquele cuja avaliação do desempenho é vinculada a um resultado definido sob a ótica do investidor, circunscrito a uma aplicação ou situação particular. Já o critério estatístico é baseado em um ou mais métodos fundamentados na teoria estatística e, portanto, não subordinados ao interesse direto de um investidor ou a uma situação particular (ALEXANDER, 2002).

Em relação aos critérios funcionais, Poon e Granger (2003, p. 490)⁹⁰ observam que

Idealmente, um exercício de avaliação deveria medir a utilidade, em termos relativos ou absolutos, da previsão da volatilidade para os investidores. Entretanto, para conseguir tal objetivo, é necessário conhecer o processo de decisão, no qual será utilizada a previsão, e os custos e benefícios que resultariam dessa utilização. Outros critérios baseados em utilidade, tais como o utilizado por West, Edson e Cho (1993), requerem algumas suposições sobre a forma e característica da função utilidade. Na prática, os custos, os benefícios e a função utilidade não são conhecidos, e é mais usual a adoção de medidas sugeridas pelos estatísticos.

Além disso, se de um lado o uso de critérios funcionais tem a vantagem de testar o desempenho do modelo de predição de volatilidade no real contexto em que ele será utilizado,

⁸⁹ Original em inglês.

⁹⁰ Original em inglês.

por outro, qualquer conclusão extraída desse processo será muito mais subjetiva do que aquela obtida pelo uso de critérios estatísticos (ALEXANDER, 2002).

Assim, embora se observe uma clara preferência pelo uso de critérios estatísticos entre acadêmicos e operadores do mercado financeiro, ainda não há consenso sobre qual a melhor medida estatística a ser empregada na comparação entre modelos de predição de volatilidade. Em geral, utilizam-se *funções perdas* baseadas em *erros médios*, quais sejam⁹¹ (WALSH e TSOU, 1998; PONN e GRANGER, 2003):

$$EM = \frac{1}{n} \cdot \left[\sum_{i=1}^n (vol_{real,i} - vol_{prevista,i}) \right] \quad (\text{Equação 24})$$

$$EQM = \frac{1}{n} \cdot \left[\sum_{i=1}^n (vol_{real,i} - vol_{prevista,i})^2 \right] \quad (\text{Equação 25})$$

$$REQM = \frac{1}{\sqrt{n}} \cdot \left[\sum_{i=1}^n (vol_{real,i} - vol_{prevista,i})^2 \right]^{0,5} \quad (\text{Equação 26})$$

$$EAM = \frac{1}{n} \cdot \left[\sum_{i=1}^n |vol_{real,i} - vol_{prevista,i}| \right] \quad (\text{Equação 27})$$

$$MAEP = \frac{100}{n} \cdot \left[\sum_{i=1}^n \left| \frac{vol_{real,i} - vol_{prevista,i}}{vol_{real,i}} \right| \right] \quad (\text{Equação 28})$$

⁹¹ No original em inglês, as siglas referentes às equações 24 a 28 são, respectivamente: ME; MSE; RMSE, MAE, MAPE.

em que

EM	: erro médio;
EQM	: erro quadrático médio;
REQM	: raiz do erro quadrático médio;
EAM	: erro absoluto médio;
MAEP	: média absoluta dos erros percentuais;
$vol_{real,i}$: volatilidade <i>real</i> para a observação “i”;
$vol_{prevista,i}$: volatilidade prevista, segundo o modelo, para a observação “i”;
n	: número de observações utilizadas.

Ressalte-se, entretanto, que as *funções perdas* acima descritas, ao penalizarem igualmente erros de previsão positivos e negativos (os quais não têm significado), podem levar a conclusões equivocadas sobre o desempenho dos modelos de volatilidade (BOLLERSLEV, ENGLE e NELSON, 1994; COLLOPY e ARMSTRONG, 2000; e LOPEZ, 2001). Além disso, mesmo que um modelo não apresente volatilidades negativas, o comportamento da maioria dos investidores sugere que se penalizem erros de volatilidade de forma assimétrica, na medida em que previsões subestimadas ou superestimadas podem acarretar ganhos ou perdas diferenciados (POON e GRANGER, 2003).

Utilizando uma abordagem um pouco distinta das anteriores, duas outras medidas estatísticas têm recebido maior atenção por parte dos acadêmicos: o índice Theil-U e a *função perda* LINEX, cujas representações matemáticas⁹² são (POON e GRANGER, 2003):

⁹² As representações matemáticas seguem a formatação dada para a comparação entre modelos de volatilidade, de forma similar às apresentadas por Jun Yu, no artigo *Forecasting volatility in the New Zealand stock market*, publicado no periódico *Applied Financial Economic*, v. 12, p. 193-202, 2002.

$$Theil-U = \frac{\sum_{i=1}^n (vol_{prevista,i} - vol_{real,i})^2}{\sum_{i=1}^n (vol_{bench,i} - vol_{real,i})^2} \quad (\text{Equação 29})$$

em que

$vol_{real,i}$: volatilidade *real* para a observação i ;

$vol_{prevista,i}$: volatilidade prevista, segundo o modelo, para a observação i ;

$vol_{bench,i}$: volatilidade prevista segundo um benchmark, usualmente o *Random Walk*, para a observação i ;

n : número de observações utilizadas.

$$LINEX = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \{ \exp[-a \cdot (vol_{prevista,i} - vol_{real,i})] + a \cdot (vol_{prevista,i} - vol_{real,i}) - 1 \} \quad (\text{Equação 30})$$

em que

$vol_{real,i}$: volatilidade *real* para a observação i ;

$vol_{prevista,i}$: volatilidade prevista, segundo o modelo, para a observação i ;

a : fator arbitrado de tal forma que: se $a > 0$, previsões inferiores às *reais* receberão maior peso que as previsões superiores; e se $a < 0$, ocorrerá exatamente o inverso. ;

n : número de observações utilizadas.

Na estatística Theil-U, proposta por Theil⁹³, citado por Poon e Granger (2003), o erro de previsão é padronizado por um *benchmark* escolhido. Dessa forma, o efeito de qualquer transformação aplicada à variável subjacente é retirado, permitindo uma interpretação direta e facilitada: quanto menor o valor da estatística, melhor é o desempenho do modelo de previsão. Entretanto, a correta análise da estatística deve levar em conta as seguintes características: a) por definição, o valor da estatística para o *benchmark* é 1; b) não há limite superior para a estatística, mas o limite inferior é zero (todas as previsões corretas); e c) por ser simétrica, penaliza igualmente erros de previsão positivos e negativos, assim como previsões superestimadas e subestimadas.

Já a *função perda* LINEX (acrônimo de *Linear Exponential*), proposta por Varian⁹⁴, citado por Christoffersen e Diebold (1997), tem como principal vantagem o tratamento assimétrico em relação aos erros de previsão. Os pesos atribuídos para os erros de previsão que subestimam ou superestimam a volatilidade dependem do sinal e do valor atribuído à variável a (equação 30). Se $a > 0$, a função é aproximadamente linear, quando a volatilidade prevista é maior que a *volatilidade real*, e exponencial, quando a volatilidade prevista é menor que a *volatilidade real*. Assim, previsões subestimadas recebem maior peso que as superestimadas. O raciocínio inverso ocorre quando $a < 0$. A principal desvantagem dessa abordagem é a determinação do valor ótimo para a variável a , o que, na maioria das vezes, não é trivial (CHRISTOFFERSEN e DIEBOLD, 1997).

Outro procedimento estatístico amplamente empregado para avaliar o desempenho dos modelos de previsão de volatilidade é a regressão linear, tomando-se a *volatilidade real* como

⁹³ Theil, H. *Applied Economic Forecasting*. Amsterdam: North-Holland, 1966.

⁹⁴ Varian, H.R. A Bayesian approach to real estate assessment. In: Fienberg, S. E.; Zellner, A. (eds.). *Studies in Bayesian econometric and statistics in Honor of Leonard J. Savage*. Amsterdam :North-Holland, 195-208, 1975.

variável dependente e a volatilidade prevista como variável explicativa. Se a volatilidade prevista estiver correta, a constante da regressão (α) deve ser zero e o coeficiente de inclinação (β) deve ser um (ALEXANDER, 2002). Expressando matematicamente:

$$vol_{real,i} = \mathbf{a} + \mathbf{b} \cdot vol_{prevista,i} + \mathbf{u}_t \quad (\text{Equação 31})$$

em que

- $vol_{real,i}$: volatilidade *real* para a observação i ;
- $vol_{prevista,i}$: volatilidade prevista, segundo o modelo, para a observação i ;
- \mathbf{a} : constante da regressão;
- \mathbf{b} : coeficiente de inclinação;
- v_t : erro da regressão.

Considerando que o coeficiente de determinação (R^2) da regressão acima representa a proporção da variação total da *volatilidade real* que é explicada pela volatilidade prevista, então, a princípio, a simples comparação entre R^2 poderia representar uma medida de desempenho entre modelos. Entretanto, no caso da volatilidade, o valor do coeficiente de determinação não é um indicador confiável da capacidade preditiva, uma vez que seu valor não só é dependente do processo de geração dos dados (retornos), como também apresenta um limite superior vinculado à construção do modelo de previsão (ALEXANDER, 2002).

Nesse sentido, Andersen e Bollerslev (1998b, p. 6)⁹⁵ afirmam que

O uso do R^2 como um indicador da acurácia de previsões de volatilidade é, entretanto, problemática. Aplicações financeiras concentram-se na volatilidade futura, e não nos quadrados dos retornos realizados. Sob a hipótese nula de que a estimativa do modelo GARCH(1,1) representa a especificação correta, a verdadeira variância dos retornos é, por definição,

⁹⁵ Original em inglês.

idêntica à previsão do modelo GARCH. Dessa forma, nesse cenário, o R^2 simplesmente mede a extensão do ruído do quadrado dos retornos relativos à média, o qual é determinado pela (verdadeira) variância condicional dos retornos. Por outro lado, se a regressão é utilizada como um diagnóstico para um potencial erro de especificação, então uma medida alternativa para a volatilidade realizada do retorno é necessária. [...] Em outras palavras, não está claro como interpretar o R^2 obtido, sem que se estabeleça um benchmark para o valor esperado sob a hipótese nula de que o modelo especificado está correto.

Uma variante do processo é substituir a regressão simples por uma regressão múltipla, na qual a *volatilidade real* continua como a variável dependente, e as volatilidades previstas pelos diversos modelos concorrentes são as variáveis explicativas. A análise dos resultados pode ser realizada em duas etapas complementares. A primeira reside na análise da significância estatística dos diversos parâmetros estimados⁹⁶. Na segunda, refaz-se a regressão utilizando-se apenas o modelo que tenha apresentado maior significância estatística (considerado, para efeito de comparação, como o modelo dominante), registrando-se o valor de R^2 . A partir daí, acrescentam-se um a um os demais modelos, classificando-os na proporção em que contribuem para um incremento significativo no R^2 -ajustado (POON e GRANGER, 2003). A representação matemática da referida regressão múltipla pode ser dada por:

$$vol_{real,i} = \mathbf{a} + \mathbf{b}_1 \cdot vol_{prevista1,i} + \mathbf{b}_2 \cdot vol_{prevista2,i} + \dots + \mathbf{b}_N \cdot vol_{previstaN,i} + \mathbf{u}_t \quad (\text{Equação 32})$$

em que

$vol_{real,i}$: *volatilidade real* para a observação “i”;

$vol_{previstaN,i}$: volatilidade prevista, segundo o modelo “N”, para a observação “i”;

⁹⁶ Segundo Poon e Granger (2003), especial atenção deve ser dada para o caso em que se observe a presença de heterocedasticidade e correlação serial nos erros da regressão (ocorrências comuns no caso em que as previsões de volatilidade não são ortogonais). Nesse caso, deverá ser adotado algum procedimento para a correção dos desvios-padrões.

- a** : constante da regressão;
- b_N** : coeficiente do modelo “N”;
- v_t** : erro da regressão.

Um ponto de muita importância e que afeta todas as abordagens estatísticas definidas anteriormente, mas que só recentemente tem recebido maior atenção por parte dos estudiosos, é a definição da *proxy* mais adequada para a *volatilidade real*. Quando o foco de interesse é a previsão da volatilidade diária, o método mais usual é considerar que a *volatilidade real* é calculada pela variância incondicional diária⁹⁷, tomando-se o quadrado da diferença entre o retorno do dia em relação à média do período (BROOKS, 2002), ou seja:

$$s_{real,i}^2 = (r_i - \bar{r})^2 \quad (\text{Equação 33})$$

em que

- $\sigma_{real,i}^2$: é a volatilidade real para o dia “i”;
- r_i : é retorno observado no dia “i”; e
- \bar{r} : é o retorno médio observado no período de amostragem.

Lopez (2001) contesta essa abordagem para pequenas amostras. Segundo o autor, ao optar por assim definir a *volatilidade real*, deve-se levar em conta que a distribuição dos erros segue uma distribuição qui-quadrada (?²). Dessa forma, se de um lado o quadrado da inovação diária é um estimador não viesado da *volatilidade real*, por outro, é muito impreciso devido a sua distribuição assimétrica⁹⁸.

⁹⁷ Alguns autores denominam a volatilidade calculada por tal procedimento como *volatilidade instantânea*.

⁹⁸ Seguindo o mesmo raciocínio, Poon e Granger (2003, p.492) demonstram que:

Andersen e Bollerslev (1998a), por sua vez, afirmam que a referida volatilidade seria melhor representada utilizando-se, para seu cálculo, dados de alta frequência intradiários⁹⁹. Segundo os autores, a principal argumentação a favor dessa abordagem é o fato de que um maior número de informações tende a gerar melhores estimativas, a despeito das dificuldades práticas de implementação e coleta de dados.

O estudo realizado por Poon e Granger (2003), detalhado anteriormente¹⁰⁰, permite avaliar a dimensão empírica da diversidade de critérios utilizados pelos pesquisadores. Podem-se identificar 33 critérios distintos nos 93 artigos e *working papers* pesquisados pelos autores, sendo que, dentre esses, seis modelos são utilizados em cerca de 80% dos trabalhos (tabela 3). Ressalte-se, ainda, uma característica predominante nos estudos de desempenho preditivo dos modelos de volatilidade: o uso simultâneo de mais de um critério de avaliação, sem que se estabeleça a uma *ordem de prioridade* entre eles.

Tabela 3

Modelos mais utilizados em estudos comparativos de desempenho preditivo de modelos de volatilidade

Critério	Quantidade de estudos em que é utilizado	Percentual (%)
Erro Absoluto Médio (EAM)	34	19,1
Regressão Linear (R ²)	33	18,5

$$Y_t = \mathbf{m} + \mathbf{e}_t, \mathbf{e}_t = \mathbf{s}_t \cdot z_t, \text{ e } z_t \sim N(0,1)$$

se

então

$$E[\mathbf{e}_t^2 | \Phi_{t-1}] = \mathbf{s}_t^2 \cdot E[z_t^2 | \Phi_{t-1}] = \mathbf{s}_t^2, \text{ desde que } z_t^2 \sim \mathbf{c}_{(1)}^2$$

Dessa forma, desde que a mediana de uma distribuição $\chi^2_{(1)}$ é 0,455, $\mathbf{e}_t^2 < 0,5\sigma_t^2$ mais de 50% das vezes. Na realidade:

$$\text{Prob}\left\{\mathbf{e}_t^2 \in \left[\frac{\mathbf{s}_t^2}{2}, \frac{\mathbf{s}_t^2}{3}\right]\right\} = \text{Prob}\left\{z_t^2 \in \left[\frac{1}{2}, \frac{2}{3}\right]\right\} = 0.2588$$

que significa que \mathbf{e}_t^2 é 50% maior ou menor que σ_t^2 em aproximadamente 75% do tempo.

⁹⁹ Os autores sugerem a utilização de dados coletados a cada cinco minutos de negociação.

¹⁰⁰ Vide páginas 73 e 74 desta dissertação.

Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM)	32	18,0
Erro Quadrático Médio (EQM)	17	9,6
Erro Médio (EM)	14	7,9
Média Absoluta dos Erros Percentuais (MAEP)	12	6,7
Outros	36	20,2

Fonte – Poon e Granger, 2003, p. 508, adaptada pelo autor da dissertação.

Nota – Quando da análise desta tabela, deve-se levar em conta que os estudos pesquisados utilizaram, em sua grande maioria, mais de um critério de avaliação simultaneamente.

Dessa forma, pode-se observar que há muitos pontos controversos no que tange à definição e utilização dos critérios de avaliação de desempenho dos modelos de previsão de volatilidade. As dúvidas iniciam-se ainda na definição do parâmetro base de comparação (*volatilidade real*), estendendo-se pela validade e pertinência da utilização dos diversos critérios, sejam eles funcionais ou estatísticos. Assim, dado o grau de subjetividade inerente ao processo, cabe ao pesquisador, ponderados os prós e contras de cada critério, optar por aquele(s) que melhor possibilite(m) a consecução dos objetivos propostos no seu estudo.

3 METODOLOGIA

3.1 Introdução

O presente trabalho foi estruturado em duas etapas: prospecção inicial e comparação estatística. A primeira teve como objetivo principal conhecer a realidade prática em que se inseria o contexto da pesquisa, a opinião de intervenientes do processo de negociação no mercado interbancário de câmbio, e o grau de conhecimento e utilização dos modelos de cálculo de volatilidade que serão objeto deste estudo. Para tanto, optou-se por uma abordagem qualitativa, com o uso de entrevistas semi-estruturadas em profundidade.

A segunda etapa concentrou-se no objetivo principal deste trabalho, que é avaliar a capacidade preditiva de modelos da família ARCH – em especial dos modelos GARCH (1,1), EGARCH (1,1) e TARARCH (1,1) – em relação ao modelo EWMA, no cálculo da volatilidade da taxa de câmbio no contexto das transações efetuadas no âmbito da *Clearing* de Câmbio da BM&F. Nesse caso, optou-se por uma abordagem quantitativa, com o uso de dados secundários obtidos junto à referida *Clearing*.

As duas etapas serão descritas em detalhes a seguir. Antes, porém, é importante destacar que a presente pesquisa está inserida em um ambiente repleto de novidades conceituais, como, por exemplo, o novo SPB e a própria *Clearing* de Câmbio, que representa uma novidade em termos nacionais e internacionais. Assim, embora seja uma pesquisa com abordagem predominantemente quantitativa, a etapa qualitativa desempenhou um papel fundamental no entendimento da operacionalização dos negócios no mercado interbancário de câmbio e na fixação de conceitos envolvidos.

3.2 Prospecção inicial

3.2.1 Método e técnica de pesquisa

Segundo Gil (1995, p.39), as pesquisas descritivas

[...] têm como objetivo principal a descrição das características de determinada população ou fenômeno, ou ainda, o estabelecimento de relações entre variáveis. [...]

Algumas pesquisas descritivas vão além da simples identificação da existência de relação entre variáveis, pretendendo determinar a natureza dessa relação. Neste caso tem-se uma pesquisa descritiva que se aproxima da explicativa. Por outro lado, há pesquisas que, embora definidas como descritivas a partir dos seus objetivos, acabam servindo mais para proporcionar uma nova visão do problema, o que as aproxima das pesquisas exploratórias.

Cervo e Bervian (1983, p.56) observam, ainda, que a pesquisa descritiva pode assumir um caráter exploratório quando “têm por objetivo familiarizar-se com o fenômeno ou obter nova percepção do mesmo e descobrir novas idéias”.

Assim, visando melhor conhecer a realidade em que se inseria o contexto da pesquisa, foi efetuada uma etapa preliminar de estudo que envolveu uma pesquisa qualitativa descritiva, na qual se utilizou a técnica de entrevistas semi-estruturadas¹⁰¹ em profundidade, com amostragem intencional.

A dinâmica do processo exigiu que esta pesquisa fosse realizada em três fases, todas realizadas no primeiro semestre de 2003. Em uma primeira fase, foram realizadas entrevistas

¹⁰¹ Segundo Bryman (1992), na entrevista semi-estruturada o pesquisador utiliza um roteiro para determinar os pontos de interesse dentro de um tema predeterminado, bem como a ordem em que os assuntos serão abordados. Tal abordagem permite um melhor aproveitamento do tempo despendido com o entrevistado, embora possa cercear a liberdade de exposição.

com representantes de quatro instituições financeiras¹⁰² pertencentes ao Sistema Financeiro Nacional. As entrevistas, com duração média de 120 minutos, tiveram dois objetivos principais: atualizar o pesquisador nas práticas correntes no mercado interbancário de câmbio e avaliar o conhecimento e a aplicação das metodologias de previsão de volatilidade nos negócios efetuados pelas instituições na *Clearing* de Câmbio da BM&F.

Na segunda fase, foi efetuada visita à *Clearing* de Câmbio da BM&F¹⁰³, na qual foram discutidas as diretrizes gerais do trabalho de pesquisa, colhidas importantes sugestões, acordada a disponibilização dos dados necessários, realizadas entrevistas com os responsáveis pelos diversos setores da *Clearing* de Câmbio e observado o funcionamento da mesma.

Por fim, foram efetuados contatos telefônicos com os analistas do BACEN responsáveis pelo monitoramento da *Clearing* de Câmbio da BM&F. Nas oportunidades, foram discutidas as principais diretrizes da pesquisa, recolhidas informações sobre o processo de acompanhamento da câmara (transações, gerenciamento de risco, participação no mercado, etc) e colhidas importantes sugestões.

3.2.2 Unidade de observação, unidades de análise e amostra

Segundo Gonçalves e Meirelles (2002, p.54), unidades de análise são “entidades que descrevem o contexto onde são localizadas as unidades de observação. As unidades de análise encerram um limite para as conclusões da pesquisa”. Dessa forma, são três as unidades de análise para esta etapa da pesquisa: a) Instituições Financeiras do Sistema Financeiro

¹⁰² Por motivo de sigilo, os nomes das instituições financeiras e dos funcionários entrevistados não serão divulgados. Entretanto, para um melhor esclarecimento, é importante informar que três das instituições são consideradas, pelo critério de ativos, como grandes, e uma é considerada média.

¹⁰³ A *Clearing* de Câmbio da BM&F está sediada no edifício sede da BM&F, situado à Praça Antônio Prado, 48, São Paulo (SP).

Nacional; b) Câmara de Registro, Compensação e Liquidação de Operações de Câmbio BM&F; e c) Banco Central do Brasil.

Também são três as unidades de observação¹⁰⁴ para esta etapa da pesquisa: a) funcionários das Instituições Financeiras que tivessem participação nos comitês de gerenciamento de risco e atuassem diretamente com a *Clearing*; b) funcionários da *Clearing* de Câmbio da BM&F; c) analistas do BACEN que atuassem no acompanhamento e monitoramento das atividades da *Clearing*.

No que tange à amostra, optou-se por uma amostragem intencional, adaptando-se o critério em cada unidade de análise. Para as Instituições Financeiras, foram selecionados os funcionários que obedecessem aos seguintes critérios: a) deveriam operar no mercado de câmbio há mais de 5 anos; b) deveriam operar regularmente com a *Clearing* de Câmbio da BM&F; e c) além de participar de comitês de gerenciamento de risco em suas respectivas alçadas de atuação, os funcionários deveriam deter conhecimento das metodologias de cálculo de volatilidade aplicadas pela instituição. No caso da *Clearing*, como foi possível dedicar todo um dia de trabalho para a entrevista e visita às instalações, foi possível estender a discussão para um grupo maior de pessoas, embora o maior tempo tenha sido despendido com o Analista de Risco da referida câmara. Já para o BACEN, foram contatados os dois analistas que atuavam diretamente no controle e monitoramento da câmara.

¹⁰⁴ Gonçalves e Meirelles (2002, p. 54) definem unidades de observação como “aquelas entidades de um contexto que serão submetidas ao processo de investigação e responderão pelo problema investigado”.

3.2.3 Instrumento de pesquisa

Gonçalves e Meirelles (2002, p. 113) observam que “Embora as entrevistas não forneçam dados diferentes daqueles fornecidos por questionários, têm a vantagem de fornecer aspectos mais descritivos”. Dessa forma, considerando o objetivo de prospecção desta primeira etapa, definiu-se como instrumento de pesquisa apenas um roteiro básico de entrevista, no qual eram listados os principais tópicos a serem abordados.

Ressalte-se que, no intuito de minimizar eventuais constrangimentos por parte dos entrevistados no ato de expressar suas idéias e opiniões, não foram utilizados gravadores. No decorrer da entrevista, o pesquisador anotava as *principais frases e expressões utilizadas* e, sempre que o momento permitia, elaborava uma conclusão que era apresentada ao crivo do entrevistado¹⁰⁵.

3.2.4 Limitações da pesquisa

Segundo Manning (1979), os principais problemas do método qualitativo são relacionados com o uso da linguagem na expressão das idéias e opiniões. Como os argumentos são expressos sob a forma de texto (escrito ou oral), diferenças de estilo, de contexto ou a intenção de atribuir um caráter simbólico particular a um dado signo (expressão, frase ou palavra) podem não ser captados pelo entrevistador. Ademais, é inegável a ocorrência de possíveis erros de interpretação por parte do pesquisador, bem como a impropriedade de eventuais generalizações dos resultados (BRYMAN, 1992).

¹⁰⁵ Por exemplo, utilizaram-se expressões do tipo: “eu poderia dizer que ...”; “seria correto afirmar que ...”, etc.

3.3 Comparação estatística

3.3.1 Método e técnica de pesquisa

Esta etapa da pesquisa pode ser classificada como quantitativa descritiva conclusiva, sendo utilizados dados secundários com vistas a avaliar e comparar a capacidade preditiva de modelos econométricos utilizados na determinação da volatilidade futura no mercado de câmbio. No que tange à análise dos dados, utilizou-se a técnica de pesquisa *ex post facto*, em que se opera sobre fatos já ocorridos no passado. Gil (1995, p.115) postula que as pesquisas “deste tipo são as que no campo econômico mais se aproximam da experimentação. O estímulo não é manipulado livremente pelo pesquisador, mas é de certa forma controlado a partir das informações previamente conhecidas”.

3.3.2 Unidade de observação e unidades de análise

Esta etapa da pesquisa tem a Câmara de Registro, Compensação e Liquidação de Operações de Câmbio BM&F como sua unidade de análise. Já as unidades de observação são:

- a) o valor de fechamento diário da taxa de câmbio real/dólar norte-americano, observado no período de 20/08/2001 a 30/09/2003;
- b) índice diário de variação da taxa de câmbio contratualmente garantido¹⁰⁶ pela *Clearing* no período de 22/04/2002 a 30/09/2003.

¹⁰⁶ Esta unidade de observação reflete *uma margem de segurança* estipulada pela *Clearing* em virtude do comportamento esperado para volatilidade diária da taxa de câmbio. É importante salientar que, além da volatilidade calculada pelo método EWMA, pode ser estabelecido um percentual adicional, baseado na avaliação macroeconômica e de mercado dos integrantes da *Clearing*.

3.3.3 Delineamento da pesquisa

3.3.3.1 Amostra

São duas as bases de dados utilizadas neste estudo. A primeira refere-se às cotações diárias de fechamento ¹⁰⁷ da taxa de câmbio real/dólar norte-americano (R\$/US\$) observadas no período de 20 de agosto de 2001 a 30 de setembro de 2003, num total de 536 observações. Os dados foram fornecidos pela *Clearing* de Câmbio da BM&F¹⁰⁸ e são os mesmos por ela utilizados nas rotinas internas de cálculo de volatilidade. O anexo A reproduz, na íntegra, a referida base de dados.

É importante ressaltar que a utilização de dados no período de 20 de agosto de 2001 a 19 de abril de 2004 se deveu a uma necessidade prática. Conforme observado anteriormente, a *Clearing* adotou o modelo EWMA para o cálculo da volatilidade, seguindo a parametrização sugerida pelo *RiskMetrics*TM, ou seja: janela móvel com 149 observações e fator de decaimento (λ) de 0,94. Assim, para viabilizar o início das atividades da *Clearing* em 22 de abril de 2002, a direção da Câmara decidiu utilizar as taxas de câmbio do período de 20/08/2001 a 19/03/2002 (que perfazem um total de 149 observações) como valores iniciais do modelo. Já o intervalo compreendido entre 20/03/2002 e 19/04/2002 foi utilizado para o acompanhamento do comportamento da volatilidade no período imediatamente anterior ao início das atividades da *Clearing*.

¹⁰⁷ Neste estudo, utilizaram-se apenas os dias úteis de negociação da moeda estadunidense no mercado brasileiro de câmbio. Assim, não houve necessidade do uso de interpolações ou qualquer outro tratamento da espécie nos dados básicos.

¹⁰⁸ Segundo o Analista de Risco da *Clearing*, os dados foram coletados por intermédio de consultas às agências especializadas em informações financeiras, em geral, da agência Bloomberg.

A escolha da data final para a amostra, 30 de setembro de 2003, foi arbitrada pelo pesquisador, não tendo, portanto, nenhum significado especial. A principal motivação para a escolha deve-se às restrições de tempo para a consecução dos testes e análise dos resultados, dentro de um cronograma predefinido para a conclusão da dissertação.

A segunda base de dados refere-se aos índices diários de variação da taxa de câmbio (percentual garantido), estipulados no período de 22 de abril de 2002 a 30 de setembro de 2003, para operações a serem liquidadas em D+1 e D+2. Conforme discutido anteriormente, os índices de variação são determinados pela conjunção de duas análises: a estimação da volatilidade, via modelos econométricos, e a avaliação da conjuntura macroeconômica pelo comitê da Câmara. A parcela estatística do índice segue a abordagem paramétrica sugerida por Jorion (1998) para determinação do *valor em risco* com um nível de confiança de 99%. Ou seja, para operações negociadas pelo prazo de um dia, o desvio-padrão calculado pelo modelo EWMA é multiplicado por 2,33; já para as operações negociadas pelo prazo de dois dias, o desvio-padrão é multiplicado por $2,33 \cdot \sqrt{2}$. Assim, as diferenças entre os valores calculados e os valores estipulados são devidas à parcela subjetiva referente à avaliação macroeconômica. No anexo B estão listados todos os valores que compõem a referida base de dados.

3.3.3.2 Modelagem dos dados

Com base na premissa de log-normalidade dos retornos dos ativos, a série de taxas de câmbio (R\$/US\$) foi transformada por intermédio da equação 34, resultando em uma série de retornos de taxas de câmbio (um total de 535 observações). Dessa forma, a série de retornos

substituiu a série original de cotações de taxas de câmbio como dados de entrada para os testes estatísticos e para os modelos de predição de volatilidade.

$$r_t = 100 \cdot \ln\left(\frac{tc_t}{tc_{t-1}}\right) \quad (\text{Equação 34})$$

em que

- r_t : retorno percentual para o dia “t”;
- tc_t : taxa de câmbio observada no dia “t”; e
- tc_{t-1} : taxa de câmbio observada no dia “t-1”.

No que tange à série de índices diários de variação da taxa de câmbio, não houve necessidade de qualquer transformação, uma vez que eles serão utilizados apenas para analisar o efeito prático que ocorreria no caso de uma substituição do modelo de cálculo de volatilidade utilizado pela Câmara.

3.3.3.3 Estatísticas descritivas e teste de heterocedasticidade

O primeiro passo da investigação empírica foi efetuada por meio de uma análise estatística descritiva da série de retornos da taxa de câmbio. Com vistas a analisar possíveis influências de fatores externos no comportamento dos retornos da taxa de câmbio, os testes foram realizados na série completa e em três subperíodos, cujas motivações e características estão detalhadas no quadro 1.

O segundo passo visa constatar a presença de heterocedasticidade condicional auto-regressiva na série de retornos, pois tal característica é condição fundamental para justificar a aplicação

de modelos da família ARCH. Sobre os mesmos períodos especificados no quadro 1, foi aplicado o teste ARCH-LM (ARCH – *Lagrange Multipliers*). Conforme sugerido por Engle (1982), o teste foi realizado a partir das equações 35 e 36, estimadas pelo método de mínimos quadrados ordinários.

$$r_t = c + \mathbf{e}_t \quad (\text{Equação 35})$$

em que

r_t : retorno percentual para o dia t , calculado na forma da equação 34;

c : constante;

ε_t : resíduo da regressão.

$$\mathbf{e}_t^2 = \mathbf{a}_0 + \mathbf{a}_1 \cdot \mathbf{e}_{t-1}^2 + \mathbf{a}_2 \cdot \mathbf{e}_{t-2}^2 + \dots + \mathbf{a}_p \cdot \mathbf{e}_{t-p}^2 \quad (\text{Equação 36})$$

em que

ε_{t-n}^2 : resíduos quadráticos com defasagem n , em que $n = 0..p$;

α_0 : constante; e

α_p : estimadores para os termos de defasagem p .

Como se pode observar, os resíduos quadráticos de uma regressão da série de retornos sobre uma constante são utilizados na composição de uma equação de regressão de ordem “ p ”¹⁰⁹. Uma vez realizada a regressão, o teste ARCH-LM testa a hipótese nula de que $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_p = 0$, por meio da estatística $N \cdot R^2 \sim \chi^2_{(p)}$ (onde N é o número de observações). Caso a hipótese nula seja rejeitada, pode-se concluir pela presença de heterocedasticidade condicional auto-regressiva.

Quadro 1

Descrição dos períodos utilizados para análise descritiva e de heterocedasticidade da série de retornos

Período	Motivação	Número de Observações
21/08/2001 a 30/09/2003	Obter uma visão geral do comportamento da série de retornos no período completo da amostra	535
21/08/2001 a 19/04/2002	Verificar o comportamento da série no período que antecede o início de operação da <i>Clearing</i> e do novo SPB	170
22/04/2002 a 30/12/2002	Observar o comportamento da série de retornos no período de pré-eleitoral brasileiro, quando se apontava para a vitória da oposição, bem como no período de transição para um novo governo	177
02/01/2003 a 30/09/2003	Observar o comportamento da série de retornos em um período de estabilização de um novo governo, marcado por uma política fiscal e monetária restritiva	188

Fonte – Elaborado pelo autor da dissertação.

3.3.3.4 Definição dos modelos

Foram quatro os modelos de volatilidade escolhidos para essa etapa empírica de comparação da capacidade preditiva: EWMA com uma janela móvel de 149 observações e λ igual a 0,94, em virtude de ser esse o modelo escolhido pela administração da *Clearing* de Câmbio da BM&F; GARCH (1,1); EGARCH (1,1); e TARARCH (1,1).

¹⁰⁹ Para o presente estudo, após uma verificação visual do correlograma dos resíduos, decidiu-se por utilizar $p=4$.

O modelo EWMA foi implementado na sua forma não-recursiva (equação 37), conforme apresentada no documento técnico¹¹⁰ do *RiskMetrics*TM. Os cálculos relativos a esse modelo foram efetuados com o uso da planilha eletrônica Microsoft® Excel 2000, por meio de rotina desenvolvida pelo autor da dissertação.

$$\mathbf{s}_t^2 = (1 - \mathbf{l}) \cdot \sum_{i=1}^{149} \mathbf{l}^{i-1} \cdot r_{t-i}^2 \quad (\text{Equação 37})$$

Antes de definir os modelos da família ARCH, é importante ressaltar que sua utilização exige a definição, em conjunto, de uma equação para a média condicional, uma vez que os erros apurados na equação da média são os insumos necessários à operacionalização dos cálculos da volatilidade condicionada. Alexander (1998) postula que, quanto mais parcimoniosa for a definição da equação da média condicional, melhor será possível avaliar o desempenho do modelo. Dessa forma, neste estudo, foi adotada a equação 35 (regressão do retorno apenas sobre uma constante) como padrão para o cálculo da média condicional em todas as oportunidades em que se fizer necessária.

Definida a equação da média condicional, os erros gerados serviram de insumo para as seguintes parametrizações dos modelos de volatilidade condicionada:

GARCH (1,1) :

$$\mathbf{s}_t^2 = \mathbf{w} + \mathbf{b} \cdot \mathbf{s}_{t-1}^2 + \mathbf{a} \cdot \mathbf{e}_{t-1}^2 \quad (\text{Equação 38})$$

¹¹⁰ *RiskMetrics – technical document* (MORGAN GUARANTY TRUST COMPANY & REUTERS LTD, 1996, p. 94).

EGARCH (1,1)¹¹¹ :

$$\ln s_t^2 = w + b \cdot \ln s_{t-1}^2 + a \cdot \left| \frac{e_{t-1}}{s_{t-1}} \right| + g \cdot \frac{e_{t-1}}{s_{t-1}} \quad (\text{Equação 39})$$

TARCH (1,1) :

$$s_t^2 = w + b \cdot s_{t-1}^2 + a \cdot e_{t-1}^2 + g \cdot e_{t-1}^2 \cdot d_{t-1} \quad (\text{Equação 40})$$

Por fim, todas as estimações dos parâmetros e cálculos dos modelos de volatilidade condicionada foram efetuadas com o auxílio do *software* econométrico Eviews™ (versão 4.0), ressaltando-se que:

- a) os modelos foram estimados pelo método de log máxima verossimilhança, sob a assunção que os resíduos condicionais são normalmente distribuídos;
- b) para minimizar as possibilidades de erros¹¹² oriundos da detecção de máximos locais ao invés de máximos globais da função de log máxima verossimilhança, ajustou-se o critério de convergência do processo iterativo para 10^{-5} , e o número máximo de iterações para 8000;

¹¹¹ Por motivos operacionais, o Eviews™ implementa o modelo de forma distinta da proposta por Nelson (1991). Enquanto Nelson (1991) assume que os resíduos seguem uma distribuição do tipo generalizada, o *software* assume uma distribuição normal. Ademais, o *software* desconsidera o decremento da constante $\sqrt{2/p}$ no termo ARCH, o que se reflete apenas em diferença no valor do intercepto no valor de $a \cdot \sqrt{2/p}$.

¹¹² Uma discussão sobre problemas na estimação de modelos da família ARCH pode ser encontrada em Brooks (2002), páginas 585 a 593.

- c) o algoritmo de otimização escolhido foi BHHH (Berndt-Hall-Hall-Hausman)¹¹³, com o critério de derivativos selecionado para privilegiar a precisão e não a velocidade;
- d) foi utilizada a opção de *backcasting*, segundo sugerido pelo Manual do Usuário de Eviews™¹¹⁴;
- e) as previsões foram efetuadas com a rotina *forecast*, ajustando-se para o método dinâmico.¹¹⁵

3.3.3.5 Medidas de avaliação do desempenho preditivo

O primeiro passo para se avaliar o desempenho de um modelo de predição de volatilidade é determinar o parâmetro base de comparação a ser utilizado. Como a volatilidade não pode ser diretamente observada, faz-se necessária a definição de um processo para se determinar esse parâmetro ou, em outras palavras, para se calcular o que será considerado como a “volatilidade real”. Para este trabalho, como o foco de observação será a previsão da volatilidade diária para um horizonte máximo de dois dias úteis, optou-se pelo procedimento utilizado por Pagan e Schwert (1990), Day e Lewis (1992) e Bertucci (1999), que consiste em calcular a volatilidade instantânea¹¹⁶ por intermédio da seguinte equação:

¹¹³ Conforme sugerido por Greene (1996).

¹¹⁴ *Eviews 4.0 User's Guide*, página 401, disponível em <www.eviews.com> (acessado em 14/07/2003) ou no *compact disc* que acompanha o referido software econométrico.

¹¹⁵ Segundo o manual *Eviews 4.0 User's Guide* (p. 345), o modelo dinâmico é preferível quando se quer a utilização de valores calculados nos passos anteriores em previsões que envolvem mais de um passo a frente.

¹¹⁶ É bem verdade que alternativas são apontadas na literatura, dentre as quais: a) utilização da volatilidade observada no mercado de opções; b) cálculo da volatilidade através de dados de alta frequência intradia; c) volatilidade tomando-se os valores máximos e mínimos intradiários. A primeira alternativa se torna pouco aconselhável na medida em que não se tem um mercado consistente e representativo de opções de câmbio no Brasil. A segunda configurou-se impraticável para esta pesquisa, uma vez que não são disponibilizados dados da espécie nos órgãos consultados (*Clearing* e BACEN). Finalmente, a última alternativa poderia apresentar uma distorção grave, uma vez que valores não ponderados pelo volume de transações podem favorecer indevidamente *outliers*, distorcendo os resultados.

$$S_{it}^2 = (r_t - \bar{r})^2 \quad (\text{Equação 41})$$

em que

- σ_{it}^2 : é a volatilidade instantânea para o dia “t”;
- r_t : é retorno observado no dia “t”; e
- \bar{r} : é o retorno médio observado em cada período da amostra (ou sub-amostra), utilizado para a estimação de parâmetros ou cálculo da previsão da volatilidade.

O segundo passo consiste em estabelecer as medidas de avaliação de desempenho da capacidade preditiva dos modelos. Para tanto, foram escolhidas as seguintes medidas de avaliação: Erro Absoluto Médio – EAM –, Raiz do Erro Quadrático Médio – REQM – e Theil-U, cuja operacionalização será melhor detalhada na subseção seguinte.

3.3.3.6 A descrição do processo

No que tange à capacidade preditiva dos modelos de volatilidade, este estudo empírico restringiu-se a comparações de desempenho *fora da amostra*¹¹⁷, com ênfase nas previsões para D+1 e D+2, seguindo o atual contexto de negociação realizado no âmbito da *Clearing* de Câmbio da BM&F.

Em relação às ponderações de Lopez (2001), levou-se em conta que o tamanho da amostra mínima utilizada neste estudo (149 observações) permite que a distribuição dos erros seja considerada muito próxima da normal, uma vez que a distribuição qui-quadrada aproxima-se rapidamente da distribuição normal com o aumento da amostra.

¹¹⁷ As principais motivações para tal opção já foram previamente discutidas no item 2.3 desta dissertação.

Os cálculos com o modelo EWMA foram realizados sempre com a utilização de uma janela móvel de 149 observações¹¹⁸. Para os modelos da família ARCH, foram empregados dois procedimentos: a utilização de uma janela móvel de 149 observações, visando comparar a capacidade preditiva sob iguais condições fixadas para o modelo EWMA, e a utilização de todas as observações disponíveis até a data imediatamente anterior ao processo de cálculo, buscando-se obter todo o potencial dos modelos auto-regressivos de heterocedasticidade condicional.

A operacionalização dos cálculos de previsão de volatilidade, para o caso em que se utilizou uma janela móvel para todos os modelos, seguiu os seguintes passos:

- a) o período de 21/08/01 a 20/03/2002, correspondendo aos primeiros 149 retornos da série, foi utilizado para o cálculo inicial dos modelos;
- b) como o modelo EWMA não necessita de estimação de parâmetros¹¹⁹, as 149 observações iniciais foram diretamente utilizadas para se calcular a previsão para D+1 (21/03/2002). Entretanto, o referido modelo possibilita apenas a previsão do tipo *um passo a frente*. Assim, seguindo o procedimento adotado pela *Clearing*¹²⁰, o valor da volatilidade atribuído para D+2 (22/03/2002) foi idêntico ao calculado para D+1 ($\sigma^2_{D+2} = \sigma^2_{D+1}$);
- c) para os modelos da família ARCH, a estimação dos parâmetros foi efetuada com os dados da subamostra, gerando-se, a partir daí, as equações que foram utilizadas na previsão da volatilidade. Como os modelos dessa família permitem a projeção para períodos superiores a um dia, foi utilizada a rotina *forecast* do EviewsTM nas previsões para D+1 e D+2;

¹¹⁸ Sugerida pelo documento técnico do *RiskMetrics*TM e adotada pela *Clearing* de Câmbio.

¹¹⁹ Recordando, o único parâmetro necessário é o fator de decaimento exponencial (λ), já predefinido como 0,94.

- d) na segunda iteração, deslocou-se a amostra em um dia útil, retirando-se a observação mais antiga e acrescentando-se uma nova, estabelecendo-se um novo conjunto com 149 observações. Com base nessa *nova amostra*, foram refeitos os passos descritos nos itens *b* e *c*;
- e) esse processo iterativo de retirada da observação mais antiga e inclusão de uma nova repetiu-se até 26/09/2003, dois dias úteis antes do final da amostra;
- f) o resultado final desse procedimento foi uma matriz de oito colunas (previsões para D+1 e D+2 realizadas por cada um dos modelos) e 385 linhas (número total de iterações).

Já os cálculos de predição de volatilidade utilizando-se todas as informações anteriormente disponíveis, efetuados apenas com os modelos ARCH, seguiram o seguinte procedimento:

- a) também nesse caso, o período de 21/08/01 a 20/03/2002, correspondendo aos primeiros 149 retornos da série, foi utilizado para o cálculo inicial dos modelos;
- b) a estimação dos parâmetros foi efetuada com os dados da primeira subamostra (149 observações), gerando-se, a partir daí, as equações que foram utilizadas na predição da volatilidade. Novamente, valeu-se da rotina *forecast* do Eviews™ nas previsões para D+1 (21/03/2002) e D+2 (22/03/2002);
- c) na segunda iteração, acrescentou-se mais um dia à sub-amostra anterior, perfazendo 150 observações. Repetiram-se, então, os procedimentos de estimação de parâmetros e predição de volatilidade para os dois dias úteis seguintes, tal como detalhado no item anterior;

¹²⁰ Ressalte-se que tal procedimento é sugerido pelo próprio documento técnico do *RiskMetrics*™.

- d) esse processo iterativo de inclusão de dias, estimação de parâmetros e cálculo da previsão da volatilidade para os dois dias úteis seguintes só se encerrou quando atingido o dia 26/09/2003, dessa feita, com uma subamostra de 533 observações;
- e) o resultado final desse procedimento foi uma matriz de seis colunas (previsões para D+1 e D+2 realizadas por cada um dos modelos da família ARCH) e 385 linhas (número total de iterações).

Dos dois procedimentos descritos anteriormente¹²¹, obteve-se uma matriz de previsões de volatilidade de 14 colunas e 385 linhas, contendo os dados necessários para se avaliar o desempenho preditivo dos modelos selecionados. Passou-se, então, para o cálculo das medidas de avaliação de desempenho preditivo.

Conforme descrito anteriormente, adotou-se a *volatilidade instantânea* (equação 41) como *proxy* da volatilidade diária. Assim, para o período compreendido entre 21/03/2002 e 30/09/2003, foram calculadas as volatilidades diárias por meio do seguinte procedimento:

- a) definiu-se uma subamostra composta pelos 149 retornos compreendidos entre os dias 22/08/2001 e 21/03/2002;
- b) calculou-se a média aritmética da subamostra, decrementando-a do retorno observado no último dia. Elevou-se ao quadrado o resultado dessa operação para se obter a *volatilidade instantânea* para o último dia da amostra;
- c) deslocou-se a subamostra retirando-se a observação mais antiga e acrescentando-se uma nova, mantendo-se um total de 149 observações;

¹²¹ O anexo C apresenta o programa Eviews™, elaborado pelo autor da dissertação, o qual foi utilizado nos cálculos referentes aos modelos da classe ARCH.

- d) repetiram-se os itens *b* e *c* até o dia 30/09/2003, obtendo-se um vetor composto pelas 386 volatilidades instantâneas do período.

Com base na matriz de previsões de volatilidade e do vetor de *volatilidades instantâneas*, foi possível efetuar a avaliação acerca do desempenho dos modelos na predição por intermédio das seguintes medidas, aplicadas a cada modelo:

a)

$$EAM_{D+1} = \frac{\sum_{n=1}^{385} |s_{in_{D+1}}^2 - s_{pn_{D+1}}^2|}{385} \quad (\text{Equação 42})$$

$$EAM_{D+2} = \frac{\sum_{n=1}^{385} |s_{in_{D+2}}^2 - s_{pn_{D+2}}^2|}{385} \quad (\text{Equação 43})$$

b)

$$REQM_{D+1} = \left[\frac{\sum_{n=1}^{385} (s_{in_{D+1}}^2 - s_{pn_{D+1}}^2)^2}{385} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Equação 44})$$

$$REQM_{D+2} = \left[\frac{\sum_{n=1}^{385} (s_{in_{D+2}}^2 - s_{pn_{D+2}}^2)^2}{385} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Equação 45})$$

c)

$$Theil-U_{D+1} = \frac{\sum_{n=1}^{385} \left(\mathbf{s}_{pn_{D+1}}^2 - \mathbf{s}_{in_{D+1}}^2 \right)^2}{\sum_{n=1}^{385} \left(\mathbf{s}_{RWn_{D+1}}^2 - \mathbf{s}_{in_{D+1}}^2 \right)^2} \quad \text{Equação 46}$$

$$Theil-U_{D+2} = \frac{\sum_{n=1}^{385} \left(\mathbf{s}_{pn_{D+2}}^2 - \mathbf{s}_{in_{D+2}}^2 \right)^2}{\sum_{n=1}^{385} \left(\mathbf{s}_{RWn_{D+2}}^2 - \mathbf{s}_{in_{D+2}}^2 \right)^2} \quad \text{(Equação 47)}$$

em que

EAM_{D+1} : erro absoluto médio nas previsões para D+1;

EAM_{D+2} : erro absoluto médio nas previsões para D+2;

$REQM_{D+1}$: raiz do erro quadrático médio nas previsões para D+1;

$REQM_{D+2}$: raiz do erro quadrático médio nas previsões para D+2;

$Theil-U_{D+1}$: estatística Theil-U referente às previsões para D+1;

$Theil-U_{D+2}$: estatística Theil-U referente às previsões para D+2;

$\mathbf{s}_{in_{D+1}}^2$: *volatilidade instantânea* para a D+1 em relação à observação n ;

$\mathbf{s}_{in_{D+2}}^2$: *volatilidade instantânea* para a D+2 em relação à observação n ;

$\mathbf{s}_{pn_{D+1}}^2$: volatilidade prevista para a D+1 em relação à observação n ;

$\mathbf{s}_{pn_{D+2}}^2$: volatilidade prevista para a D+2 em relação à observação n ;

$S_{RWn_{D+1}}^2$: volatilidade segundo o modelo *random walk* para a D+1, em relação à observação n ;

$S_{RWn_{D+2}}^2$: volatilidade segundo o modelo *random walk* para a D+2, em relação à observação n .

Adicionalmente, como todas as medidas de avaliação escolhidas são simétricas, adotou-se um procedimento adicional de se verificar se algum dos modelos apresentou uma previsão de *volatilidade negativa*¹²², bem como se há a tendência de um modelo efetuar previsões subestimadas ou superestimadas¹²³.

A escolha do modelo *random walk* como *benchmark* na estatística Theil-U obedece à lógica de se selecionar um modelo simples e de aplicação imediata¹²⁴ como a base de comparação entre os modelos concorrentes. Segundo esse modelo, o melhor estimador da volatilidade para $t+1$ é o valor observado em t ; sendo que, para este estudo, considerou-se que o valor observado em t também é o melhor estimador para a volatilidade em $t+2$.

Por fim, comparou-se a representatividade do componente econométrico em relação ao *componente subjetivo*, quando da definição dos índices de variação da taxa de câmbio pela *Clearing*. Esta análise teve dois objetivos principais: avaliar a *participação* dos cálculos

¹²² Trata-se de um problema que pode ocorrer nos modelos da família ARCH quando ocorre má especificação de parâmetros.

¹²³ A verificação da ocorrência de *volatilidades negativas* não necessita de maiores explicações. Já a verificação da tendência das previsões foi efetuada, determinando-se o número de vezes que um modelo superestimou ou subestimou a volatilidade, expressando tal relação na forma percentual.

¹²⁴ Por vezes denominado “modelo ingênuo” (*naive model*, no original).

econométricos na determinação do índice efetivamente aplicado aos contratos e verificar como uma mudança de modelo de previsão de volatilidade alteraria essa *participação*.

Conforme descrito anteriormente, o índice contratual de variação da taxa de câmbio é determinado via composição de dois valores: o *valor em risco*, com um nível de confiança de 99%, calculado com base na volatilidade prevista por um modelo econométrico, e um percentual definido pelo comitê da Câmara, a partir da avaliação da conjuntura macroeconômica. Partindo-se da premissa de que a parcela referente à avaliação econômica é independente do modelo econométrico utilizado, foram calculados os valores dos *componentes subjetivos* pela diferença entre os índices estipulados para os negócios realizados nos prazos de D+1 e D+2 e respectivos *valores em risco*, calculados com o desvio-padrão obtido com o modelo EWMA (atualmente adotado pela Câmara). Expressando matematicamente:

$$I_{est_{D+n}} = I_{eco_{D+n}} + I_{macro_{D+n}} \quad (\text{Equação 48})$$

ou

$$I_{macro_{D+n}} = I_{est_{D+n}} - I_{eco_{D+n}} \quad (\text{Equação 49})$$

em que

$I_{est_{D+n}}$: índice estipulado pela Câmara para D+n, onde n= [1,2];

$I_{eco_{D+n}}$: índice calculado para D+n com base na volatilidade prevista por um modelo econométrico, em que n= [1,2]; e

$I_{macro_{D+n}}$: índice definido pelo comitê da Câmara para D+n com base na avaliação da conjuntura macroeconômica, em que n= [1,2]. O qual, para efeito desta pesquisa, é considerado independente do modelo econométrico utilizado.

Foi possível, então, definir uma medida de representatividade média do componente econométrico em relação ao *componente subjetivo* como:

$$RepM_{D+n} = \frac{\sum_{i=1}^{363} \left(\frac{I_{eco_{D+n}}}{I_{macro_{D+n}}} \right)}{363} \quad (\text{Equação 50})$$

em que

$RepM_{D+n}$ ¹²⁵ : representatividade média do componente econométrico, calculado para D+n, em que n= [1,2].

Assim, procurou-se avaliar os impactos que uma mudança de modelo econométrico poderia acarretar na representatividade média do componente econométrico, calculando-se os novos *valores em risco* para os seguintes modelos: GARCH (1,1), EGARCH (1,1), TARCH (1,1) e *random walk*, e utilizando-se da equação 50 para determinar as eventuais mudanças na representatividade média para cada um dos modelos.

¹²⁵ Os dados referentes às avaliações para D+1 correspondem ao período de 23/04/2002 a 29/09/2003. Já para D+2, correspondem ao período de 24/04/2002 a 30/09/2003. Ambos os períodos contendo 363 observações.

3.3.4 Instrumentos da pesquisa

Para a consecução dos cálculos necessários a esta etapa da pesquisa, bem como para a construção dos gráficos, foram utilizados dois instrumentos de pesquisa: o *software* Econometric Views (Eviews™) versão 4.0 e a planilha eletrônica Microsoft® Excel 2000.

3.3.5 Limitações da pesquisa

Conforme afirma Gil (1995, p.28), o método estatístico

fundamenta-se na aplicação da teoria estatística da probabilidade e constitui importante auxílio para a investigação em ciências sociais. Há que se admitir, porém, que as explicações obtidas mediante a utilização do método estatístico não podem ser consideradas absolutamente verdadeiras, embora dotadas de boa probabilidade de serem.

Mediante a utilização de testes estatísticos, torna-se possível determinar, em termos numéricos, a probabilidade de acerto de determinada conclusão, bem como a margem de erro de um valor obtido. Portanto, o método estatístico passa a caracterizar-se por razoável grau de precisão, o que o torna aceito por parte dos pesquisadores com preocupações de ordem quantitativa.

Além disso, é importante ressaltar que esta pesquisa apresenta dois pontos controversos e que ainda suscitam longas discussões no meio acadêmico: a definição da *volatilidade real* e determinação da medida mais apropriada para a avaliação de desempenho preditivo de modelos de volatilidade. Dessa forma, deve-se levar em conta o caráter probabilístico tanto na análise dos resultados quanto no processo de elaboração das conclusões.

Por fim, o fato de a *Clearing* de Câmbio da BM&F estar operando há pouco mais de um ano – a despeito do sucesso observado em termos de volume de operações e de valores transacionados – é um fator limitante tanto no que se refere à quantidade de dados disponíveis quanto à maturidade operacional.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Prospecção inicial

As entrevistas¹²⁶ realizadas com os representantes das instituições financeiras foram especialmente profícuas no que tange à atualização do pesquisador nas práticas correntes no mercado interbancário de câmbio. Dentre as diversas informações obtidas, merecem especial destaque:

- a) todos os entrevistados afirmaram conhecer os métodos de predição de volatilidade da família ARCH e o modelo EWMA;
- b) todos afirmaram que os seus sistemas de gerenciamento de riscos adotavam o modelo EWMA como base para estimação da volatilidade, sendo que apenas um dos entrevistados declarou que a sua instituição também já estava utilizando modelos da família ARCH, sem, no entanto, saber precisar qual ou por quê;
- c) questionados sobre a preferência pelo modelo EWMA, todos responderam que, nas respectivas opiniões, a razão principal seria “... por se tratar de um padrão de mercado”. Além disso, dois dos entrevistados reforçaram a sua facilidade de implementação;
- d) questionados sobre o uso, preconizado pelo *RiskMetrics*TM, de um mesmo fator de amortização ($\lambda=0,94$) para todos os mercados e/ou países, todos os entrevistados afirmaram *acreditar* que a decisão tenha se baseado em um estudo exaustivo e que, caso não fosse uma boa avaliação, não teria resistido por tanto tempo no mercado;
- e) apenas dois entrevistados souberam afirmar qual método era, na época da entrevista, utilizado pela *Clearing* de Câmbio da BM&F;
- f) todos os entrevistados consideraram que a *Clearing* de Câmbio da BM&F trouxe ganhos expressivos para eles e para o mercado em geral, pretendendo continuar ou aumentar o número de operações com a mesma;
- g) questionados sobre o grau de confiança na metodologia adotada pela *Clearing*, todos os entrevistados afirmaram *acreditar* na expertise da mesma e, por ter sido

considerada sistemicamente importante, *acreditavam* que ela sofra uma atenção especial do BACEN;

- h) os entrevistados consideravam que as garantias exigidas pela *Clearing* eram maiores que o necessário. Entretanto, acreditavam que os níveis se ajustariam com o passar do tempo, sendo natural um início mais conservador.

Além disso, em relação à importância relativa que as metodologias de predição de volatilidade assumem no processo de gerenciamento de risco das instituições pesquisadas, percebeu-se que os modelos de predição de volatilidade, embora considerados *importantes*, carregam uma certa *falta de credibilidade* por parte dos analistas de mercado¹²⁷. Alguns dos comentários efetuados permitem observar, com maior clareza, a postura cética dos entrevistados em relação à confiabilidade dos modelos:

[...] os valores calculados são indicativos importantes, mas são tratados como tal. A palavra final é sempre do comitê. (RELATO – Gerente de Risco de Mercado)

Acredito que nenhuma instituição utiliza apenas o modelo econométrico como base para suas decisões, nem o BACEN! (RELATO – Diretor Executivo de Câmbio)

Eu acho que, no Brasil, existe uma certa “desconfiança” nos resultados dos modelos. Isto pode estar ligado a uma questão cultural ou histórica, [...] você mesmo pode notar que não existem muitos estudos publicados sobre o mercado cambial brasileiro. (RELATO – Gerente de Operações Cambiais)

Existe um histórico de mudanças bruscas, congelamentos, maxidesvalorizações e outros sobressaltos que, acredito eu, faz com que se tenha muito receio em “acreditar” apenas nos números obtidos com os modelos [...], há sempre um

¹²⁶ O anexo D contém o roteiro básico utilizado nas entrevistas.

¹²⁷ O termo *analista de mercado* deve ser entendido, para efeito deste trabalho, como operadores do mercado financeiro que atuam no mercado interbancário de câmbio, principalmente na avaliação e gerenciamento de risco.

componente subjetivo adicional. (RELATO – Gerente de Tesouraria e Risco de Mercado)

Esse aparente *descrédito* nos modelos também foi observado no modo como se definiu o modelo de predição de volatilidade nas instituições pesquisadas. Embora todos os entrevistados fizessem questão de destacar que a utilização de um modelo de previsão de volatilidade era uma *etapa obrigatória* nos procedimentos diários de gerenciamento de risco, nenhuma das instituições efetuou testes de desempenho preditivo para fundamentar sua escolha.

Na visita efetuada à *Clearing* de Câmbio, observou-se que o procedimento adotado para a definição de índices de volatilidade é muito similar ao encontrado nas instituições financeiras pesquisadas. A definição obedece sempre duas etapas: o cálculo da volatilidade por meio de um modelo de predição, cujos passos são minuciosamente detalhados no Manual de Gerenciamento de Risco (BM&F, 2002); e o seu *ajuste* com base em uma análise das economias brasileira e internacional por um comitê interno, cujos critérios não são divulgados. Ademais, também nesse caso não foram efetuados testes de desempenho preditivo antes de se optar pelo modelo EWMA.

Finalmente, nos contatos telefônicos realizados com os analistas do BACEN responsáveis pelo monitoramento da *Clearing* de Câmbio da BM&F, obteve-se a informação de que, dadas as restrições orçamentárias e de pessoal, a discussão sobre o modelo de predição de volatilidade que melhor se adequava ao mercado cambial brasileiro, embora relevante, não havia sido priorizado. Optou-se, numa etapa inicial, por uma abordagem mais ampla, observando-se o desempenho da Câmara via requisição de relatórios e indicadores que permitissem, entre outras coisas, avaliar a qualidade do gerenciamento de risco por ela implementado e sua importância sistêmica.

Sob esse último aspecto, é oportuno analisar alguns indicadores de desempenho operacional disponibilizados pela Câmara em seu *site*¹²⁸, o que será efetuado na seção seguinte.

4.2 Indicadores de desempenho operacional da *Clearing*

No contexto desta pesquisa, dois indicadores de desempenho operacional merecem especial atenção: a participação da Câmara no volume financeiro transacionado no mercado interbancário de câmbio (gráficos 3 e 4) e a suficiência da taxa de garantia estipulada em comparação ao retorno hipotético¹²⁹ (gráficos 5 e 6).

Os gráficos 3 e 4 demonstram que, no período de 24/04/2002 a 03/10/2003, boa parte das transações realizadas no mercado interbancário de câmbio foram negociados no âmbito da Câmara. Pode-se notar que a participação de mercado da *Clearing* nas transações com prazo de liquidação de D+2 (gráfico 4) é claramente superior às transações com prazo de liquidação de D+1 (gráfico 3). Uma das principais razões para isso advém do fato de que operações com prazo de liquidação em D+1, em geral, não envolvem apenas a transação tradicional de moedas, estando vinculadas a outras obrigações ajustadas entre as partes (*barriga de aluguel*¹³⁰, triangulação de operações, etc). Dessa forma, dadas as exigências contratuais e dos

¹²⁸ Todos os dados apresentados podem ser obtidos diretamente do *site* da BM&F (www.bmf.com.br).

¹²⁹ Como a *Clearing* é contraparte central em todas as operações, o risco máximo de exposição da Câmara é o maior risco observado na ponta ganhadora ou na ponta perdedora da negociação. Dessa forma, a Câmara definiu o *retorno hipotético* como o maior retorno que poderia ser obtido caso um negociador vendesse e comprasse nos melhores preços. Expressando matematicamente para D+n:

$$100 \cdot \left[\text{Máx} \left(\frac{\text{TaxaMínima}_{D+n}}{\text{TaxaMáxima}_{D+n-1}}, \frac{\text{TaxaMáxima}_{D+n}}{\text{TaxaMínima}_{D+n-1}} \right) - 1 \right]$$

¹³⁰ A lógica da operação é a seguinte: um banco que necessita de dólares para vender, além do limite definido pelo BACEN, contrata a compra de moeda com outro que tem excesso na sua posição. A transação é realizada em D para liquidação em D+2. Ao mesmo tempo, o banco comprador acerta a venda da mesma quantidade de moeda para o banco vendedor em D+1 para liquidação em D+2. Ou seja: em D+2 não há troca de moeda estrangeira, e o *pagamento do aluguel da posição* se dá pela diferença das taxas de compra e revenda.

custos de transação inerentes aos negócios realizados no âmbito da Câmara, a participação de mercado em transações com prazo de liquidação em D+1 tende a ser pouco expressiva.

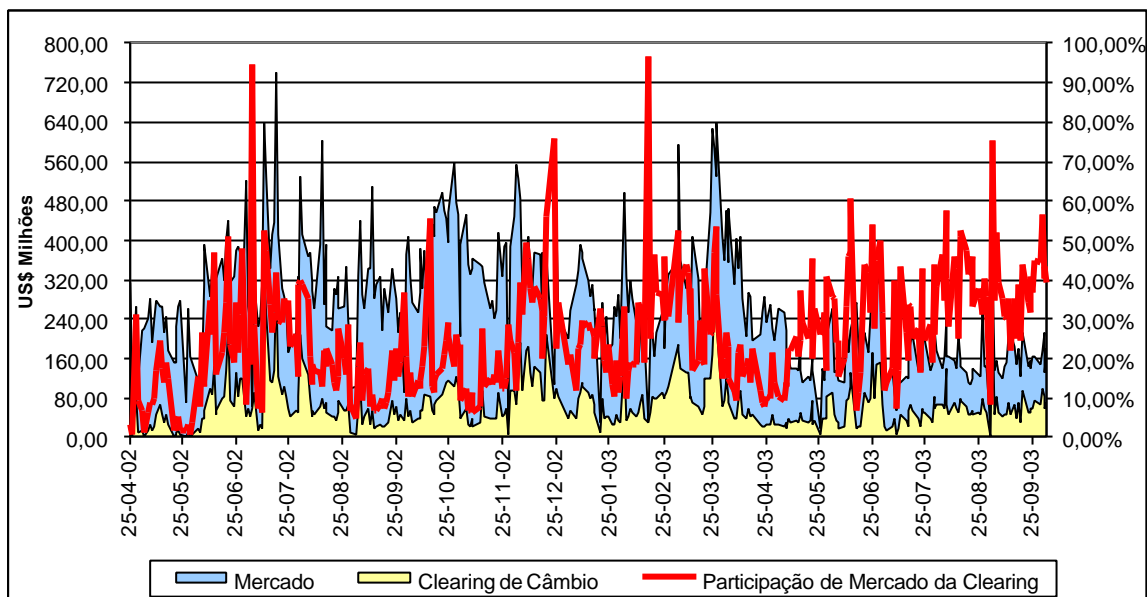


Gráfico 3 – Volume financeiro negociado no mercado interbancário (liquidação em D+1 – dólares norte-americanos) e na *Clearing* de Câmbio da BM&F, no período compreendido entre 22/04/2002 e 03/10/2003

Fonte – BM&F, adaptado pelo autor da dissertação.

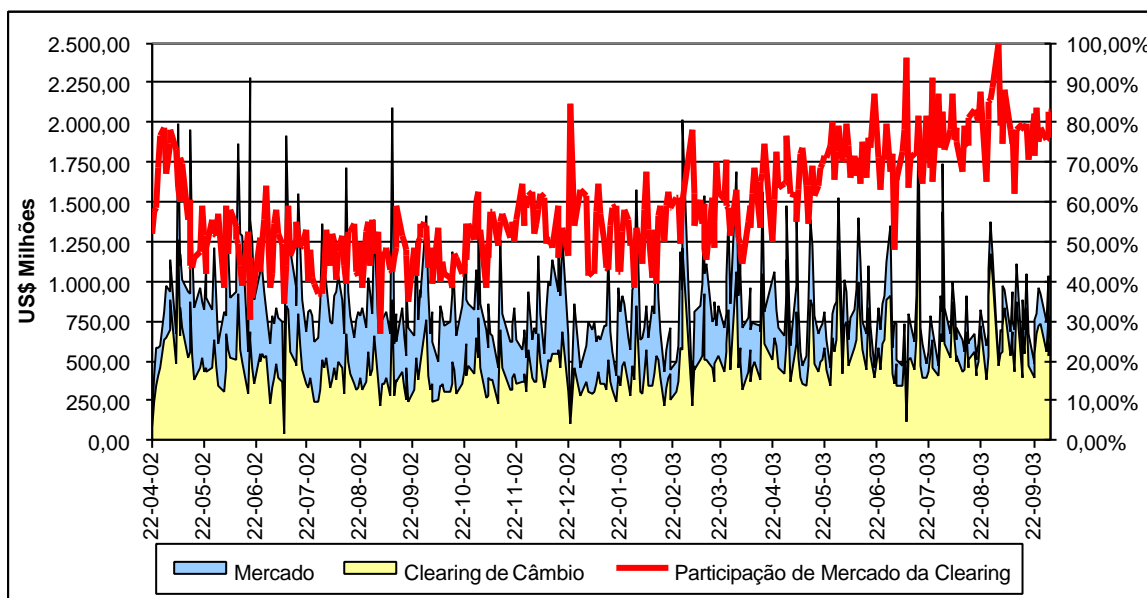


Gráfico 4– Volume financeiro negociado no mercado interbancário (liquidação em D+2 – em dólares norte-americanos) e na *Clearing* de Câmbio da BM&F, no período compreendido entre 22/04/2002 e 03/10/2003

Fonte – BM&F, adaptado pelo autor da dissertação.

Já os gráficos 5 e 6 apresentam uma comparação entre o percentual de garantia definido pela Câmara (BM&F+ e BM&F-), o percentual de garantia calculado com base na predição da volatilidade obtida pelo modelo econométrico (VaR+ e VaR-) e o *retorno hipotético*. A simples observação do comportamento das variáveis no período permite as seguintes considerações:

- a) o período inicial, mais especificamente os seis primeiros meses de operação, é o que apresenta maior concentração de *falhas* – entendido aqui como subestimação do índice – do percentual de garantia estipulado pela Câmara (BM&F±), tanto em relação à volatilidade obtida pelo procedimento econométrico (VaR±) quanto ao retorno hipotético;
- b) aparentemente, o período inicial também é o único em que as elevações apontadas pelo procedimento econométrico influenciaram significativamente o percentual de garantia estipulado pela Câmara. A partir de setembro de 2002, nota-se claramente uma desassociação entre os valores apontados pelos dois procedimentos;
- c) ao contrário do esperado pelos representantes das instituições financeiras pesquisadas, pode-se afirmar que a Câmara vem se tornando mais conservadora com o passar do tempo.

Por fim, é importante ressaltar que deve ser relativizada qualquer comparação do *retorno hipotético* com os demais percentuais, pois a Câmara nunca corre o risco de principal, uma vez que adota o princípio de pagamento contra pagamento; a referida medida não é ponderada por valor e, assim, não se pode avaliar com correção o seu real impacto patrimonial, e o valor do retorno calculado deve ser interpretado como um teste de estresse considerando-se a pior combinação possível de devedores operacionais, o que é uma hipótese pouco provável. Dessa forma, pode-se afirmar que a adoção do *retorno hipotético* como parâmetro base de comparação é uma atitude de extremo conservadorismo, não sendo um comportamento usual no mercado.

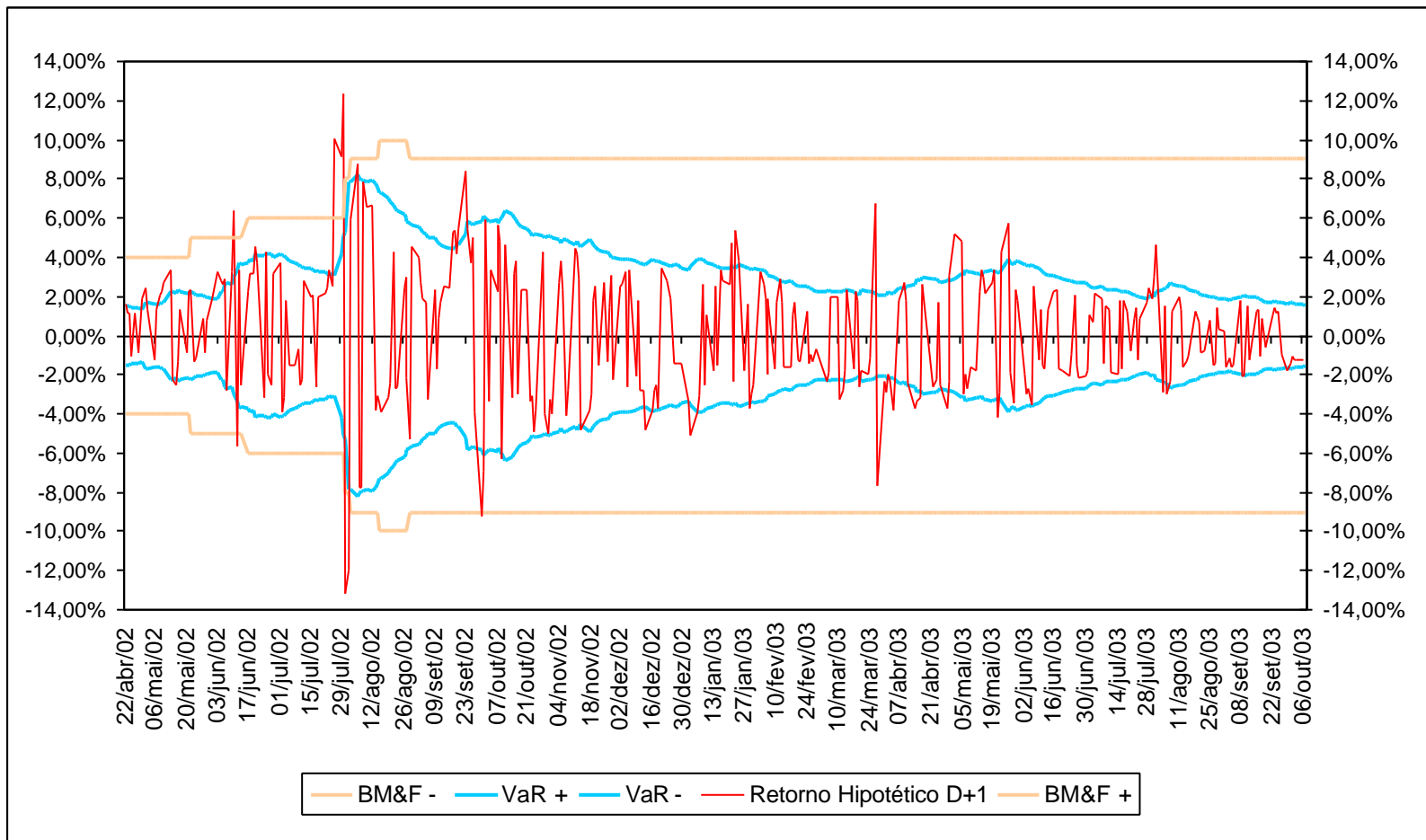


Gráfico 5 – Comparação entre o percentual de garantia definido pela *Clearing* de Câmbio da BM&F (BM&F+ e BM&F-), o percentual calculado com base na predição da volatilidade obtida pelo modelo econométrico (VaR+ e VaR-); e o retorno hipotético calculado. Negócios efetuados para liquidação em D+1, no período compreendido entre 22/04/2002 e 03/10/2003.

Fonte – BM&F, adaptado pelo autor da dissertação.

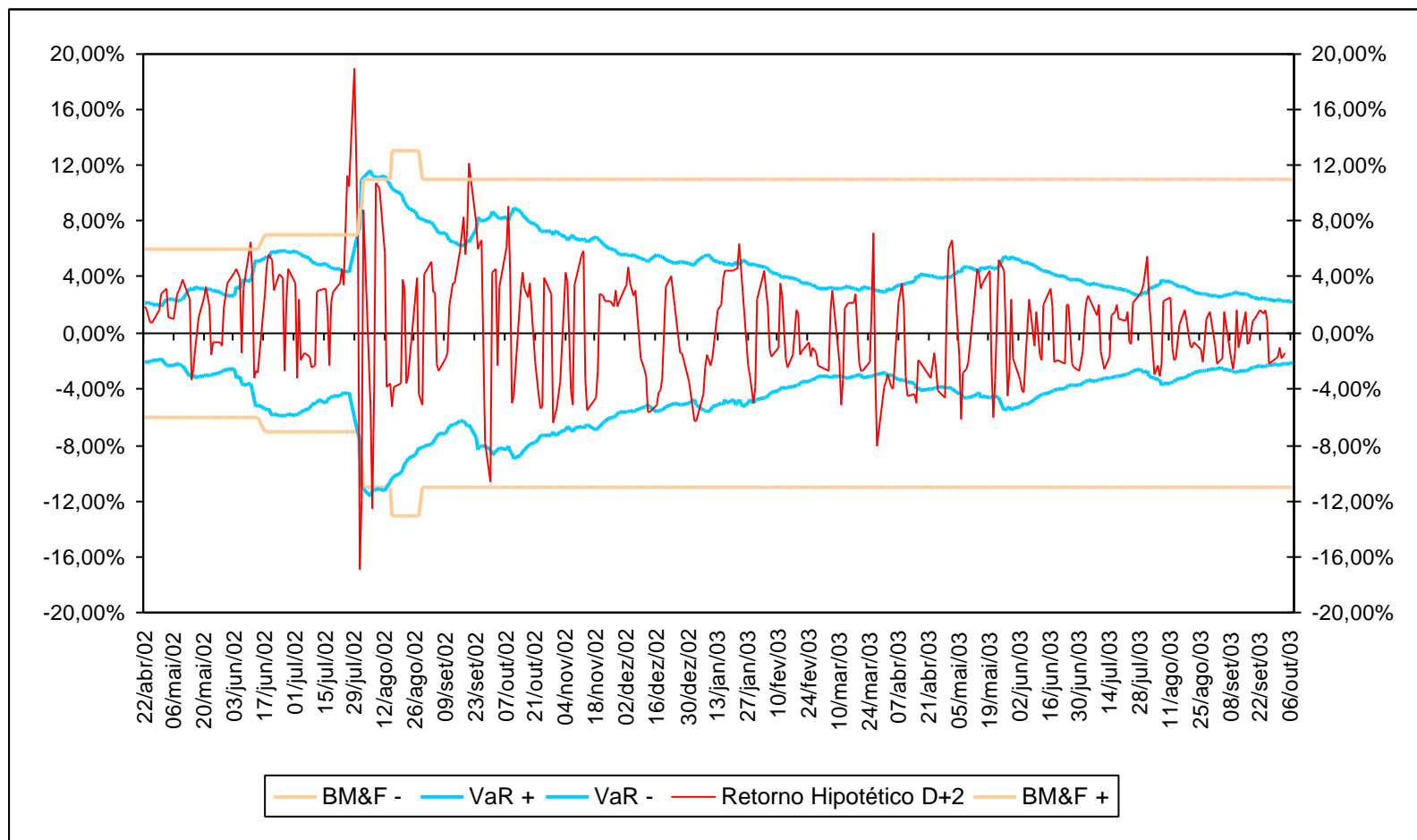


Gráfico 6 – Comparação entre o percentual de garantia definido pela *Clearing* de Câmbio da BM&F (BM&F+ e BM&F-), o percentual calculado com base na predição da volatilidade obtida pelo modelo econométrico (VaR+ e VaR-); e o retorno hipotético calculado. Negócios efetuados para liquidação em D+2, no período compreendido entre 22/04/2002 a 03/10/2003

Fonte – BM&F, adaptado pelo autor da dissertação.

4.3 Características estatísticas da série de retornos

A tabela 4 apresenta os resultados da primeira fase da investigação empírica, na qual se procurou observar as principais características estatísticas da série de retornos da taxa de câmbio. Para tanto, foram calculadas as estatísticas descritivas e efetuados testes ARCH-LM para os três subperíodos anteriormente definidos e para o conjunto de observações da amostra.

Tabela 4
Estatísticas descritivas e testes ARCH-LM para a série de retornos da taxa de câmbio

	21/08/2001 a 30/09/2003	21/08/2001 a 19/04/2002	22/04/2002 a 30/12/2002	02/01/2003 a 30/09/2003
Nro de observações	535	170	177	188
Média	0,025811	0,045752	0,236183	-0,107542
mediana	0,037951	0,018709	0,276148	-0,071683
Desvio-padrão	1,451340	1,001035	2,014266	1,107426
Assimetria	-0,377459	-0,462654	-0,623717	0,132103
Curtose	8,667355	4,516232	6,698982	3,449513
Máximo	5,260739	2,368977	5,260739	3,686976
Mínimo	-10,34356	-4,144737	-10,34356	-3,009965
Jarque-Bera¹³¹	728,6881	22,34901	112,3844	2,129619
p-value	0,000000	0,000014	0,000000	0,344794
ARCH-LM	102,5001	6,879462	24,45136	12,88475
p-value	0,000000	0,229760	0,000178	0,024483

Fonte – Elaborada pelo autor da dissertação.

¹³¹ A estatística Jarque-Bera foi calculada por meio de rotina específica do *software* Eviews™, assumindo-se uma distribuição qui-quadrada de dois graus de liberdade. A expressão matemática da referida estatística é:

$$Jarque - Bera = \frac{N - k}{6} \cdot \left(S^2 + \frac{(K - 3)^2}{4} \right)$$

em que

S : assimetria;

K : curtose;

k : número de coeficientes utilizados para se criar a série;

N : número de observações.

A análise da estatística Jarque-Bera demonstra que, excetuando-se o subperíodo de 02/01/2003 a 30/09/2003, no qual a economia brasileira esteve sob um rigoroso processo de ajuste monetário e fiscal, a hipótese de normalidade dos retornos é fortemente rejeitada. Mesmo no referido subperíodo, a assimetria positiva (indicando uma cauda direita longa) e diferença entre a média e a mediana sugerem a rejeição da hipótese de normalidade, ainda que ao nível de significância de 34,48%. Ademais, pelos valores de curtose apresentados, a função densidade de probabilidade da série é sempre leptocúrtica.

Percebe-se, também, que o período de maior instabilidade é aquele que antecede as eleições majoritárias brasileiras de 2002 e se estende até a posse do novo governo (22/04/2002 a 30/12/2002). Neste período, observa-se o maior desvio-padrão e os valores extremos (máximo e mínimo) de toda a amostra. A razão desse comportamento pode ser atribuída às incertezas econômicas e políticas vivenciadas em virtude da troca de comando no governo e a ascensão, pela primeira vez, de um partido de oposição à Presidência da República.

Já em relação à heterocedasticidade da série, os “*p-values*” observados nas estatísticas ARCH-LM¹³² indicam uma forte presença de auto-correlação dos resíduos quadráticos no conjunto completo da amostra e em dois dos subperíodos. Apenas no subperíodo que antecede a entrada em operação da Câmara (21/08/2001 a 19/04/2002) é que a hipótese de heterocedasticidade teria que ser aceita em um nível de significância um pouco menor, ainda que representativo (grau máximo de certeza de 77,02%). Dessa forma, os testes sugerem a rejeição da hipótese de homocedasticidade na série de retornos da taxa de câmbio no contexto deste trabalho.

¹³² Os testes foram realizados sobre os resíduos gerados a partir da regressão da série de retornos sobre uma constante, utilizando-se o método de mínimos quadrados ordinários. Para maiores detalhes, consultar item 3.3.3.3 desta dissertação.

Além disso, a partir da inspeção visual do gráfico 7, que expressa o comportamento dos retornos diários da taxa de câmbio para todo o período da amostra, pode-se perceber que a série temporal demonstra, ainda, a presença de *clusters de volatilidade* e de um certo grau de assimetria na intensidade das respostas a eventos positivos e negativos. Assim, verifica-se que as características estatísticas da série de retornos da taxa de câmbio avalizam plenamente a utilização de modelos de volatilidade condicionada como os da classe ARCH.

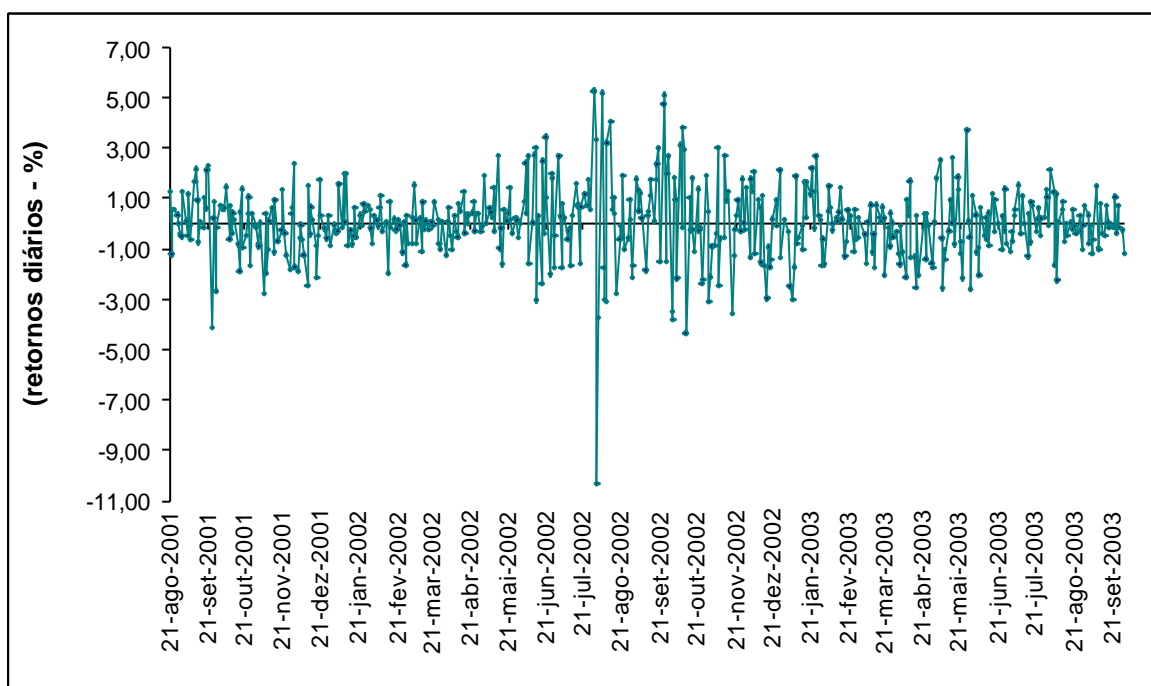


Gráfico 7 – Retornos diários da taxa de câmbio para o período compreendido entre 20/08/2001 e 30/09/2003

Fonte – Elaborado pelo autor da dissertação.

Observa-se, portanto, um certo paradoxo entre as conclusões provenientes das análises estatísticas realizadas nesta seção, que apontam para o uso de modelos da classe ARCH e a preferência expressa nas entrevistas realizadas junto aos representantes das instituições financeiras e da *Clearing* de Câmbio, que, na sua totalidade, adotam o modelo EWMA. Como nenhuma das instituições pesquisadas efetuou testes de desempenho para fundamentar sua

escolha, torna-se ainda mais interessante, sob o ponto de vista da pesquisa, a avaliação empírica da capacidade preditiva dos modelos concorrentes.

4.4 Avaliação da capacidade preditiva

Nesta fase da pesquisa, buscou-se avaliar, empiricamente, a capacidade preditiva dos modelos EWMA, GARCH (1,1), EGARCH (1,1) e TARCH (1,1), quando empregados para prever a volatilidade dos retornos da taxa de câmbio. A descrição pormenorizada dos passos e procedimentos utilizados para tanto já foi apresentada anteriormente, em tópico específico ~~integrantes que integra~~ do capítulo referente à metodologia. Assim, procurar-se-á, na medida do possível, concentrar-se na análise dos resultados obtidos, os quais estão evidenciados na tabela 5¹³³.

Uma primeira análise da referida tabela revela a superioridade dos modelos da família ARCH em relação ao modelo EWMA. Apenas o modelo GARCH (1,1), quando utilizado de forma *restrita* (ou seja, com a parametrização sugerida para o modelo EWMA pelo Manual do *RiskMetrics*TM – janela móvel com 149 observações), apresenta uma capacidade preditiva inferior em todos os critérios. Além da restrição imposta, uma possível hipótese para o fraco desempenho do modelo GARCH é a assimetria dos retornos constatada na seção anterior¹³⁴, a qual não é capturada pelo modelo.

¹³³ Ao leitor interessado, os gráficos 13 a 20, dispostos no anexo E, apresentam, para todo o período da amostra, os valores diários da *volatilidade real* e da volatilidade prevista por cada um dos modelos. Nesse caso, para a facilidade de interpretação e conforto visual, as volatilidades são expressas na forma de desvio-padrão.

¹³⁴ Uma inspeção no valor, sinal e a significância estatística do estimador γ , realizada nas 770 equações calculadas para o modelo TARCH e para o modelo EGARCH, também permite que se conclua pela presença do efeito alavancagem e da assimetria a novas informações, na série de retornos da taxa de câmbio, durante o período de 21/03/2002 a 30/09/2003.

Corroborar essa hipótese a supremacia dos modelos assimétricos (EGARCH e TARCH), segundo todos os critérios e implementações (*restritas* ou não). Observa-se que, para D+1, todos os critérios apontam o modelo TARCH (1,1) como o de melhor desempenho preditivo. Já para D+2, pode-se considerar que há um *empate técnico* entre os modelos TARCH (1,1) e EGARCH (1,1). Segundo o Erro Absoluto Médio – EAM –, o melhor desempenho é do modelo EGARCH. Por sua vez, segundo a Raiz do Erro Quadrático Médio – REQM –, o melhor desempenho é do modelo TARCH. Finalmente, tomando-se por base a estatística Theil-U, a diferença de desempenho não é suficientemente representativa para que se possa concluir sobre a superioridade de um modelo sobre o outro.

Tabela 5

Avaliação da capacidade preditiva dos modelos de previsão da volatilidade dos retornos da taxa de câmbio

	EAM		REQM		THEIL-U	
	D+1	D+2	D+1	D+2	D+1	D+2
EWMA	2,55260 ⁶	2,60278 ⁶	6,58520 ⁶	6,66287 ⁶	0,65176 ⁶	0,77933 ⁶
GARCH (1,1)^R	2,62931 ⁷	2,73502 ⁷	6,80383 ⁷	6,95599 ⁷	0,69576 ⁷	0,84940 ⁷
EGARCH (1,1)^R	2,48910 ⁵	2,46216 ⁴	6,39852 ³	6,42080 ³	0,61533 ³	0,72373 ³
TARCH (1,1)^R	2,43334 ³	2,45451 ³	6,45961 ⁵	6,57012 ⁵	0,62714 ⁵	0,75778 ⁵
GARCH (1,1)	2,46712 ⁴	2,50530 ⁵	6,42875 ⁴	6,47017 ⁴	0,62116 ⁴	0,73490 ⁴
EGARCH(1,1)	2,37078 ²	2,35160 ¹	6,31596 ²	6,37893 ²	0,59956 ²	0,71432 ¹
TARCH (1,1)	2,35398 ¹	2,35752 ²	6,08069 ¹	6,14758 ¹	0,55572 ¹	0,71825 ²

(a) O subscrito “R” indica que o modelo foi calculado de forma “restrita”, ou seja, seguindo o mesmo procedimento aplicado ao modelo EWMA (janela móvel com 149 observações).

(b) Recordando, definiu-se como *benchmark* para a estatística Theil-U o modelo “*random walk*”.

(c) Os subscritos numéricos nos valores das estatísticas indicam a ordem de classificação do modelo por coluna, sendo atribuído o valor “1” para o melhor desempenho e “7” para o pior.

Fonte – Elaborada pelo autor da dissertação.

É importante observar que a estatística Theil-U proporciona, adicionalmente, uma comparação entre os modelos pesquisados e o modelo escolhido como *benchmark*, nesse caso, o *Random Walk* – RW. Por construção, o valor da estatística tem o seu limite inferior igual a zero (caso em que o modelo em teste apresenta todas as previsões corretas), sendo, para o modelo escolhido como *benchmark*, sempre igual a um. Dessa forma, pode-se verificar que todos os demais modelos apresentam um desempenho superior ao modelo RW, uma vez que as respectivas estatísticas Theil-U são sempre menores que a unidade. Entretanto, deve-se destacar que a diferença de desempenho para D+2 decresce substancialmente em comparação aos resultados observados para D+1.

A tabela 5 permite, ainda, uma análise específica em relação aos três modelos da classe ARCH. Comparando-se o desempenho preditivo quando se emprega um número restrito de observações (149 neste caso) e quando são utilizadas todas as informações anteriormente disponíveis, verifica-se que todos os modelos se beneficiam com o aumento do número de observações utilizadas para a determinação de seus estimadores. Assim, as evidências empíricas apontam para a impropriedade de implementar restrições ao número de observações para o caso em que se optar pela utilização dos referidos modelos.

Por fim, devido ao fato de todos os critérios de avaliação de desempenho utilizados serem simétricos, fazem-se necessárias duas verificações adicionais – em relação às previsões de volatilidade ponto a ponto – de forma a melhor validar os resultados obtidos: a ocorrência de *volatilidades negativas* e a presença de viés de estimação.

Em primeiro lugar, testou-se se os modelos GARCH e TARARCH apresentaram alguma previsão de “volatilidade negativa”, uma vez que, dentre os modelos concorrentes, apenas estes permitiriam ocorrências dessa espécie. Como não foi constatada nenhuma falha nesse sentido,

não há, sob esse aspecto, qualquer objeção em relação aos resultados obtidos pelos critérios de avaliação.

Já no que tange à presença de viés de predição¹³⁵, todos os modelos revelaram uma tendência a superestimar a volatilidade futura, conforme pode ser observado na tabela 6. Como os valores observados para todos os modelos não apresentam diferenças significativas que denotem um melhor desempenho de um dos modelos em relação aos demais, também, sob este aspecto, não se podem oferecer objeções em relação aos resultados obtidos pelos critérios de avaliação.

Tabela 6
Resumo do comportamento dos modelos quanto ao viés de predição

		EWMA	GARCH	EGARCH	TARCH
Percentual de vezes que a volatilidade prevista foi maior que a volatilidade real	D+1	68,05%	68,05%	65,97%	66,75%
	D+2	68,31%	67,79%	67,27%	67,53%

Fonte – Elaborada pelo autor da dissertação.

Em resumo, os resultados até aqui evidenciados indicam que todos os modelos pesquisados tendem a superestimar a volatilidade futura, sendo que os da família ARCH apresentam, no contexto desta pesquisa, um desempenho preditivo superior ao modelo EWMA. Ademais, analisando-se em conjunto os resultados para D+1 e D+2, conclui-se, também, pela superioridade dos modelos assimétricos – em especial do modelo TARCH (1,1) – na tarefa de prever a volatilidade dos retornos da taxa de câmbio.

¹³⁵ A determinação da presença de viés baseou-se na comparação, observação por observação, do sinal da diferença entre a *volatilidade real* e a volatilidade predita.

Entretanto, as seções anteriores demonstraram que os cálculos econométricos representam apenas uma parte na definição da volatilidade futura por parte da *Clearing* de Câmbio. Assim, sob o ponto de vista operacional, cabe avaliar o peso relativo do modelo econométrico na definição do percentual de variação da taxa de câmbio contratualmente garantido pela Câmara, bem como o impacto que uma eventual alteração do modelo de previsão de volatilidade poderia acarretar nessa definição.

4.5 Representatividade do modelo econométrico no contexto operacional da *Clearing* de Câmbio

Conforme descrito anteriormente, o percentual de variação da taxa de câmbio estipulado pela Câmara (I_{est}) é obtido a partir de uma composição de dois valores: uma avaliação macroeconômica (I_{macro}) e um *índice econométrico* (I_{eco}), cujo valor é calculado a partir da volatilidade prevista por um modelo econométrico. Partindo-se da premissa de que a parcela referente à avaliação macroeconômica é independente do modelo econométrico utilizado, os valores referentes aos índices macroeconômicos foram obtidos pela simples diferença entre os índices estipulados pela Câmara e os índices calculados com base na volatilidade prevista pelo modelo EWMA¹³⁶. Expressando matematicamente¹³⁷ a relação entre as variáveis:

$$I_{macro}_{D+n} = I_{est}_{D+n} - I_{eco}_{D+n} \quad (\text{Equação 49})$$

em que

¹³⁶ Para a determinação dos *índices econométricos*, a Câmara adota um procedimento similar ao sugerido pelo manual do *RiskMetrics*TM para calcular o *valor em risco* em uma operação. Dessa forma, calcula-se uma previsão para o desvio-padrão futuro dos retornos, aplicando, sobre o mesmo, um fator de multiplicação relativo ao nível de confiança desejado.

¹³⁷ Para um melhor entendimento, optou-se por reproduzir a equação anteriormente apresentada no capítulo referente à metodologia.

- $I_{est_{D+n}}$: índice estipulado pela Câmara para $D+n$, em que $n= [1,2]$;
- $I_{eco_{D+n}}$: índice calculado para $D+n$ com base na volatilidade prevista por um modelo econométrico, em que $n= [1,2]$; e
- $I_{macro_{D+n}}$: índice definido pelo comitê da Câmara para $D+n$ com base na avaliação da conjuntura macroeconômica nacional e internacional, em que $n= [1,2]$. Para efeito desta pesquisa, este índice é considerado independente do modelo econométrico utilizado.

Assim, como uma modificação no modelo de previsão de volatilidade utilizado pela Câmara alteraria apenas a parcela referente ao cálculo do *índice econométrico*, foram calculados os novos valores para o referido índice com base nas previsões de volatilidade realizadas por cada um dos seguintes modelos concorrentes¹³⁸: *random walk*, GARCH (1,1), EGARCH (1,1) e TARCH (1,1). Para tanto, utilizou-se o procedimento descrito a seguir:

- a) para todos os modelos, os valores para $D+1$ foram determinados multiplicando-se por 2,33¹³⁹ a raiz quadrada da variância prevista para um dia, ou seja:

$$I_{eco_{D+1}} = 2,33 \cdot \sqrt{s^2_{D+1}}$$

- b) para os modelos da família ARCH, os valores para $D+2$ foram determinados multiplicando-se por 2,33 a raiz quadrada da soma das variâncias previstas para $D+1$ e $D+2$, ou seja:

$$I_{eco_{D+2}} = 2,33 \cdot \sqrt{s^2_{D+1} + s^2_{D+2}}$$

¹³⁸ O modelo *random walk* foi escolhido para compor esta análise por representar um contraponto aos modelos mais elaborados. No que tange aos modelos da família ARCH, as configurações aqui utilizadas adotam, para o cálculo dos estimadores, todas as informações anteriormente disponíveis, uma vez que a imposição de eventuais restrições ao número de observações se mostrou prejudicial ao desempenho preditivo dos modelos.

¹³⁹ Abordagem paramétrica, sugerida por Jorion (1998) e aplicada pela Câmara para determinação do *valor em risco* com um nível de confiança de 99%.

- c) já para o modelo *random walk*, os valores para D+2 foram determinados multiplicando-se a raiz quadrada do dobro da variância de D+1 por 2,33, seguindo-se a mesma abordagem empregada para o modelo EWMA, ou seja:

$$I_{eco_{D+1}} = 2,33 \cdot \sqrt{2 \cdot s^2_{D+1}}$$

Uma vez levantados todos os dados necessários, procurou-se avaliar a relação existente entre os índices determinados pela análise macroeconômica (*avaliação subjetiva*) e os calculados por intermédio dos modelos econométricos (*avaliação objetiva*). Definiu-se, então, uma medida de representatividade média do componente econométrico em relação ao *componente subjetivo* como:

$$Re\ pM_{D+n} = \frac{\sum_{i=1}^{363} \left(\frac{I_{eco_{D+n}}}{I_{macro_{D+n}}} \right)}{363} \quad (\text{Equação 50})$$

em que

RepM_{D+n} : representatividade média do componente econométrico em relação ao valor estipulado pela análise macroeconômica, calculado para D+n, em que n= [1,2].

Antes de apresentar os dados referentes à representação média, é importante salientar que alguns resultados obtidos para o índice macroeconômico contrariam a lógica construída até o presente momento. Nos dias 30/07/2002, 01/08/2002, 02/08/2002, 05/08/2002, 06/08/2002, 07/08/2002, 08/08/2002, 09/08/2002 e 12/08/2002, os índices macroeconômicos para D+2, calculados com base na equação 49, apresentaram valores negativos. Ou seja, nestes dias os valores estipulados pela *Clearing* (I_{est}) foram inferiores aos valores definidos pelos procedimentos econométricos.

Uma inspeção mais detalhada nesse período revela ainda algumas características interessantes. Em primeiro lugar, o intervalo compreendido entre 29/07/2002 e 14/08/2002 é exatamente o que apresenta a maior volatilidade de toda a amostra. Em segundo lugar, os índices macroeconômicos calculados para D+2 permaneceriam negativos caso se utilizasse qualquer um dos modelos de previsão de volatilidade analisados no contexto desta pesquisa. Por fim, embora os índices macroeconômicos calculados para D+1 não apresentem valores negativos, o referido período pode ser considerado como o mais atípico de toda a amostra.

Dessa forma, para efeito de comparação, optou-se por calcular a representatividade média utilizando-se três procedimentos: com todos os valores, retirando-se os valores negativos, e retirando-se as observações do período de 29/07/2002 a 14/08/2002¹⁴⁰. Os resultados obtidos estão apresentados na tabela 7.

Tabela 7
Representatividades médias dos modelos econométricos

	RepM		RepM ^(a)	RepM ^(b)	
	(todos os valores)		(sem valores negativos)	(valores atípicos expurgados)	
	D+1	D+2	D+2	D+1	D+2
EWMA	1,13	0,81	2,00	0,84	1,24
GARCH (1,1)	0,89	0,91	1,37	0,79	1,12
EGARCH (1,1)	0,90	0,71	1,34	0,75	1,05
TARCH (1,1)	0,91	0,79	1,34	0,77	1,09
Random Walk	1,20	-0,16	1,18	0,65	0,98

¹⁴⁰ É fato bem documentado a influência de valores extremos (*outliers*) no cálculo das médias aritméticas. Assim, optou-se por retirar esse período do cálculo por conter o maior número de ocorrências da espécie. Ressalte-se, entretanto, que por se referir ao período de maior volatilidade da amostra – conforme pode ser observado por meio de uma inspeção visual no gráfico 7 (pág. 128) – merecerá melhor detalhamento na análise do comportamento diário dos índices, efetuado a seguir.

- (a) Como o índice macroeconômico calculado com base na equação 49 só apresenta valores negativos para D+2, não foram reproduzidos os valores referentes a D+1, os quais são idênticos aos expostos na primeira coluna de resultados.
- (b) Para as duas últimas colunas, utilizadas como base para a análise da representatividade média, foram expurgados do cálculo os valores observados entre 29/07/2002 e 14/08/2002. Conforme exposto no texto, trata-se do período em que se concentram os valores atípicos de I_{macro} e, por conseguinte, de RepM.

Fonte – Elaborada pelo autor da dissertação.

Verifica-se, pela discrepância entre os valores calculados para D+2 quando se utilizam todos os valores e quando são expurgados os valores negativos, que estes últimos tendem a distorcer, em alto grau, o cálculo da representatividade média. De forma similar, são observadas distorções nos valores para D+1, notadamente em razão dos valores atípicos dos índices macroeconômicos calculados no período de 29/07/2002 a 14/08/2002. Assim, buscando-se uma uniformidade de tratamento e a eliminação das distorções, serão considerados apenas os resultados apresentados nas duas últimas colunas.

Analisando-se a representatividade média do componente econométrico para D+1, observa-se que o seu valor é sempre menor que um, independentemente do modelo de predição de volatilidade empregado. Dessa forma, conclui-se que o valor do componente econométrico (*avaliação objetiva*) é, em média, inferior ao valor definido por meio da análise do cenário macroeconômico (*avaliação subjetiva*). Em termos práticos, pode-se dizer que, sob a ótica do comitê que estipula o valor do índice de variação da taxa de câmbio contratualmente garantido (I_{est}), os valores oriundos dos cálculos econométricos subestimam a volatilidade futura.

No que tange à representatividade média calculada para D+2, verifica-se que seu valor é maior que a unidade para todos os modelos, excetuando-se para o modelo *random walk* (RepM=0,98). Observa-se, assim, uma sensível melhora na representatividade média do componente econométrico. Entretanto, nota-se que, mesmo nesse caso, é muito significativa¹⁴¹ a parcela relativa à análise do cenário macroeconômico (*avaliação subjetiva*). Portanto, as evidências sugerem que, também para D+2, o comitê que estipula o índice de variação da taxa de câmbio contratualmente garantido (I_{est}) considera que os cálculos econométricos subestimam a volatilidade futura.

Esta análise não ficaria completa caso não se observasse, também, o comportamento diário dos diversos índices aqui referenciados, no período compreendido entre 22/04/2002 e 26/09/2003. Assim, os gráficos 8 a 12 apresentam, para cada um dos modelos de predição de volatilidade, os valores calculados para o *índice econométrico* (I_{eco}), os valores teóricos definidos para o *índice macroeconômico* (I_{macro}) e os valores estipulados pelo comitê da Câmara para o índice de variação da taxa de câmbio contratualmente garantido (I_{est}). Lembrando que, por definição, os valores do I_{macro} e I_{est} permanecem os mesmos, independentemente do modelo de predição de volatilidade adotado para o cálculo do I_{eco} .

Em primeiro lugar, é evidente que existem componentes adicionais, de caráter mercadológico e negocial, que influenciam na definição do índice de variação da taxa de câmbio a ser adotado para uma determinada data. Assim, é perfeitamente compreensível que não sejam utilizados valores fracionários, bem como haja uma certa relutância em se alterar, com grande frequência, os valores estipulados. Portanto, buscou-se identificar, por meio da análise gráfica, evidências que possam indicar qual das avaliações (*subjetiva* ou *objetiva*) é

¹⁴¹ Por exemplo, para o modelo EWMA (RepM=1,24), caso o componente econométrico fosse calculado em 5.54%, o valor definido pela análise macroeconômica seria, em média, 4,47% ($I_{eco}/1,24$). Ou seja, o índice

preponderante no processo e, concomitantemente, avaliar qual impacto esperado caso se decida por uma alteração no modelo de predição da volatilidade adotado pela Câmara.

Nesse sentido, verifica-se que o modelo *random walk*, além de exibir o pior desempenho preditivo em relação a todos os demais modelos (conforme demonstrado pela estatística Theil-U, tabela 5 da seção anterior), apresenta um comportamento por demais errático para que seu uso pudesse ser considerado no âmbito da *Clearing*. Dessa forma, os resultados obtidos sugerem que o modelo não se configura como uma alternativa viável ao modelo EWMA, atualmente adotado pela Câmara.

O comportamento dos índices para os demais modelos é muito similar, podendo ser identificadas três fases distintas: o subperíodo compreendido entre 22/04/2002 e 26/07/2002, representando o início das atividades da *Clearing*; o subperíodo compreendido entre 29/07/2002 e 22/10/2002, que concentra os maiores valores calculados para o I_{eco} e o subperíodo compreendido entre 23/10/2002 a 26/09/2003, correspondendo ao final da amostra.

Na primeira fase, para todos os modelos, nota-se um certo equilíbrio entre a representatividade da parcela subjetiva (I_{macro}) e a parcela objetiva (I_{eco}). Percebe-se, também, uma tendência, tanto para D+1 quanto para D+2, que as elevações no índice econométrico sejam acompanhadas por elevações no índice estipulado pela Câmara. Em relação aos impactos esperados caso a Câmara optasse pela substituição do modelo EWMA, verifica-se que, para D+1, os valores calculados para I_{eco} pelos demais modelos não ensejariam mudanças no I_{est} . Já para D+2, os modelos da família ARCH apontam para uma elevação no valor do I_{est} .

estipulado pela Câmara seria de 10,01%.

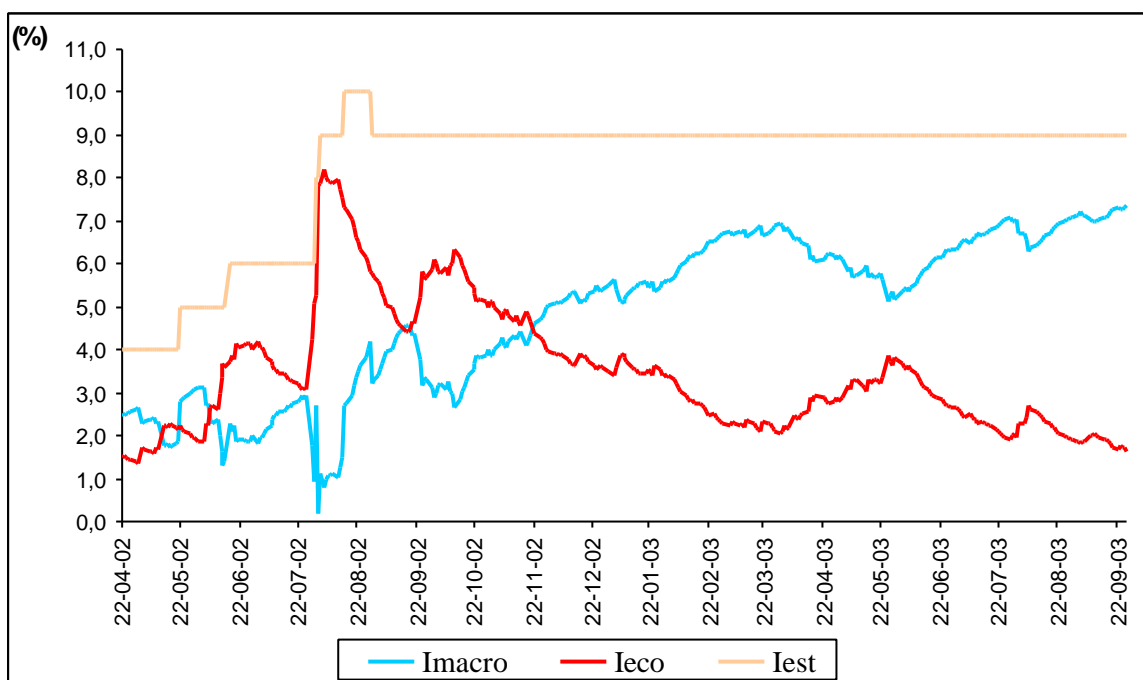
A segunda fase é a que apresenta a maior dissonância entre as avaliações *objetivas* e *subjetivas*. Logo no início, enquanto todos os modelos econométricos sinalizam para um aumento substancial nos valores do I_{est} , a avaliação subjetiva parece considerar tal aumento por demais exagerado. Assim, verifica-se, principalmente para D+2, que os valores estipulados ficam aquém – em maior ou menor grau dependendo do modelo – dos valores indicados pela avaliação objetiva. No que tange aos impactos esperados em razão da substituição de modelos, os da família ARCH apontam, com mais intensidade que o modelo EWMA, para a necessidade de elevação do valor I_{est} , o que, de alguma forma, poderia sensibilizar o comitê da *Clearing*.

A última fase é marcada pelo predomínio crescente da *avaliação subjetiva* em relação à “avaliação objetiva”, na medida em que se aproxima do final da amostra. Enquanto todos os modelos econométricos apresentam uma tendência decrescente para os valores do I_{eco} , o valor do I_{est} se mantém constante, seja para D+1 ou D+2. Nesta fase, dada a diferença entre os valores calculados para o I_{eco} e os valores definidos pela Câmara, não há razão para se supor que uma mudança no modelo econométrico utilizado causaria algum impacto no I_{est} .

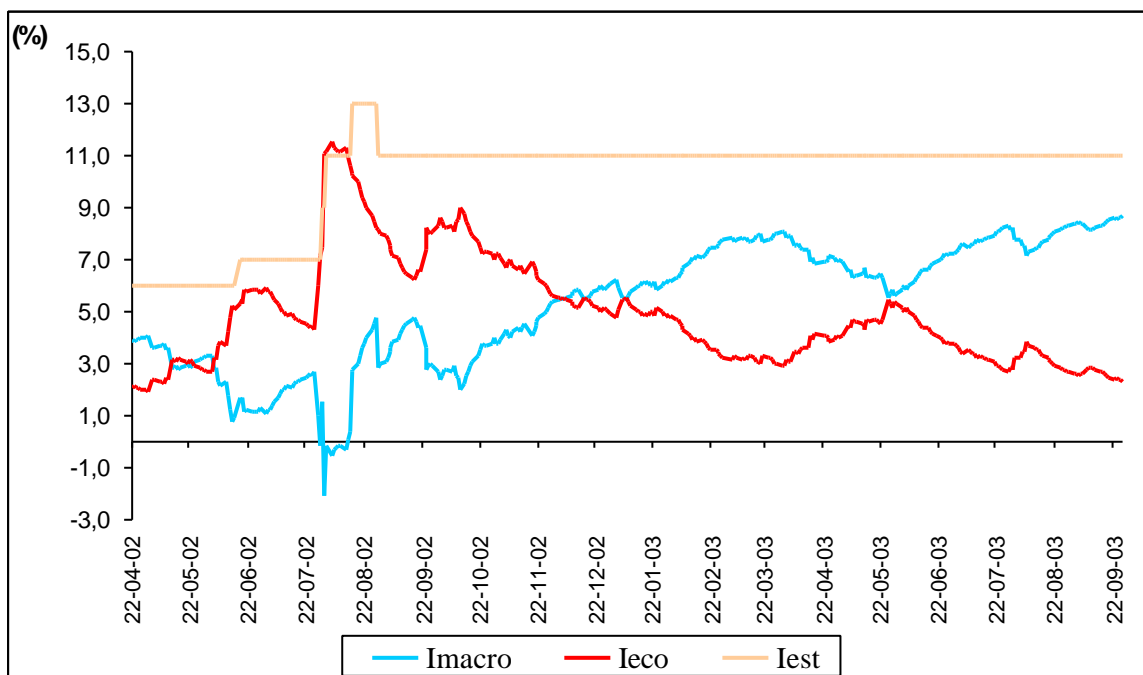
Em resumo, considerando que o índice econométrico é calculado segundo procedimentos estatísticos que, a princípio, predizem a variação da taxa de câmbio em um nível de confiança de 99%¹⁴², a tendência observada de distanciamento progressivo entre o índice de variação da taxa de câmbio estipulado pela Câmara e o apontado pelo método econométrico sugere um excesso de conservadorismo ou um relativo descrédito nos procedimentos estatísticos

¹⁴² Caso o leitor deseje avaliar visualmente a *suficiência* do procedimento estatístico proposto, os gráficos 21, 23, 25 e 27, dispostos no anexo F, apresentam, para todo o período da amostra, os valores diários da *volatilidade real*, expressos na forma de desvio-padrão, e os valores dos índices econométricos calculados com base na volatilidade prevista para D+1, por cada um dos modelos analisados. Também no anexo F, os gráficos 22, 24, 26 e 28 apresentam a *volatilidade real acumulada em dois dias*, expressa na forma de desvio-padrão, e os respectivos índices econométricos, calculados com base nas volatilidades previstas por cada um dos modelos analisados, para o mesmo período.

adotados. Dessa forma, pode-se concluir que, mantida essa tendência, nenhum efeito prático deve ser esperado de uma eventual substituição do modelo EWMA por qualquer dos modelos concorrentes.



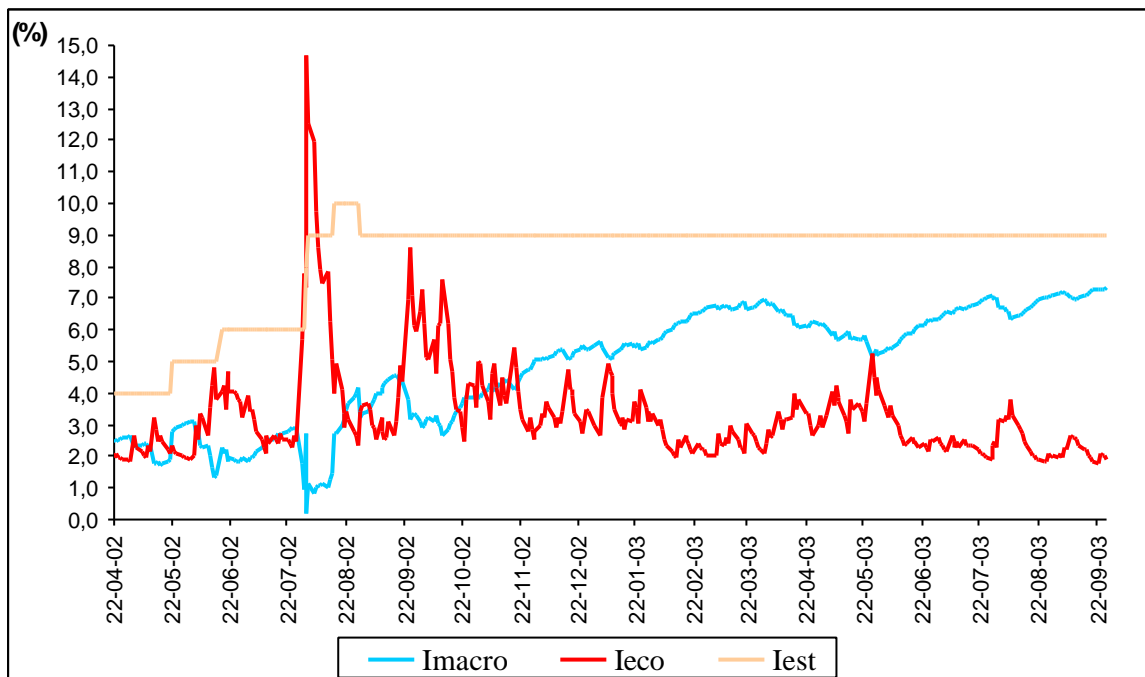
(a) D+1



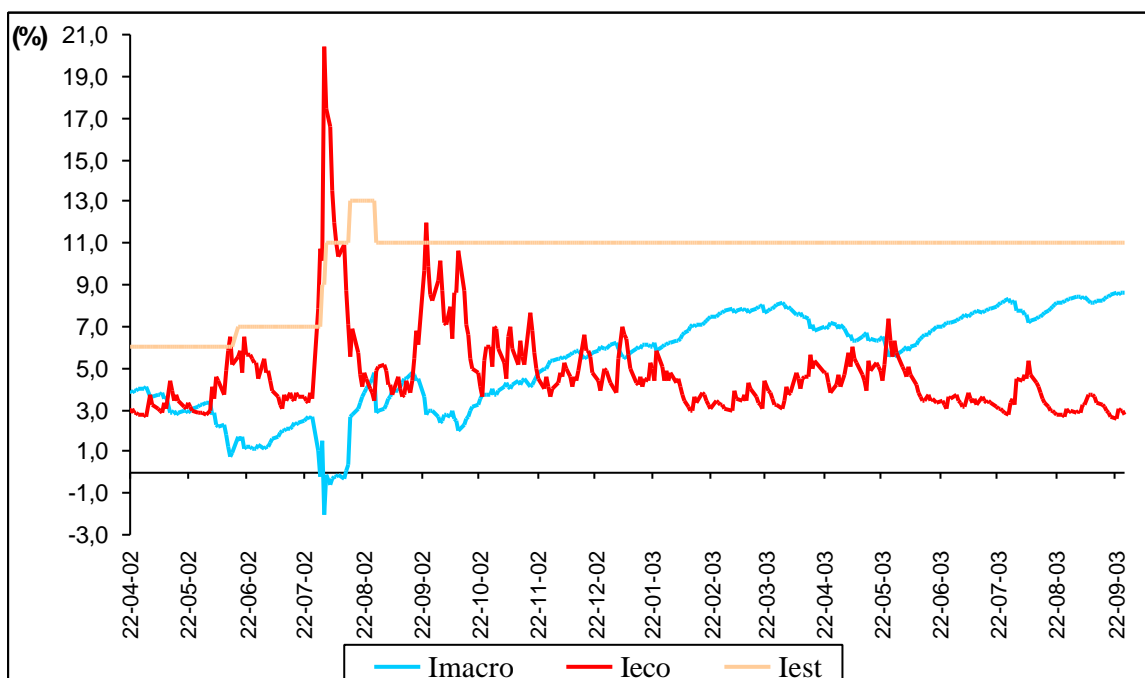
(b) D+2

Gráfico 8 – Comportamento diário do *índice econômico* (I_{eco}), calculado com base nas volatilidades previstas pelo modelo EWMA –, do *índice macroeconômico* (I_{macro}) e do índice de variação da taxa de câmbio contratualmente garantido (I_{est}); para D+1 (a) e D+2 (b)

Fonte – Elaborado pelo autor da dissertação.



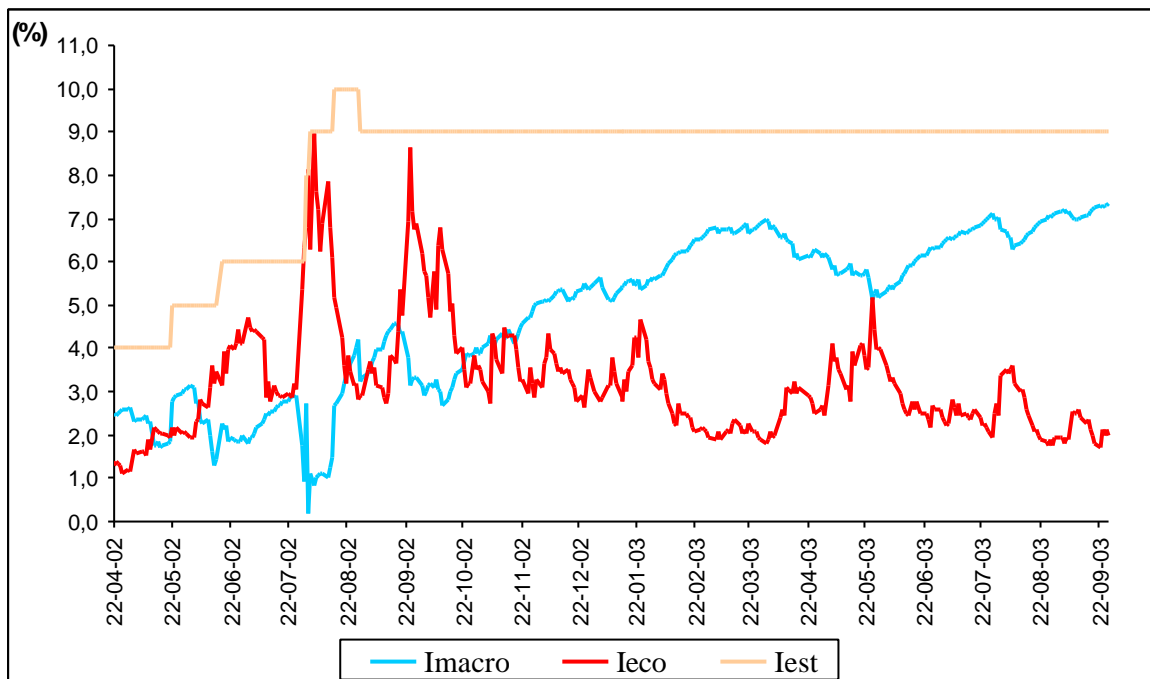
(a) D+1



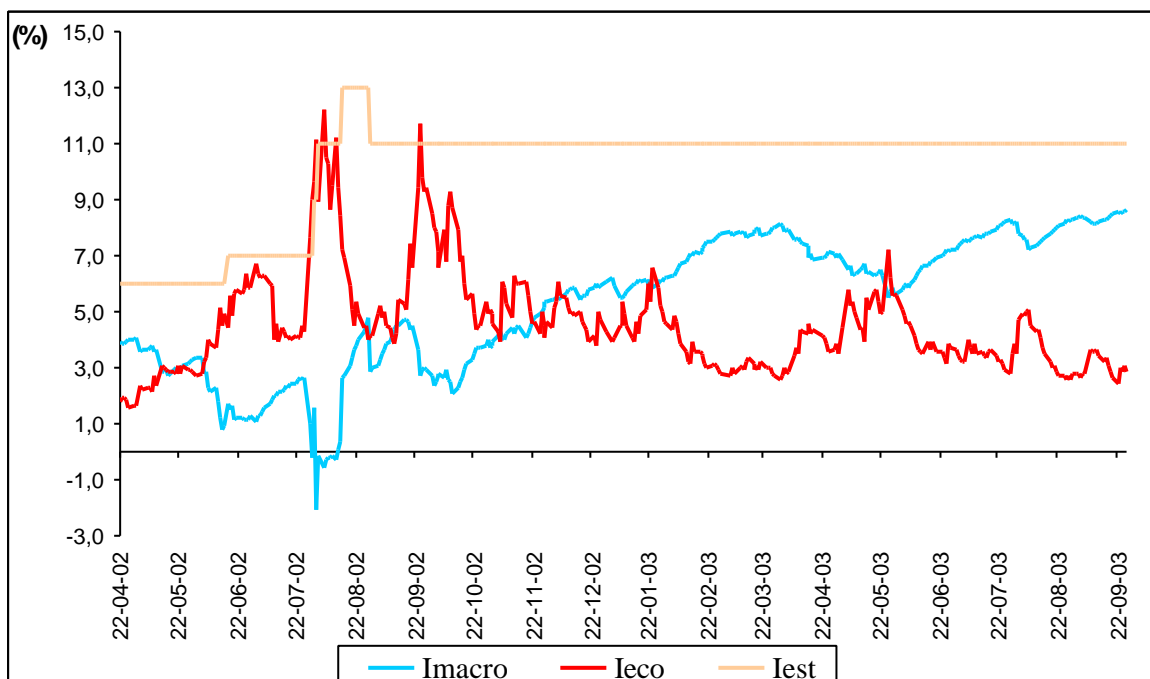
(b) D+2

Gráfico 9 – Comportamento diário do *índice econométrico* (I_{eco}), calculado com base nas volatilidades previstas pelo modelo GARCH (1,1) –, do *índice macroeconômico* (I_{macro}) e do índice de variação da taxa de câmbio contratualmente garantido (I_{est}); para D+1 (a) e D+2 (b)

Fonte – Elaborado pelo autor da dissertação.



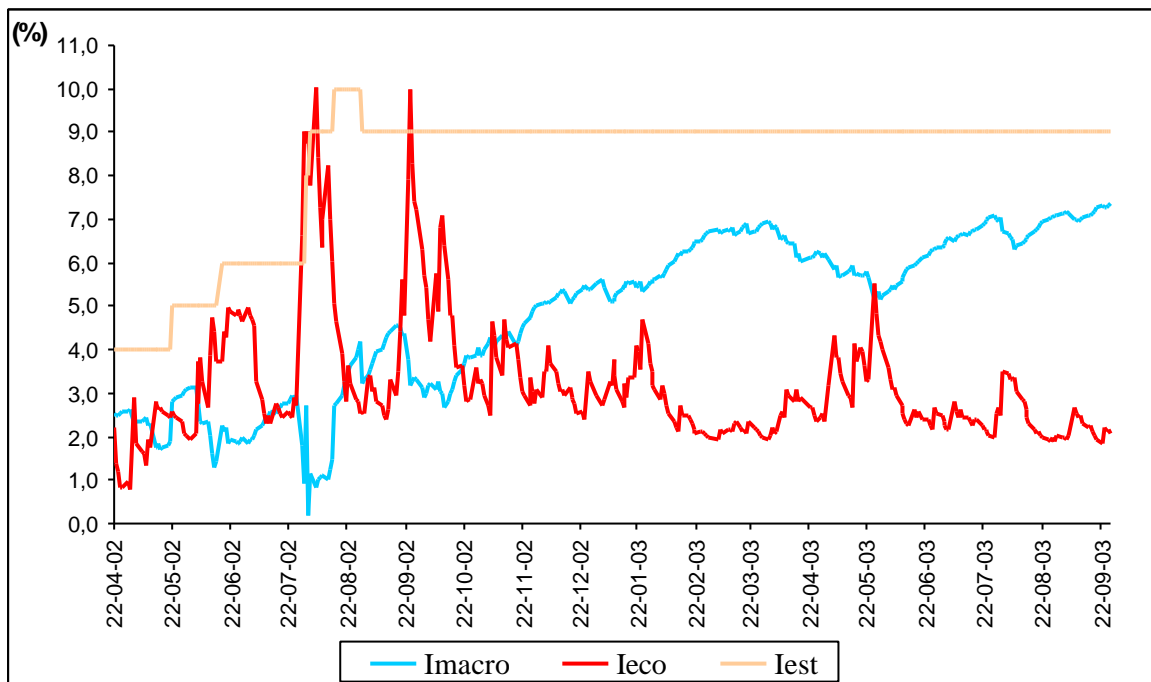
(a) D+1



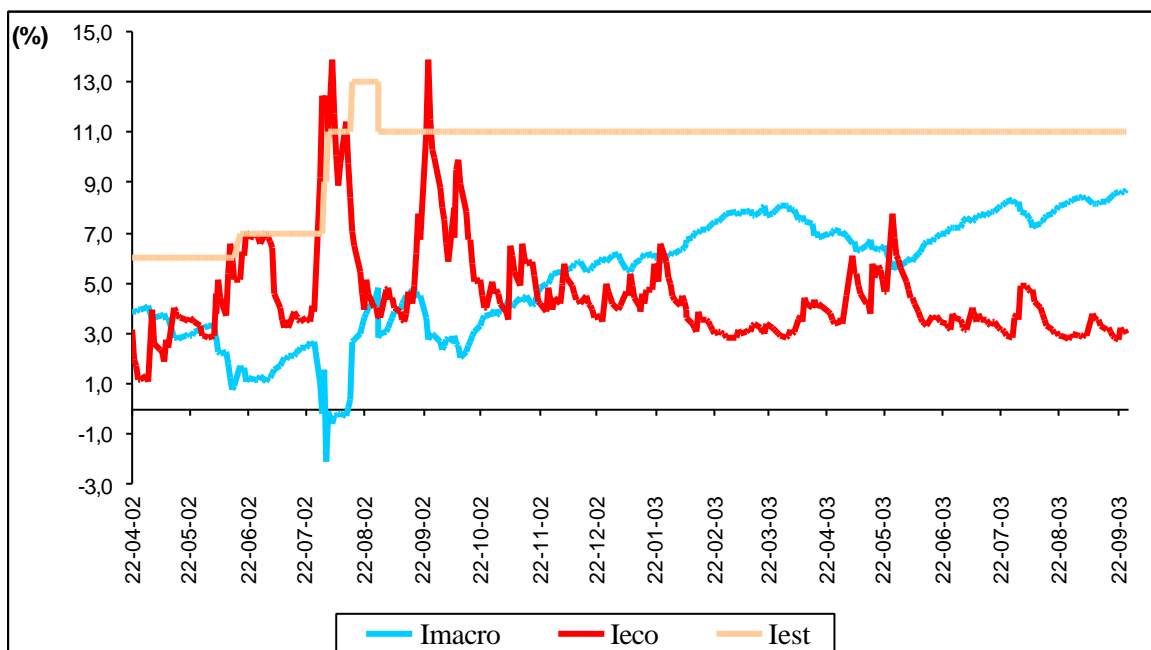
(b) D+2

Gráfico 10 – Comportamento diário do *índice econométrico* (I_{eco}), calculado com base nas volatilidades previstas pelo modelo EGARCH (1,1) –, do *índice macroeconômico* (I_{macro}) e do índice de variação da taxa de câmbio contratualmente garantido (I_{est}); para D+1 (a) e D+2 (b)

Fonte – Elaborado pelo autor da dissertação.



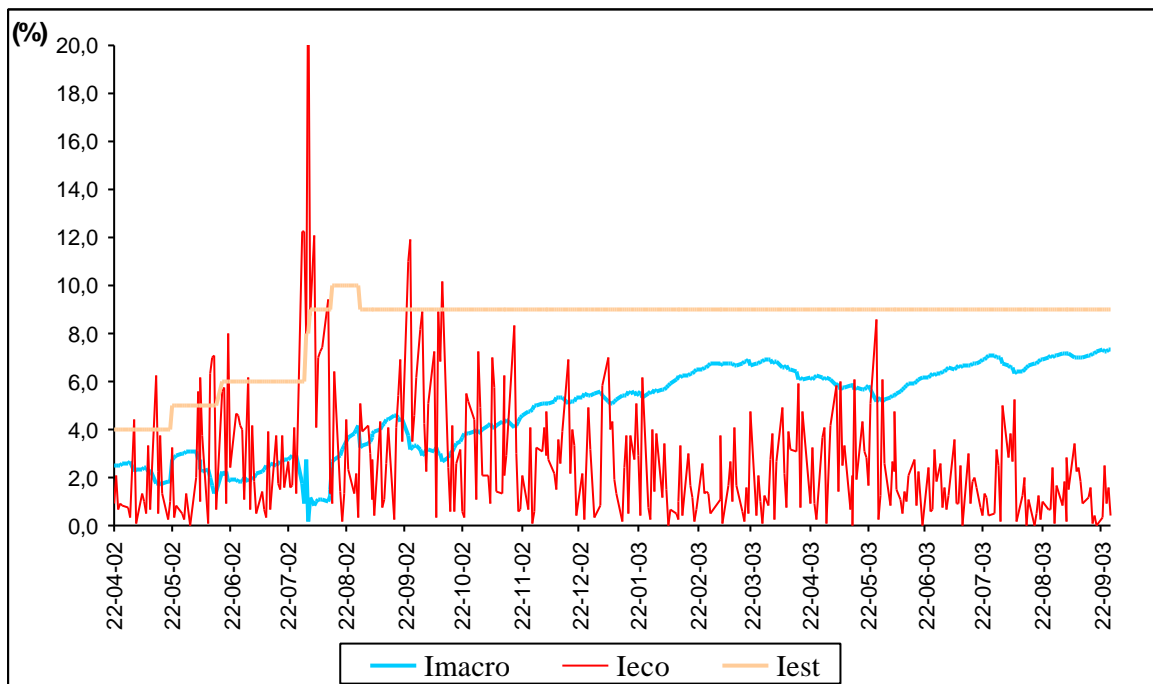
(a) D+1



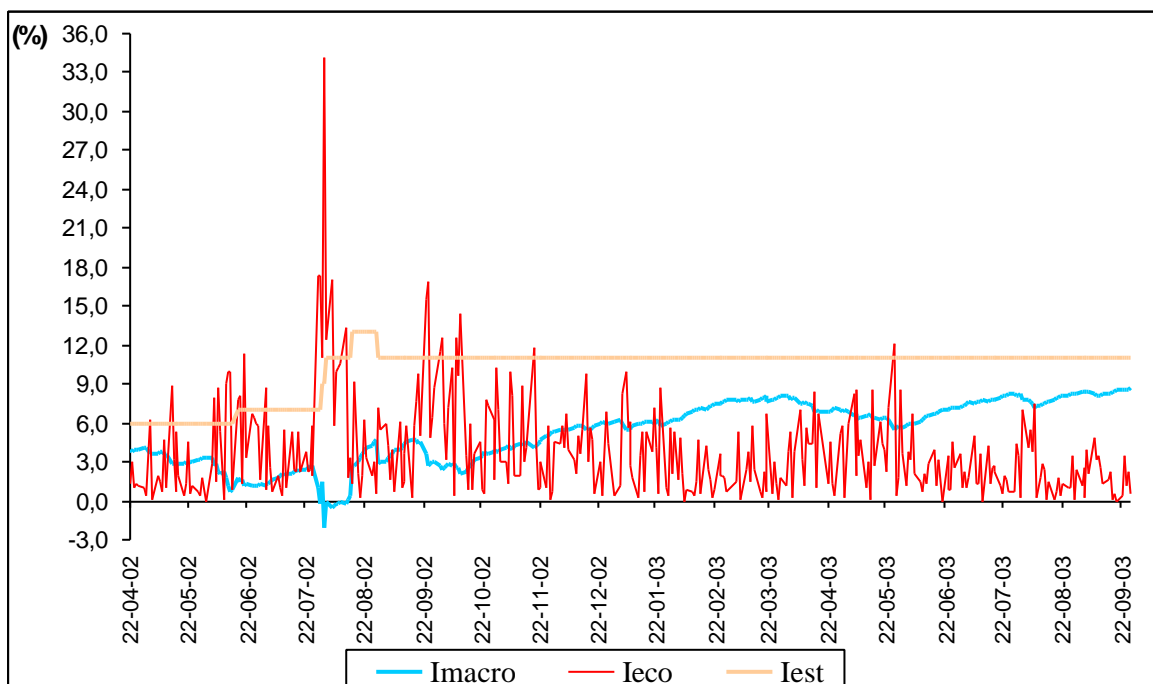
(b) D+2

Gráfico 11 – Comportamento diário do *índice econométrico* (I_{eco}), calculado com base nas volatilidades previstas pelo modelo TARCH (1,1) –, do “índice macroeconômico” (I_{macro}) e do índice de variação da taxa de câmbio contratualmente garantido (I_{est}); para D+1 (a) e D+2 (b)

Fonte – Elaborado pelo autor da dissertação.



(a) D+1



(b) D+2

Gráfico 12 – Comportamento diário do índice econométrico (I_{eco}), calculado com base nas volatilidades previstas pelo modelo *random walk* –, do “índice macroeconômico” (I_{macro}) e do índice de variação da taxa de câmbio contratualmente garantido (I_{est}); para D+1 (a) e D+2 (b)

Fonte – Elaborado pelo autor da dissertação.

5 CONCLUSÕES

A prospecção inicial, realizada por meio de entrevistas com analistas de instituições financeiras brasileiras e da *Clearing* de Câmbio da BM&F, evidenciou uma clara preferência do mercado financeiro nacional pelo modelo de previsão de volatilidade EWMA. Ao contrário do que se poderia imaginar, a predileção pelo referido modelo não se baseia em testes de desempenho da capacidade preditiva e, sim, por dois argumentos recorrentes: a facilidade de implementação e o estereótipo de *padrão de mercado*, adquirido em decorrência do sucesso alcançado pela metodologia *RiskMetrics*TM.

O primeiro argumento perde sustentação na medida em que já estão disponíveis, em diversos pacotes econométricos de fácil utilização, rotinas pré-programadas com modelos econométricos mais elaborados, inclusive os da família ARCH. Já o segundo argumento pode ser considerado uma consequência de diversos fatores, dentre os quais se pode destacar a ausência de estudos publicados para o mercado de câmbio brasileiro, a grande aceitação da metodologia *RiskMetrics*TM por analistas de mercado e organismos reguladores e o passado recente de intervenções e mudanças de regime cambial.

Além disso, os testes comparativos da capacidade preditiva contestam essa preferência do mercado ao apontar a supremacia dos modelos da família ARCH em relação ao modelo EWMA, sob todos os critérios utilizados. Conclui-se que, no contexto desta pesquisa, o modelo TAR_{CH}(1,1) é o que apresenta melhor desempenho preditivo, sendo acompanhado de perto pelo modelo EGARCH (1,1). Em seguida, tem-se o modelo GARCH (1,1) e, por último, o modelo EWMA, ressaltando-se que todos os modelos apresentam uma tendência a superestimar a volatilidade futura.

Conclui-se, ainda, pela inadequação, nos modelos da classe ARCH, de implementar restrições em relação ao número de observações utilizadas no processo de estimação dos parâmetros da equação da volatilidade condicional, haja vista a queda acentuada no desempenho preditivo, em especial, do modelo GARCH. Ademais, verificou-se que o modelo *random walk* não deve ser considerado como uma alternativa viável aos modelos econométricos utilizados neste estudo, uma vez que, conforme demonstrado pela estatística Theil-U, estes últimos apresentam um desempenho significativamente superior.

Os resultados acima confirmam o fato, preconizado pela teoria, de que a abordagem econométrica representada pelos modelos da classe ARCH é a mais adequada para o tratamento de séries que apresentam heterocedasticidade, agrupamentos de volatilidade e leptocurtose, características verificadas na série de retornos das taxas de câmbio utilizada neste trabalho. Constatou-se, também, a característica de reação assimétrica a boas e más notícias, o que guarda relação direta com o melhor desempenho preditivo observado para os modelos TARCH e EGARCH, de resposta assimétrica, comparativamente aos modelos GARCH e EWMA, de resposta simétrica.

A prospecção inicial revelou, ainda, um certo ceticismo quanto à aplicabilidade dos modelos econométricos de previsão de volatilidade no mercado financeiro nacional. Invariavelmente, os analistas entrevistados fizeram questão de ressaltar que os valores calculados pelos modelos econométricos representam apenas uma parte da definição final da volatilidade prevista pelas instituições, havendo sempre um componente subjetivo adicional. No caso específico da *Clearing*, este procedimento fica explícito no Anexo I do seu Manual de Gerenciamento de Risco, o que ensejou um estudo complementar para avaliar o impacto que uma substituição do modelo EWMA poderia acarretar nos valores estipulados para o índice de

variação da taxa de câmbio contratualmente garantido, índice este que é a base de boa parte do processo de gerenciamento do risco de mercado efetuado pela Câmara.

A análise do comportamento diário do índice de variação da taxa de câmbio estipulado pela Câmara (índice estipulado) e do valor que seria definido caso fossem utilizados apenas os procedimentos estatísticos baseados na volatilidade prevista pelos modelos econométricos (índice econométrico) permitiu um melhor entendimento da dinâmica que envolve a relação entre esses dois indicadores. Na fase inicial de operação da *Clearing* (22/04/2002 a 26/07/2002), percebeu-se que os índices estipulados acompanhavam o comportamento delineado pelos índices econométricos. Já no período imediatamente posterior (29/07/2002 a 22/10/2002), no qual se observa a maior volatilidade de toda a série de retornos, inicia-se um distanciamento progressivo dos índices, verificando-se, em determinadas ocasiões, índices econométricos superiores aos estipulados (notadamente quando baseados nas volatilidades previstas pelos modelos da família ARCH). A partir daí, consolida-se o distanciamento, com os índices estipulados permanecendo estáveis em um patamar muito superior aos índices econométricos, que apresentam uma tendência de queda.

Considerando que o índice econométrico é calculado segundo procedimentos estatísticos que, a princípio, predizem a variação da taxa de câmbio em um nível de confiança de 99%, a tendência observada de distanciamento progressivo dos índices, com os valores estipulados muito superiores aos calculados, sugere um excesso de conservadorismo ou um relativo descrédito nos procedimentos estatísticos adotados. Dessa forma, pode-se concluir que, mantida essa tendência, a substituição do modelo EWMA por outro da família GARCH não resultaria em nenhum efeito prático no contexto operacional da *Clearing*.

Entretanto, a exemplo do ocorrido na *Clearing* de Derivativos da BM&F, que, em maio de 2001, adotou um novo sistema de avaliação de risco, proporcionando uma redução substancial no volume total das margens de garantia sem comprometer a segurança do sistema, pode-se esperar que, em breve, ações similares sejam tomadas no âmbito da *Clearing* de Câmbio. Caso isso ocorra, sugere-se que os resultados desta pesquisa sejam considerados quando da discussão do modelo de predição de volatilidade a ser adotado, os quais apontam para a pertinência da substituição do modelo EWMA pelo modelo TAR(1,1).

A título de considerações finais, é importante ressaltar que os resultados aqui obtidos não têm a pretensão de sinalizar o fim das discussões acerca do melhor modelo de predição de volatilidade para o mercado interbancário brasileiro, pois, conforme já apontado por ~~Poon e Granger (2003)~~, Alexander (2002) e Brooks (2002) dentre outros, os estudos nessa área devem ser periodicamente revistos, acompanhando os avanços metodológicos e as modificações impostas pela dinâmica de cada mercado. Entretanto, é oportuno ratificar a conclusão de Poon e Granger (2003) de que é possível se prever a volatilidade nos mercados financeiros. Dessa forma, a despeito das dificuldades e incertezas que ainda envolvem a tarefa, deve-se dedicar um especial esforço para reduzir o componente subjetivo na definição de volatilidade futura a ser utilizada como base nos processos de gerenciamento de risco e precificação de operações, o que, certamente, trará maior segurança e eficiência para todos os agentes que interagem no mercado cambial brasileiro.

A importância da previsão da volatilidade para o mercado financeiro e a complexidade que envolve os assuntos relacionados à sua mensuração sinalizam para a continuidade das pesquisas envolvendo o tema. Assim, como uma primeira sugestão para estudos futuros, tem-se a replicação do presente trabalho, ampliando-se o intervalo da amostra e utilizando-se

dados de alta frequência, preferencialmente coletados em intervalos próximos de cinco minutos, conforme sugerido por Andersen e Bollerslev (1998a).

Ainda em relação à presente pesquisa, sugere-se um estudo comparando-se, por meio do teste binomial de Kupiec (1995), o desempenho do modelo de *valor em risco* (Var) adotado pela *Clearing* quando são utilizadas as volatilidades previstas pelo modelo EWMA e quando são utilizadas as volatilidades previstas pelo modelo TARCH (1,1).

Por fim, um estudo de fundamental importância, relacionado a esse tema, e que teria implicações importantes nos critérios estatísticos de avaliação do desempenho preditivo dos modelos seria a discussão e formalização do conceito de *volatilidade real*, bem como a determinação de uma metodologia para mensurá-la.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKGIRAY, V. Conditional heteroskedasticity in time series of stock returns: evidence and forecasts. *Journal of Business*, v. 1, n. 62, p. 55-80, 1989.

ALEXANDER, Carol (Ed.). *Risk management and analysis. Volume 1: measuring and modeling financial risk*. West Sussex, England: John Wiley , 1998.

_____. *Market models: a guide to financial data analysis*. West Sussex, England: John Wiley , 2002.

_____. *Evaluating the use of RiskMetrics as a risk measurement tool for your operation: what are its advantages and limitations?*. 1996. Disponível em: <www.ismacentre.reading.ac.uk>. Acessado em 14 set. 2003.

AMARAL, A C. O.; LIMA, E. C. *Política cambial: efeitos na balança comercial*. São Paulo: Aduaneiras, 2001.

AMIN, K.; NG, V. Inferring future volatility from the information in implied volatility in eurodollar options: a new approach. *Review of Financial Studies*, v. 10, p. 333-367, 1997.

ANDERSEN, T. G.; BOLLERSLEV, T. Deutsche mark-dollar volatility: Intraday activity patterns, macroeconomic announcements, and longer run dependencies. *Journal of Finance*, v. 53, n. 1, p. 219-265, Feb. 1998a.

_____ . Answering the skeptics: yes, standard volatility model do provide accurate forecasts. *International Economic Review*, v. 39, p. 885-905, 1998b.

ANDERSEN, T. G.; BOLLERSLEV, T.; DIEBOLD, F. X.; LABYS, P. Modeling and forecasting realized volatility. Northwestern University, Working Paper Series 232, Jan. 2001. Disponível em : <www.nber.org/papers/w0356.pdf>. Acessado em 15 jan. 2003.

ANDRADE, S. C.; TABAK, B. M. Is it worth tracking dollar/real implied volatility? *Revista de Economia Aplicada*, v. 5, p. 471-489, 2001.

ARMSTRONG, J. S.; FILDES, R. On the selection of error measures for comparisons among forecasting methods. *Journal of Forecasting*, v. 14, p. 67-71, 1995.

ARMSTRONG, J. S.; FILDES, R; COLLOPY, F. Error measures for generalizing about forecasting methods: empirical comparisons. *International Journal of Forecasting*, v. 8, p. 69-80, 1992.

BACEN. BANCO CENTRAL DO BRASIL. *Reestruturação do sistema de pagamentos brasileiro: conceitos e considerações*. Brasília (DF): 2001. Disponível em: <www.bcb.gov.br>. Acessado em 20 ago. 2002.

_____ . *Sistema de pagamentos brasileiro*. Brasília (DF): fevereiro/2003. Disponível em: <www.bcb.gov.br>. Acessado em 13 mai. 2003.

_____ . Circular 3.057 de 31 de janeiro de 2002. Aprova o regulamento que disciplina o funcionamento dos sistemas operados pelas câmaras e pelos prestadores de serviços de compensação e de liquidação que integram o sistema de

pagamentos. Poder Executivo, Brasília, DF. Disponível em:
<www.bcb.gov.br/?BUSCANORMA>. Acessado em 15 abr. 2003.

BAILLIE, R. T; BOLLERSLEV, T. Prediction in dynamic models with time-dependent conditional variances. *Journal of Econometrics*, v. 52, p. 91-113, 1992.

BECKERS, S. *Standard deviations implied in options prices as predictors of future stock price variability*. *Journal of Banking and Finance*, vol. 5, 363-381, 1981.

BERA, A. K.; HIGGINS, M. L. ARCH models: properties, estimation and testing. *Journal of Economic Surveys*, v. 7. n. 4, 1993.

BERTUCCI, L. A. *Avaliação de opções sob consideração de volatilidades históricas, implícitas e condicionadas – o caso TELEBRAS na Bovespa*. 1999. 150 p. Tese (Doutorado em Administração) – Escola de Administração de Empresas de São Paulo: Fundação Getúlio Vargas. São Paulo.

BM&F. BOLSA DE MERCADORIAS & FUTUROS. *Câmara de registro, compensação e liquidação de operações de câmbio BM&F: regulamento, manual de operações, manual de gerenciamento de risco e órgãos auxiliares de administração*. São Paulo: BM&F, 2002.

_____. *Resenha BM&F*. São Paulo: BM&F, n. 154, 2003. Disponível em: <www3.bmf.com.br/pages/Educacional1/IndexEducacional1>. Acessado em 20 jul. 2003.

BOLLERSLEV, T. Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, v. 31, 307-327, 1986.

BOLLERSLEV, T.; CHOU, R. Y.; KRONER, K. F. ARCH modeling in finance: a review of theory and empirical evidence. *Journal of Econometrics*, v. 52, p. 5-59, 1992.

BOLLERSLEV, T.; ENGLE, R. F.; NELSON, D.B. Arch models. In ENGLE, R. F.; MCFADDEN, D. L. (Eds.). *Handbook of econometrics*. v. 4. Amsterdam: Elsevier, 1994, p. 2959-3038.

BOLLERSLEV, T.; ZHANG, B. Y. B. Measuring and modeling systematic risk factor pricing models using high-frequency data. *Journal of Empirical Finance*, v. 208, p. 1-26, 2003.

BRAILSFORD, T. J.; FAFF, R. W. An evaluation of volatility forecasting techniques . *Journal of Banking and Finance*, n. 20, p. 419-438, 1996.

BRASIL. Congresso Nacional. Lei n. 10.214 de 27 de março de 2001. Dispõe sobre a atuação das câmaras e dos prestadores de serviços de compensação e de liquidação, no âmbito do sistema de pagamentos brasileiro, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Poder Executivo, Brasília, DF, 28 de março de 2001 (edição extra). Disponível em: <www.bcb.gov.br/htms/leisedecretos/lei10214.asp?idpai=LEIS>. Acessado em 20 abr. 2003.

BROOKS, C. *Forecasting stock return volatility: does volume help?* *Journal of forecasting*, v. 17, p. 59-80, 1998.

_____. *Introductory econometrics for finance*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2002.

BRYMAN, A. *Research methods and organization studies*. London: Unwin Hyman, 1992.

CAMPA, J. M.; CHANG, P. H. K.; REIDER, R. L. Implied exchange rate distributions: evidence from OTC options markets. Working Paper 6179, 1997. Disponível em : <www.nber.org/papers/>. Acessado em 22 jul. 2003.

_____. The forecasting ability of correlations implied in foreign exchange options. *Journal of International Money and Finance*, v. 17, p. 855-880, 1998.

CAMPBELL, J. Y.; LO, A. W; MACKINLAY, A. C. *The econometrics of financial markets*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1997.

CARMO, E. C. C. *Estimação da volatilidade do IBOVESPA com modelos GARCH: uma comparação entre os modelos heterocedásticos e a metodologia RiskMetrics™*. 1998. p. 62. Dissertação (Mestrado em Administração) – Instituto de Pós-Graduação em Administração: Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. *Metodologia científica: para uso dos estudantes universitários*. São Paulo: MacGraw-Hill, 1983.

CHRISTENSEN, B. J.; PRABHALA, N. R. The relation between implied and realized volatility. *Journal of Financial Economics*, v. 50, p. 125-150, 1998.

CHRISTOFFERSEN, P. F.; DIEBOLD, F. X. Optimal prediction under asymmetric loss. *Economic Theory*, v. 13, p. 808-817, 1997.

COLLOPY, F.; ARMSTRONG, J. S. *Another error measure for selection of the best forecasting method: the unbiased absolute percentage error*. Oct. 2000. Disponível em: <<http://hops.wharton.upenn.edu/forecast/paperpdf/armstrong-unbiasedAPE.pdf>>. Acessado em 26 dez. 2003.

CONSELHO MONETÁRIO NACIONAL. Resolução 2.882 de 30 de agosto de 2001. Dispõe sobre o sistema de pagamentos e as câmaras e os prestadores de serviços de compensação e de liquidação que o integram. Poder Executivo, Brasília, DF. Disponível em: <www.bcb.gov.br/?BUSCANORMA>. Acessado em 15 abr. 2003.

DAY, T. E.; LEWIS, C. M. Stock market volatility and the information content of stock index options. *Journal of Econometrics*, v. 52, p. 52-59, 1992.

DIEBOLD, F. X.; MARIANO, R. S. *Comparing predictive accuracy*. Cambridge: National Bureau of Economic Research, 1994. Technical Working Paper n. 169, 35 p. Disponível em : <<http://ideas.repec.org/p/nbr/nberte/0169.html>>. Acessado em 03 mar. 2003.

ENGLE, R. F. Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation *Econometrica*, v. 50, n. 4, p. 987-1007, Jul. 1982.

_____. New frontiers for ARCH models. *Journal of Applied Econometrics*, v. 17, p. 425-446, 2002.

ENGLE, R. F.; NG, V. K. Measuring and testing the impact of news on volatility. *Journal of Finance*, vol. 48 , n. 5, p. 1749-1778, 1993.

ENGLE, R. F.; PATTON, A. J. *What good is a volatility Model*. 2001. Disponível em: <www.nber.org/papers/w0403.pdf>. Acessado em 20 abr. 2003.

FAMA, E. The behavior of stock market prices. *Journal of Business*, n. 38, p. 34-105, 1965.

FILHO, E. G. *Câmbios no Brasil: as peripécias da moeda nacional e da política cambial, 500 anos depois*. São Paulo: Cultura Editores Associados, 2000.

_____. *Câmbio, ouro e dívida externa: de Figueiredo a FHC*. São Paulo: Saraiva, 2002.

FRANÇA, J. L.; VASCONCELOS, A. C.; MAGALHÃES, M. H. A.; BORGES, S. M. *Manual para normalização de publicações científicas*. 6^a. Ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2003.

GALVÃO, A. M. Análise intraday do modelo Black & Scholes pelas volatilidades implícita e condicionada GARCH para ativos brasileiros. In: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO – ENANPAD –, 26, 2002, Salvador. Anais ... Salvador: ANPAD, 2002.

GIL, A. C. *Técnicas de pesquisa em economia*. São Paulo: Atlas, 1995.

GLOSTEN, L. R.; JAGANATHAN, R.; RUNKLE, D. E. On the relation between the expected value and the volatility of the nominal excess returns on stocks. *Journal of Finance*, v. 48, p. 1779-1801, 1993.

GONÇALVES, C. A.; MEIRELLES, A. M. *Manual de elaboração de trabalhos técnicos e científicos*. Belo Horizonte, nov. 2002. (mimeo)

GOURIÉROUX, C. *Arch models and financial applications*. New York: Springer-Verlag, 1997.

GOURIÉROUX, C. ; MONFORT, A . Y. Qualitative threshold ARCH models. *Journal of Econometrics*, v. 52, p. 159-199, 1992.

GRANGER, C. W. J.; NEWBOLD, P. Experience with forecasting time series and the combination of forecasts. *Journal of Royal Statistical Society*, 137, part 2, p. 13-165,1974.

GREENE, W. H. *Econometric analysis*. New York: Prentice Hall,1996.

GUJARATI, D. N. *Econometria básica*. São Paulo: Makron Books, 2000.

GWILYM, O. A. Forecasting volatility for options pricing for the U. K. stock market. *Journal of Financial Management and Analysis*, v. 14, p. 55-62, 2001.

HAGERUD, G. E. *Modeling Nordik stock returns with asymmetric GARCH models*. Stockholm School of Economics. Working Paper Series in Economics and Finance, n. 164, 1997. Disponível em: <<http://netec.mcc.ac.uk/WoPEc/data/Papers/hhshastef0164.html> >. Acessado em 12 out. 2003 .

HAIR JR. J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R L.; BLACK, W. C. *Multivariate data analysis*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 1998.

HAMILTON, J. D. *Time series analysis*. New Jersey: Princeton University Press, 1994.

HARVEY, A C. *Time series models*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1994.

HARVEY, C. R.; WHALEY, R. E. S&P 100 index option volatility. *Journal of Finance*, v. 46, n. 4, p. 1.551-1561, 1991.

HOLLAND, M.; PEREIRA, P. L. Taxa de câmbio real e paridade de poder de compra no Brasil. *Revista Brasileira de Economia*, v. 53, 17p., 1999.

HSIEH, D. A. Implications of nonlinear dynamics for financial risk management. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, v. 28, n. 1, p. 41-64, 1993.

HULL, J. C. *Introdução aos mercados futuros e de opções*. São Paulo: BM&F, 1996.

_____. *Opções, futuros e outros derivativos*. São Paulo: BM&F, 1998.

JORION, P. *Value at risk: a nova fonte de referência para o controle do risco de mercado*. São Paulo: Cultura, 1998.

_____. Predicting volatility in the foreign exchange market. *Journal of Finance*, v. 50, p. 507-528, 1995.

KENNEDY, P. *A guide to econometrics*. Oxford: Blackwell Publishers, Third Edition, 1992.

KUPIEC, P. Techniques for verifying the accuracy of risk measurements models. *Journal of Derivatives*, v. 2, p. 73-84, 1995.

LATANÉ, H. A.; RENDLEMAN, R. J. Standard deviations of stock price ratios implied in options prices. *Journal of Finance*, v. 31, n. 2, p. 369-381, may 1976.

LAVILLE, C.; DIONNE, J. *A construção do saber: manual de metodologia da pesquisa em ciências humanas*. Porto Alegre: Artmed; Belo Horizonte: Editora UFMG, 1999.

LOPEZ, J. A. Evaluating the predictive accuracy of volatility models. *Journal of Forecasting*, v. 2, n. 20, p. 87-109, 2001.

LUNARDI, A. L. *Operações de câmbio e pagamentos internacionais no comércio exterior*. São Paulo: Aduaneiras, 2001.

LUNDBERG, S.; TERÄSVIRTA, T. Evaluating GARCH models. *Journal of Econometrics*, vol. 110, p. 417-435, 2002

MANDELBROT, B. The variation of certain speculative prices. *Journal of Business*, v. 36, p. 394-419, 1963.

MANNING, P. K. Metaphors of the field: varieties of organizational discourse. *Administrative Science Quarterly*, v. 24, n. 4, p. 660-671, 1979.

MARKOWITZ, H. Portfolio selection. *Journal of Finance*, v. 7, n. 1, , p. 77-91, 1952.

MCFARLAND, J.; PETIT, R.; SUNG, S. The distribution of foreign exchange price changes: trading days effects and risk measurement. *Journal of Finance*, v. 37, p. 693-716, 1982.

MELINO, A.; TURNBULL, S. M. Pricing foreign currency options with stochastic volatility. *Journal of Econometrics*, v. 45, p. 239-265, 1990.

MENDES, L. C. *Avaliação de opções: uma comparação do desempenho de métodos distintos de se estimar a volatilidade*. 2000. 80 p. Dissertação (Mestrado em Administração) – Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração: Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.

MERTON, R. C. On estimating the expected return on market: an exploratory investigation. *Journal of Financial Economics*, v. 8, p. 323-361, 1980. Disponível em: <www.nber.org/papers/w0444.pdf>. Acessado em 27 jun. 2003.

MILLS, T. *The econometric modelling of financial time series*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

MOLLICK, A V. . *The real exchange rate in Brazil: mean reversion or random walk in the long run?* *International Review of Economics and Finance*, vol. 8, 115-126, 1999.

MORGAN GUARANTY TRUST COMPANY & REUTERS LTD. *RiskMetrics: technical document*. New York: RiskMetrics, 4th. ed., 1996. Disponível em: <www.jpmorgan.com/RisKManagement/RiskMetrics/RiskMetrics.html>. Acessado em 06 jan. 2003.

NELSON, D. B. Conditional heteroskedasticity in asset return: a new approach. *Econometrica*, v. 59, n. 2, p. 347-370, 1991.

PAGAN, A. R.; SCHWERT, G. W. Alternative models for conditional stock volatility. *Journal of Econometrics*, v. 45, p. 267-290, 1990.

PAPADIA, F. Forward exchange rates as predictor of future spot rates and the efficiency of foreign exchange market. *Journal of Banking and Finance*, v. 5, p. 217-240, 1981.

POON, S.; GRANGER, C. W. J. Forecasting volatility in financial markets: a review. *Journal of Economic Literature*, v. 41, p. 478-539, 2003.

RATTI, B. *Comércio internacional e câmbio*. São Paulo: Aduaneiras, 2001.

ROGALSKY, R.; VISNO, J. Price level variations as predictors of flexible exchange rates. *Journal of International Business Studies*, v. 50, p. 71-81, 1977.

SANTOS, L. C. F. *Avaliação de modelos GARCH multivariados no cálculo do valor-em-risco de uma carteira de renda variável*. 2002. 146 p. Dissertação (Mestrado em Administração) – Instituto de Pós-Graduação em Administração: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SCOTT, E.; TUCKER, A. Predicting currency return volatility. *Journal of Banking and Finance*, v. 13, P. 839-851, 1989.

SUGANUMA, R. Reality check for volatility models. San Diego: University of California, Oct. 2000. (mimeo)

WALSH, D. M.; TSOU, G. Y. Forecasting index volatility: sampling interval and non-trading effects. *Applied Financial Economics*, v. 8, p. 477-485, 1998.

WEST, K. D.; CHO D. The predictive ability of several models of exchange rate volatility. Technical Working Paper Series, n. 152, Jan. 1994. Disponível em: <www.nber.org/papers/w0152.pdf>. Acessado em 26 mai. 2003

WEST, K. D.; EDSON, H. J.; CHO, D. A . A utility-based comparison of some models of exchange rate volatility. *Journal of International Economics*, v. 35, p. 23-45, 1993.

WESTERFIELD, J. The distribution of common stock price changes: an application of transactions time and subordinated stochastic models. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, v. 12, p. 743-765, 1977.

WOOLDRIDGE, J. M. *Introductory econometrics: a modern approach*. Michigan: Thomson South-Western, 2003.

XU, X.; TAYLOR, S. J. Conditional volatility and the informational efficiency of the PHLX currency options markets. *Journal of Banking and Finance*, v. 19, n. 5, p. 803-821, 1995.

ANEXOS

ANEXO A – Cotações de fechamento das taxas de câmbio real/dólar americano, utilizadas pela *Clearing* de Câmbio da BM&F.

Data	Taxa de Câmbio (R\$/US\$)	Data	Taxa de Câmbio (R\$/US\$)	Data	Taxa de Câmbio (R\$/US\$)
20-ago-2001	2,5190	26-set-2001	2,7470	02-nov-2001	2,6730
21-ago-2001	2,5510	27-set-2001	2,6745	05-nov-2001	2,6000
22-ago-2001	2,5200	28-set-2001	2,6700	06-nov-2001	2,6100
23-ago-2001	2,5335	01-out-2001	2,6890	07-nov-2001	2,5590
24-ago-2001	2,5470	02-out-2001	2,7050	08-nov-2001	2,5325
27-ago-2001	2,5555	03-out-2001	2,7210	09-nov-2001	2,5350
28-ago-2001	2,5550	04-out-2001	2,7370	12-nov-2001	2,5500
29-ago-2001	2,5440	05-out-2001	2,7770	13-nov-2001	2,5210
30-ago-2001	2,5310	08-out-2001	2,7600	14-nov-2001	2,5440
31-ago-2001	2,5635	09-out-2001	2,7800	16-nov-2001	2,5265
03-set-2001	2,5660	10-out-2001	2,7695	19-nov-2001	2,5200
04-set-2001	2,5540	11-out-2001	2,7810	20-nov-2001	2,5535
05-set-2001	2,5835	12-out-2001	2,7850	21-nov-2001	2,5430
06-set-2001	2,5815	15-out-2001	2,7620	22-nov-2001	2,5335
07-set-2001	2,5643	16-out-2001	2,7100	23-nov-2001	2,5020
10-set-2001	2,6070	17-out-2001	2,7220	26-nov-2001	2,4570
11-set-2001	2,6640	18-out-2001	2,7595	27-nov-2001	2,4670
12-set-2001	2,6885	19-out-2001	2,7335	28-nov-2001	2,4820
13-set-2001	2,6680	22-out-2001	2,7210	29-nov-2001	2,5415
14-set-2001	2,6700	23-out-2001	2,7310	30-nov-2001	2,4985
17-set-2001	2,6660	24-out-2001	2,7600	03-dez-2001	2,4515
18-set-2001	2,6940	25-out-2001	2,7140	04-dez-2001	2,4370
19-set-2001	2,7100	26-out-2001	2,7250	05-dez-2001	2,4360
20-set-2001	2,7680	29-out-2001	2,7220	06-dez-2001	2,4200
21-set-2001	2,8325	30-out-2001	2,7175	07-dez-2001	2,3900
24-set-2001	2,7175	31-out-2001	2,6965	10-dez-2001	2,3320
25-set-2001	2,7230	01-nov-2001	2,6720	11-dez-2001	2,3675

Data	Taxa de Câmbio (R\$/US\$)	Data	Taxa de Câmbio (R\$/US\$)	Data	Taxa de Câmbio (R\$/US\$)
12-dez-2001	2,3570	29-jan-2002	2,4370	14-mar-2002	2,3440
13-dez-2001	2,3730	30-jan-2002	2,4325	15-mar-2002	2,3465
14-dez-2001	2,3760	31-jan-2002	2,4130	18-mar-2002	2,3410
17-dez-2001	2,3550	01-fev-2002	2,4200	19-mar-2002	2,3430
18-dez-2001	2,3050	04-fev-2002	2,4230	20-mar-2002	2,3440
19-dez-2001	2,2945	05-fev-2002	2,4200	21-mar-2002	2,3420
20-dez-2001	2,3350	06-fev-2002	2,4355	22-mar-2002	2,3615
21-dez-2001	2,3425	07-fev-2002	2,4625	25-mar-2002	2,3650
24-dez-2001	2,3380	08-fev-2002	2,4555	26-mar-2002	2,3465
26-dez-2001	2,3245	11-fev-2002	2,4565	27-mar-2002	2,3230
27-dez-2001	2,3320	12-fev-2002	2,4565	28-mar-2002	2,3250
28-dez-2001	2,3115	13-fev-2002	2,4090	01-abr-2002	2,2960
31-dez-2001	2,3105	14-fev-2002	2,4305	02-abr-2002	2,2980
02-jan-2002	2,3020	15-fev-2002	2,4270	03-abr-2002	2,3120
03-jan-2002	2,2950	18-fev-2002	2,4315	04-abr-2002	2,3010
04-jan-2002	2,3310	19-fev-2002	2,4250	05-abr-2002	2,2770
07-jan-2002	2,3270	20-fev-2002	2,4195	08-abr-2002	2,2840
08-jan-2002	2,3740	21-fev-2002	2,4225	09-abr-2002	2,2770
09-jan-2002	2,3750	22-fev-2002	2,4215	10-abr-2002	2,2650
10-jan-2002	2,4230	25-fev-2002	2,3940	11-abr-2002	2,2830
11-jan-2002	2,4015	26-fev-2002	2,3950	12-abr-2002	2,2940
14-jan-2002	2,3950	27-fev-2002	2,3560	15-abr-2002	2,3230
15-jan-2002	2,3750	28-fev-2002	2,3635	16-abr-2002	2,3145
16-jan-2002	2,3630	01-mar-2002	2,3445	17-abr-2002	2,3225
17-jan-2002	2,3775	04-mar-2002	2,3255	18-abr-2002	2,3225
18-jan-2002	2,3650	05-mar-2002	2,3315	19-abr-2002	2,3305
21-jan-2002	2,3730	06-mar-2002	2,3675	22-abr-2002	2,3400
22-jan-2002	2,3800	07-mar-2002	2,3705	23-abr-2002	2,3610
23-jan-2002	2,3780	08-mar-2002	2,3515	24-abr-2002	2,3540
24-jan-2002	2,3960	11-mar-2002	2,3560	25-abr-2002	2,3630
25-jan-2002	2,4070	12-mar-2002	2,3295	26-abr-2002	2,3715
28-jan-2002	2,4240	13-mar-2002	2,3490	29-abr-2002	2,3640

Data	Taxa de Câmbio (R\$/US\$)	Data	Taxa de Câmbio (R\$/US\$)	Data	Taxa de Câmbio (R\$/US\$)
30-abr-2002	2,3610	17-jun-2002	2,6510	31-jul-2002	3,4600
02-mai-2002	2,4065	18-jun-2002	2,7175	01-ago-2002	3,1200
03-mai-2002	2,4070	19-jun-2002	2,7070	02-ago-2002	3,0050
06-mai-2002	2,4210	20-jun-2002	2,8015	05-ago-2002	3,1650
07-mai-2002	2,4315	21-jun-2002	2,8305	06-ago-2002	3,1100
08-mai-2002	2,4370	24-jun-2002	2,7740	07-ago-2002	3,0175
09-mai-2002	2,4720	25-jun-2002	2,8290	08-ago-2002	2,9250
10-mai-2002	2,4645	26-jun-2002	2,8805	09-ago-2002	3,0200
13-mai-2002	2,5315	27-jun-2002	2,8310	12-ago-2002	3,1450
14-mai-2002	2,5070	28-jun-2002	2,8175	13-ago-2002	3,1625
15-mai-2002	2,5020	01-jul-2002	2,8930	14-ago-2002	3,1950
16-mai-2002	2,4620	02-jul-2002	2,9010	15-ago-2002	3,2075
17-mai-2002	2,4760	03-jul-2002	2,8500	16-ago-2002	3,1200
20-mai-2002	2,4785	04-jul-2002	2,8725	19-ago-2002	3,1010
21-mai-2002	2,4890	05-jul-2002	2,8785	20-ago-2002	3,0985
22-mai-2002	2,5240	08-jul-2002	2,8610	21-ago-2002	3,0810
23-mai-2002	2,5280	09-jul-2002	2,8525	22-ago-2002	3,1395
24-mai-2002	2,5190	10-jul-2002	2,8485	23-ago-2002	3,1080
27-mai-2002	2,5240	11-jul-2002	2,8015	26-ago-2002	3,0900
28-mai-2002	2,5270	12-jul-2002	2,8100	27-ago-2002	3,1190
29-mai-2002	2,5130	15-jul-2002	2,8555	28-ago-2002	3,1240
31-mai-2002	2,5130	16-jul-2002	2,8770	29-ago-2002	3,0570
03-jun-2002	2,5345	17-jul-2002	2,8960	30-ago-2002	3,0060
04-jun-2002	2,5960	18-jul-2002	2,8500	02-set-2002	3,0600
05-jun-2002	2,6070	19-jul-2002	2,8690	03-set-2002	3,1000
06-jun-2002	2,6770	22-jul-2002	2,9025	04-set-2002	3,1150
07-jun-2002	2,6345	23-jul-2002	2,9225	05-set-2002	3,1525
10-jun-2002	2,6355	24-jul-2002	2,9435	06-set-2002	3,1585
11-jun-2002	2,7085	25-jul-2002	2,9955	09-set-2002	3,1005
12-jun-2002	2,7910	26-jul-2002	3,0125	10-set-2002	3,1100
13-jun-2002	2,7075	29-jul-2002	3,1750	11-set-2002	3,1245
14-jun-2002	2,7150	30-jul-2002	3,3465	12-set-2002	3,1595

Data	Taxa de Câmbio (R\$/US\$)	Data	Taxa de Câmbio (R\$/US\$)	Data	Taxa de Câmbio (R\$/US\$)
13-set-2002	3,2150	29-out-2002	3,8190	13-dez-2002	3,7275
16-set-2002	3,2180	30-out-2002	3,7025	16-dez-2002	3,6185
17-set-2002	3,2750	31-out-2002	3,6250	17-dez-2002	3,5850
18-set-2002	3,3525	01-nov-2002	3,5925	18-dez-2002	3,5240
19-set-2002	3,4540	04-nov-2002	3,5605	19-dez-2002	3,4740
20-set-2002	3,4025	05-nov-2002	3,5470	20-dez-2002	3,4800
23-set-2002	3,5665	06-nov-2002	3,6550	23-dez-2002	3,5120
24-set-2002	3,7535	07-nov-2002	3,5660	24-dez-2002	3,5085
25-set-2002	3,6980	08-nov-2002	3,5450	26-dez-2002	3,5830
26-set-2002	3,7710	11-nov-2002	3,5250	27-dez-2002	3,5350
27-set-2002	3,8725	12-nov-2002	3,6210	30-dez-2002	3,5400
30-set-2002	3,7395	13-nov-2002	3,6540	02-jan-2003	3,5275
01-out-2002	3,5990	14-nov-2002	3,7000	03-jan-2003	3,4400
02-out-2002	3,6650	18-nov-2002	3,5700	06-jan-2003	3,3380
03-out-2002	3,7000	19-nov-2002	3,5245	07-jan-2003	3,2810
04-out-2002	3,6200	20-nov-2002	3,5155	08-jan-2003	3,3430
07-out-2002	3,7350	21-nov-2002	3,5255	09-jan-2003	3,3160
08-out-2002	3,7300	22-nov-2002	3,5575	10-jan-2003	3,2975
09-out-2002	3,8750	25-nov-2002	3,5468	13-jan-2003	3,2950
10-out-2002	3,9900	26-nov-2002	3,6100	14-jan-2003	3,2610
11-out-2002	3,8200	27-nov-2002	3,6110	15-jan-2003	3,3140
14-out-2002	3,8600	28-nov-2002	3,6025	16-jan-2003	3,3210
15-out-2002	3,8500	29-nov-2002	3,6530	17-jan-2003	3,3750
16-out-2002	3,9200	02-dez-2002	3,6050	20-jan-2003	3,4145
17-out-2002	3,9100	03-dez-2002	3,6690	21-jan-2003	3,4900
18-out-2002	3,8675	04-dez-2002	3,7155	22-jan-2003	3,5340
21-out-2002	3,9210	05-dez-2002	3,7920	23-jan-2003	3,5275
22-out-2002	3,9105	06-dez-2002	3,7470	24-jan-2003	3,6225
23-out-2002	3,9045	09-dez-2002	3,7825	27-jan-2003	3,6340
24-out-2002	3,8130	10-dez-2002	3,8070	28-jan-2003	3,6385
25-out-2002	3,7300	11-dez-2002	3,7490	29-jan-2003	3,5770
28-out-2002	3,8010	12-dez-2002	3,7905	30-jan-2003	3,5550

Data	Taxa de Câmbio (R\$/US\$)	Data	Taxa de Câmbio (R\$/US\$)	Data	Taxa de Câmbio (R\$/US\$)
31-jan-2003	3,4975	20-mar-2003	3,4735	08-mai-2003	2,9140
03-fev-2003	3,5150	21-mar-2003	3,4035	09-mai-2003	2,8725
04-fev-2003	3,5670	24-mar-2003	3,3980	12-mai-2003	2,8640
05-fev-2003	3,5900	25-mar-2003	3,3675	13-mai-2003	2,8900
06-fev-2003	3,5900	26-mar-2003	3,3815	14-mai-2003	2,8905
07-fev-2003	3,5800	27-mar-2003	3,3825	15-mai-2003	2,9670
10-fev-2003	3,5875	28-mar-2003	3,3640	16-mai-2003	2,9425
11-fev-2003	3,5910	31-mar-2003	3,3525	19-mai-2003	2,9975
12-fev-2003	3,6070	01-abr-2003	3,3135	20-mai-2003	3,0375
13-fev-2003	3,6590	02-abr-2003	3,2600	21-mai-2003	3,0010
14-fev-2003	3,6650	03-abr-2003	3,2570	22-mai-2003	2,9800
17-fev-2003	3,6175	04-abr-2003	3,2200	23-mai-2003	2,9155
18-fev-2003	3,5915	07-abr-2003	3,1525	26-mai-2003	3,0250
19-fev-2003	3,6100	08-abr-2003	3,1825	27-mai-2003	3,0280
20-fev-2003	3,6125	09-abr-2003	3,1930	28-mai-2003	3,0120
21-fev-2003	3,6225	10-abr-2003	3,2475	29-mai-2003	2,9345
24-fev-2003	3,5820	11-abr-2003	3,2040	30-mai-2003	2,9675
25-fev-2003	3,6025	14-abr-2003	3,1615	02-jun-2003	2,9780
26-fev-2003	3,5810	15-abr-2003	3,0825	03-jun-2003	2,9440
27-fev-2003	3,5610	16-abr-2003	3,0925	04-jun-2003	2,9160
28-fev-2003	3,5685	17-abr-2003	3,0300	05-jun-2003	2,8575
05-mar-2003	3,5525	22-abr-2003	3,0420	06-jun-2003	2,8755
06-mar-2003	3,4960	23-abr-2003	3,0000	09-jun-2003	2,8625
07-mar-2003	3,4975	24-abr-2003	3,0120	10-jun-2003	2,8690
10-mar-2003	3,5230	25-abr-2003	3,0090	11-jun-2003	2,8515
11-mar-2003	3,4825	28-abr-2003	2,9620	12-jun-2003	2,8635
12-mar-2003	3,4675	29-abr-2003	2,9105	13-jun-2003	2,8385
13-mar-2003	3,4075	30-abr-2003	2,9120	16-jun-2003	2,8725
14-mar-2003	3,4325	02-mai-2003	2,9650	17-jun-2003	2,8625
17-mar-2003	3,4405	05-mai-2003	3,0400	18-jun-2003	2,8900
18-mar-2003	3,4435	06-mai-2003	3,0220	20-jun-2003	2,8900
19-mar-2003	3,4665	07-mai-2003	2,9450	23-jun-2003	2,8600

Data	Taxa de Câmbio (R\$/US\$)	Data	Taxa de Câmbio (R\$/US\$)	Data	Taxa de Câmbio (R\$/US\$)
24-jun-2003	2,8675	07-ago-2003	2,9840	22-set-2003	2,9000
25-jun-2003	2,8595	08-ago-2003	2,9865	23-set-2003	2,9310
26-jun-2003	2,8990	11-ago-2003	3,0025	24-set-2003	2,9200
27-jun-2003	2,8760	12-ago-2003	3,0285	25-set-2003	2,9400
30-jun-2003	2,8440	13-ago-2003	3,0065	26-set-2003	2,9350
01-jul-2003	2,8350	14-ago-2003	3,0060	29-set-2003	2,9270
02-jul-2003	2,8155	15-ago-2003	2,9920	30-set-2003	2,8920
03-jul-2003	2,8240	18-ago-2003	2,9925	-	-
04-jul-2003	2,8390	19-ago-2003	2,9860	-	-
07-jul-2003	2,8825	20-ago-2003	3,0025	-	-
08-jul-2003	2,8710	21-ago-2003	2,9990	-	-
09-jul-2003	2,8600	22-ago-2003	2,9865	-	-
10-jul-2003	2,8910	25-ago-2003	2,9955	-	-
11-jul-2003	2,8910	26-ago-2003	2,9870	-	-
14-jul-2003	2,8540	27-ago-2003	2,9561	-	-
15-jul-2003	2,8655	28-ago-2003	2,9550	-	-
16-jul-2003	2,8435	29-ago-2003	2,9760	-	-
17-jul-2003	2,8675	01-set-2003	2,9865	-	-
18-jul-2003	2,8875	02-set-2003	2,9630	-	-
21-jul-2003	2,8780	03-set-2003	2,9610	-	-
22-jul-2003	2,8830	04-set-2003	2,9255	-	-
23-jul-2003	2,9000	05-set-2003	2,9070	-	-
24-jul-2003	2,8855	08-set-2003	2,9500	-	-
25-jul-2003	2,8910	09-set-2003	2,9215	-	-
28-jul-2003	2,8975	10-set-2003	2,8910	-	-
29-jul-2003	2,9370	11-set-2003	2,9135	-	-
30-jul-2003	2,9685	12-set-2003	2,9020	-	-
31-jul-2003	2,9660	15-set-2003	2,8880	-	-
01-ago-2003	3,0300	16-set-2003	2,9080	-	-
04-ago-2003	3,0675	17-set-2003	2,9090	-	-
05-ago-2003	3,0173	18-set-2003	2,9040	-	-
06-ago-2003	3,0525	19-set-2003	2,9040	-	-

ANEXO B – Índice contratualmente garantido pela *Clearing* de Câmbio da BM&F

Data	Percentual		Data	Percentual		Data	Percentual	
	Garantido (%)			Garantido (%)			Garantido (%)	
	D+1	D+2		D+1	D+2		D+1	D+2
22-abr-2002	4,00	6,00	29-mai-2002	5,00	6,00	05-jul-2002	6,00	7,00
23-abr-2002	4,00	6,00	31-mai-2002	5,00	6,00	08-jul-2002	6,00	7,00
24-abr-2002	4,00	6,00	03-jun-2002	5,00	6,00	09-jul-2002	6,00	7,00
25-abr-2002	4,00	6,00	04-jun-2002	5,00	6,00	10-jul-2002	6,00	7,00
26-abr-2002	4,00	6,00	05-jun-2002	5,00	6,00	11-jul-2002	6,00	7,00
29-abr-2002	4,00	6,00	06-jun-2002	5,00	6,00	12-jul-2002	6,00	7,00
30-abr-2002	4,00	6,00	07-jun-2002	5,00	6,00	15-jul-2002	6,00	7,00
02-mai-2002	4,00	6,00	10-jun-2002	5,00	6,00	16-jul-2002	6,00	7,00
03-mai-2002	4,00	6,00	11-jun-2002	5,00	6,00	17-jul-2002	6,00	7,00
06-mai-2002	4,00	6,00	12-jun-2002	5,00	6,00	18-jul-2002	6,00	7,00
07-mai-2002	4,00	6,00	13-jun-2002	5,00	6,00	19-jul-2002	6,00	7,00
08-mai-2002	4,00	6,00	14-jun-2002	5,00	6,00	22-jul-2002	6,00	7,00
09-mai-2002	4,00	6,00	17-jun-2002	6,00	7,00	23-jul-2002	6,00	7,00
10-mai-2002	4,00	6,00	18-jun-2002	6,00	7,00	24-jul-2002	6,00	7,00
13-mai-2002	4,00	6,00	19-jun-2002	6,00	7,00	25-jul-2002	6,00	7,00
14-mai-2002	4,00	6,00	20-jun-2002	6,00	7,00	26-jul-2002	6,00	7,00
15-mai-2002	4,00	6,00	21-jun-2002	6,00	7,00	29-jul-2002	6,00	7,00
16-mai-2002	4,00	6,00	24-jun-2002	6,00	7,00	30-jul-2002	6,00	7,00
17-mai-2002	4,00	6,00	25-jun-2002	6,00	7,00	31-jul-2002	8,00	9,00
20-mai-2002	4,00	6,00	26-jun-2002	6,00	7,00	01-ago-2002	8,00	9,00
21-mai-2002	4,00	6,00	27-jun-2002	6,00	7,00	02-ago-2002	9,00	11,00
22-mai-2002	5,00	6,00	28-jun-2002	6,00	7,00	05-ago-2002	9,00	11,00
23-mai-2002	5,00	6,00	01-jul-2002	6,00	7,00	06-ago-2002	9,00	11,00
24-mai-2002	5,00	6,00	02-jul-2002	6,00	7,00	07-ago-2002	9,00	11,00
27-mai-2002	5,00	6,00	03-jul-2002	6,00	7,00	08-ago-2002	9,00	11,00
28-mai-2002	5,00	6,00	04-jul-2002	6,00	7,00	09-ago-2002	9,00	11,00

Data	Percentual		Data	Percentual		Data	Percentual	
	Garantido (%)			Garantido (%)			Garantido (%)	
	D+1	D+2		D+1	D+2		D+1	D+2
12-ago-2002	9,00	11,00	24-set-2002	9,00	11,00	06-nov-2002	9,00	11,00
13-ago-2002	9,00	11,00	25-set-2002	9,00	11,00	07-nov-2002	9,00	11,00
14-ago-2002	9,00	11,00	26-set-2002	9,00	11,00	08-nov-2002	9,00	11,00
15-ago-2002	10,00	13,00	27-set-2002	9,00	11,00	11-nov-2002	9,00	11,00
16-ago-2002	10,00	13,00	30-set-2002	9,00	11,00	12-nov-2002	9,00	11,00
19-ago-2002	10,00	13,00	01-out-2002	9,00	11,00	13-nov-2002	9,00	11,00
20-ago-2002	10,00	13,00	02-out-2002	9,00	11,00	14-nov-2002	9,00	11,00
21-ago-2002	10,00	13,00	03-out-2002	9,00	11,00	18-nov-2002	9,00	11,00
22-ago-2002	10,00	13,00	04-out-2002	9,00	11,00	19-nov-2002	9,00	11,00
23-ago-2002	10,00	13,00	07-out-2002	9,00	11,00	20-nov-2002	9,00	11,00
26-ago-2002	10,00	13,00	08-out-2002	9,00	11,00	21-nov-2002	9,00	11,00
27-ago-2002	10,00	13,00	09-out-2002	9,00	11,00	22-nov-2002	9,00	11,00
28-ago-2002	10,00	13,00	10-out-2002	9,00	11,00	25-nov-2002	9,00	11,00
29-ago-2002	9,00	11,00	11-out-2002	9,00	11,00	26-nov-2002	9,00	11,00
30-ago-2002	9,00	11,00	14-out-2002	9,00	11,00	27-nov-2002	9,00	11,00
02-set-2002	9,00	11,00	15-out-2002	9,00	11,00	28-nov-2002	9,00	11,00
03-set-2002	9,00	11,00	16-out-2002	9,00	11,00	29-nov-2002	9,00	11,00
04-set-2002	9,00	11,00	17-out-2002	9,00	11,00	02-dez-2002	9,00	11,00
05-set-2002	9,00	11,00	18-out-2002	9,00	11,00	03-dez-2002	9,00	11,00
06-set-2002	9,00	11,00	21-out-2002	9,00	11,00	04-dez-2002	9,00	11,00
09-set-2002	9,00	11,00	22-out-2002	9,00	11,00	05-dez-2002	9,00	11,00
10-set-2002	9,00	11,00	23-out-2002	9,00	11,00	06-dez-2002	9,00	11,00
11-set-2002	9,00	11,00	24-out-2002	9,00	11,00	09-dez-2002	9,00	11,00
12-set-2002	9,00	11,00	25-out-2002	9,00	11,00	10-dez-2002	9,00	11,00
13-set-2002	9,00	11,00	28-out-2002	9,00	11,00	11-dez-2002	9,00	11,00
16-set-2002	9,00	11,00	29-out-2002	9,00	11,00	12-dez-2002	9,00	11,00
17-set-2002	9,00	11,00	30-out-2002	9,00	11,00	13-dez-2002	9,00	11,00
18-set-2002	9,00	11,00	31-out-2002	9,00	11,00	16-dez-2002	9,00	11,00
19-set-2002	9,00	11,00	01-nov-2002	9,00	11,00	17-dez-2002	9,00	11,00
20-set-2002	9,00	11,00	04-nov-2002	9,00	11,00	18-dez-2002	9,00	11,00
23-set-2002	9,00	11,00	05-nov-2002	9,00	11,00	19-dez-2002	9,00	11,00

Data	Percentual		Data	Percentual		Data	Percentual	
	Garantido (%)			Garantido (%)			Garantido (%)	
	D+1	D+2		D+1	D+2		D+1	D+2
20-dez-2002	9,00	11,00	06-fev-2003	9,00	11,00	25-mar-2003	9,00	11,00
23-dez-2002	9,00	11,00	07-fev-2003	9,00	11,00	26-mar-2003	9,00	11,00
24-dez-2002	9,00	11,00	10-fev-2003	9,00	11,00	27-mar-2003	9,00	11,00
26-dez-2002	9,00	11,00	11-fev-2003	9,00	11,00	28-mar-2003	9,00	11,00
27-dez-2002	9,00	11,00	12-fev-2003	9,00	11,00	31-mar-2003	9,00	11,00
30-dez-2002	9,00	11,00	13-fev-2003	9,00	11,00	01-abr-2003	9,00	11,00
02-jan-2003	9,00	11,00	14-fev-2003	9,00	11,00	02-abr-2003	9,00	11,00
03-jan-2003	9,00	11,00	17-fev-2003	9,00	11,00	03-abr-2003	9,00	11,00
06-jan-2003	9,00	11,00	18-fev-2003	9,00	11,00	04-abr-2003	9,00	11,00
07-jan-2003	9,00	11,00	19-fev-2003	9,00	11,00	07-abr-2003	9,00	11,00
08-jan-2003	9,00	11,00	20-fev-2003	9,00	11,00	08-abr-2003	9,00	11,00
09-jan-2003	9,00	11,00	21-fev-2003	9,00	11,00	09-abr-2003	9,00	11,00
10-jan-2003	9,00	11,00	24-fev-2003	9,00	11,00	10-abr-2003	9,00	11,00
13-jan-2003	9,00	11,00	25-fev-2003	9,00	11,00	11-abr-2003	9,00	11,00
14-jan-2003	9,00	11,00	26-fev-2003	9,00	11,00	14-abr-2003	9,00	11,00
15-jan-2003	9,00	11,00	27-fev-2003	9,00	11,00	15-abr-2003	9,00	11,00
16-jan-2003	9,00	11,00	28-fev-2003	9,00	11,00	16-abr-2003	9,00	11,00
17-jan-2003	9,00	11,00	05-mar-2003	9,00	11,00	17-abr-2003	9,00	11,00
20-jan-2003	9,00	11,00	06-mar-2003	9,00	11,00	22-abr-2003	9,00	11,00
21-jan-2003	9,00	11,00	07-mar-2003	9,00	11,00	23-abr-2003	9,00	11,00
22-jan-2003	9,00	11,00	10-mar-2003	9,00	11,00	24-abr-2003	9,00	11,00
23-jan-2003	9,00	11,00	11-mar-2003	9,00	11,00	25-abr-2003	9,00	11,00
24-jan-2003	9,00	11,00	12-mar-2003	9,00	11,00	28-abr-2003	9,00	11,00
27-jan-2003	9,00	11,00	13-mar-2003	9,00	11,00	29-abr-2003	9,00	11,00
28-jan-2003	9,00	11,00	14-mar-2003	9,00	11,00	30-abr-2003	9,00	11,00
29-jan-2003	9,00	11,00	17-mar-2003	9,00	11,00	02-mai-2003	9,00	11,00
30-jan-2003	9,00	11,00	18-mar-2003	9,00	11,00	05-mai-2003	9,00	11,00
31-jan-2003	9,00	11,00	19-mar-2003	9,00	11,00	06-mai-2003	9,00	11,00
03-fev-2003	9,00	11,00	20-mar-2003	9,00	11,00	07-mai-2003	9,00	11,00
04-fev-2003	9,00	11,00	21-mar-2003	9,00	11,00	08-mai-2003	9,00	11,00
05-fev-2003	9,00	11,00	24-mar-2003	9,00	11,00	09-mai-2003	9,00	11,00

Data	Percentual		Data	Percentual		Data	Percentual	
	Garantido (%)			Garantido (%)			Garantido (%)	
	D+1	D+2		D+1	D+2		D+1	D+2
12-mai-2003	9,00	11,00	25-jun-2003	9,00	11,00	07-ago-2003	9,00	11,00
13-mai-2003	9,00	11,00	26-jun-2003	9,00	11,00	08-ago-2003	9,00	11,00
14-mai-2003	9,00	11,00	27-jun-2003	9,00	11,00	11-ago-2003	9,00	11,00
15-mai-2003	9,00	11,00	30-jun-2003	9,00	11,00	12-ago-2003	9,00	11,00
16-mai-2003	9,00	11,00	01-jul-2003	9,00	11,00	13-ago-2003	9,00	11,00
19-mai-2003	9,00	11,00	02-jul-2003	9,00	11,00	14-ago-2003	9,00	11,00
20-mai-2003	9,00	11,00	03-jul-2003	9,00	11,00	15-ago-2003	9,00	11,00
21-mai-2003	9,00	11,00	04-jul-2003	9,00	11,00	18-ago-2003	9,00	11,00
22-mai-2003	9,00	11,00	07-jul-2003	9,00	11,00	19-ago-2003	9,00	11,00
23-mai-2003	9,00	11,00	08-jul-2003	9,00	11,00	20-ago-2003	9,00	11,00
26-mai-2003	9,00	11,00	09-jul-2003	9,00	11,00	21-ago-2003	9,00	11,00
27-mai-2003	9,00	11,00	10-jul-2003	9,00	11,00	22-ago-2003	9,00	11,00
28-mai-2003	9,00	11,00	11-jul-2003	9,00	11,00	25-ago-2003	9,00	11,00
29-mai-2003	9,00	11,00	14-jul-2003	9,00	11,00	26-ago-2003	9,00	11,00
30-mai-2003	9,00	11,00	15-jul-2003	9,00	11,00	27-ago-2003	9,00	11,00
02-jun-2003	9,00	11,00	16-jul-2003	9,00	11,00	28-ago-2003	9,00	11,00
03-jun-2003	9,00	11,00	17-jul-2003	9,00	11,00	29-ago-2003	9,00	11,00
04-jun-2003	9,00	11,00	18-jul-2003	9,00	11,00	01-set-2003	9,00	11,00
05-jun-2003	9,00	11,00	21-jul-2003	9,00	11,00	02-set-2003	9,00	11,00
06-jun-2003	9,00	11,00	22-jul-2003	9,00	11,00	03-set-2003	9,00	11,00
09-jun-2003	9,00	11,00	23-jul-2003	9,00	11,00	04-set-2003	9,00	11,00
10-jun-2003	9,00	11,00	24-jul-2003	9,00	11,00	05-set-2003	9,00	11,00
11-jun-2003	9,00	11,00	25-jul-2003	9,00	11,00	08-set-2003	9,00	11,00
12-jun-2003	9,00	11,00	28-jul-2003	9,00	11,00	09-set-2003	9,00	11,00
13-jun-2003	9,00	11,00	29-jul-2003	9,00	11,00	10-set-2003	9,00	11,00
16-jun-2003	9,00	11,00	30-jul-2003	9,00	11,00	11-set-2003	9,00	11,00
17-jun-2003	9,00	11,00	31-jul-2003	9,00	11,00	12-set-2003	9,00	11,00
18-jun-2003	9,00	11,00	01-ago-2003	9,00	11,00	15-set-2003	9,00	11,00
20-jun-2003	9,00	11,00	04-ago-2003	9,00	11,00	16-set-2003	9,00	11,00
23-jun-2003	9,00	11,00	05-ago-2003	9,00	11,00	17-set-2003	9,00	11,00
24-jun-2003	9,00	11,00	06-ago-2003	9,00	11,00	18-set-2003	9,00	11,00

Data	Percentual	
	Garantido (%)	
	D+1	D+2
19-set-2003	9,00	11,00
22-set-2003	9,00	11,00
23-set-2003	9,00	11,00
24-set-2003	9,00	11,00
25-set-2003	9,00	11,00
26-set-2003	9,00	11,00
29-set-2003	9,00	11,00
30-set-2003	9,00	11,00
19-set-2003	9,00	11,00

ANEXO C – Programa Eviews™ utilizado para o cálculo da volatilidade dos modelos
GARCH(1,1); EGARCH (1,1) e TARCH (1,1)

```

'          =====INÍCIO DO PROGRAMA=====

' Programa para calcular os parâmetros de um processo garch
' guardando-os em uma matriz de resultados
'
' Limpa área de trabalho

delete mat_*
delete eq_*
delete for_*
delete var*
delete se_*

' ajusta a amostra para obter o tamanho máximo
smp1 @all

' determina o tamanho do workfile
series _temp = 1
!length = @obs(_temp)
scalar tam_inicial= @obs(_temp)
delete _temp

' ajusta o tamanho da amostra
!ssize = 149

' inicializa a matriz para armazenar os resultados globais
matrix(!length-!ssize+1,29) mat_garch          ' com janelamento
matrix(!length-!ssize+1,33) mat_egarch        ' com janelamento
matrix(!length-!ssize+1,33) mat_tarch        ' com janelamento

```

```

matrix(!length-!ssize+1,29) mat_Cgarch          ' amostra crescente
matrix(!length-!ssize+1,33) mat_Cegarch        ' amostra crescente
matrix(!length-!ssize+1,33) mat_Ctarch        ' amostra crescente

' inicializa a matriz para armazenar os resultados de variância para d+1 e d+2
matrix(!length-!ssize-1,2) mat_var_garch      ' com janelamento
matrix(!length-!ssize-1,2) mat_var_egarch     ' com janelamento
matrix(!length-!ssize-1,2) mat_var_tarch     ' com janelamento

matrix(!length-!ssize-1,2) mat_var_Cgarch     ' amostra crescente
matrix(!length-!ssize-1,2) mat_var_Cegarch    ' amostra crescente
matrix(!length-!ssize-1,2) mat_var_Ctarch     ' amostra crescente

'=====INÍCIO DO PROCESSO COM JANELAMENTO=====

' executa a regressão para cada subamostra e
' armazena os resultados
'
for li = 0 to !length-!ssize-2          ' Início do laço - Define 385 iterações com janela de deslocamento

' ajusta a janela rolante para a subamostra
' de uma dada observação até 149 observações adiante
smp1 @first+!i @first+!i+!ssize-1

' Estimação da equação garch(1,1)
equation eq_garch_!i.arch(1,1,b,m=8000,c=0.00001) ret c
' eq_garch_!i.makegarch vargarch_!i          ' Gera a série de variâncias do modelo no período

' Efetua cálculo de previsão de variância com o modelo
smp1 @first+!i+!ssize @first+!i+!ssize+1    ' Ajusta período para cálculo da previsão da variância
eq_garch_!i.forecast for_eq11_!i se_eq11_!i for_garch_!i    ' Gera a série de previsão de variância
!dmais1=!i+150
!dmais2=!i+151
mat_garch(!i+1,28)=@elem(for_garch_!i,@str(!dmais1))          ' Captura previsão para D+1
mat_garch(!i+1,29)=@elem(for_garch_!i,@str(!dmais2))          ' Captura previsão para D+2

```

mat_var_garch(!i+1,1)=@elem(for_garch_!i,@str(!dmais1)) ' monta matriz de variâncias para D+1
 mat_var_garch(!i+1,2)=@elem(for_garch_!i,@str(!dmais2)) ' monta matriz de variâncias para D+2

smpl @first+!i @first+!i+!ssize-1 ' Retorna a amostra original

' Monta a matriz de resultados

mat_garch(!i+1,1)=!i+1

mat_garch(!i+1,2)=@coefs(1) ' coeficiente da equação da média condicional

mat_garch(!i+1,3)=@coefs(2) ' coeficiente da média da variância condicional

mat_garch(!i+1,4)=@coefs(3) ' coeficiente arch

mat_garch(!i+1,5)=@coefs(4) ' coeficiente garch

mat_garch(!i+1,6)=@stderrs(1) ' desvio padrão coeficiente da equação da média condicional

mat_garch(!i+1,7)=@stderrs(2) ' desvio padrão coeficiente da média da variância condicional

mat_garch(!i+1,8)=@stderrs(3) ' desvio padrão arch

mat_garch(!i+1,9)=@stderrs(4) ' desvio padrão garch

mat_garch(!i+1,10)=@tstats(1) ' estatística t coeficiente da equação da média condicional

mat_garch(!i+1,11)=@tstats(2) ' estatística t coeficiente da média da variância condicional

mat_garch(!i+1,12)=@tstats(3) ' estatística t coeficiente arch

mat_garch(!i+1,13)=@tstats(4) ' estatística t coeficiente garch

mat_garch(!i+1,14)=@dw ' estatística Durbin-Watson

mat_garch(!i+1,15)=@aic ' informação do critério de Akaike

mat_garch(!i+1,16)=@logl ' valor da função log likelihood

mat_garch(!i+1,17)=@r2 ' R2

mat_garch(!i+1,18)=@rbar2 ' R2 ajustado

mat_garch(!i+1,19)=@schwarz ' informação sobre o critério de Schwarz

mat_garch(!i+1,20)=@se ' desvio padrão da regressão

mat_garch(!i+1,21)=@ssr ' soma dos quadrados dos resíduos

mat_garch(!i+1,22)=@meandep ' média da variável dependente

mat_garch(!i+1,23)=@sddep ' desvio padrão da variável dependente

mat_garch(!i+1,24)= @tdist(@tstats(1),!ssize-@ncoef) ' prob da estatística t coeficiente da
 ' equação da média condicional

mat_garch(!i+1,25)= @tdist(@tstats(2),!ssize-@ncoef) ' prob da estatística t coeficiente da média
 ' da variância condicional

mat_garch(!i+1,26)= @tdist(@tstats(3),!ssize-@ncoef) ' prob da estatística t coeficiente arch

mat_garch(!i+1,27)= @tdist(@tstats(4),!ssize-@ncoef) ' estatística t coeficiente garch

```

' Estimação da equação egarch(1,1)
equation eq_egarch_!i.arch(1,1,e,b,m=8000,c=0.00001) ret c

Efetua cálculo de previsão de variância com o modelo
smpl @first+!i+!ssize @first+!i+!ssize+1          ' Ajusta período para cálculo da
                                                    ' previsão da variância

eq_egarch_!i.forecast for_eq11_!i se_eq11_!i for_egarch_!i          ' Gera a série de previsão de variância
!dmais1=!i+150

!dmais2=!i+151

mat_egarch(!i+1,32)=@elem(for_egarch_!i,@str(!dmais1))          ' Captura previsão para D+1
mat_egarch(!i+1,33)=@elem(for_egarch_!i,@str(!dmais2))          ' Captura previsão para D+2
mat_var_egarch(!i+1,1)= @elem(for_egarch_!i,@str(!dmais1)) ' monta matriz de variâncias para D+1
mat_var_egarch(!i+1,2)= @elem(for_egarch_!i,@str(!dmais2)) ' monta matriz de variâncias para D+2

smpl @first+!i @first+!i+!ssize-1          ' Retorna a amostra original

' Monta a matriz de resultados
mat_egarch(!i+1,1)=!i
mat_egarch(!i+1,2)=@coefs(1)          ' coeficiente da equação da média condicional
mat_egarch(!i+1,3)=@coefs(2)          ' coeficiente da média da variância condicional
mat_egarch(!i+1,4)=@coefs(3)          ' coeficiente alfa
mat_egarch(!i+1,5)=@coefs(4)          ' coeficiente gama
mat_egarch(!i+1,6)=@coefs(5)          ' coeficiente beta
mat_egarch(!i+1,7)=@stderrs(1)          ' desvio padrão coeficiente da equação da média condicional
mat_egarch(!i+1,8)=@stderrs(2)          ' desvio padrão coeficiente da média da variância condicional
mat_egarch(!i+1,9)=@stderrs(3)          ' desvio padrão alfa
mat_egarch(!i+1,10)=@stderrs(4)          ' desvio padrão gama
mat_egarch(!i+1,11)=@stderrs(5)          ' desvio padrão beta
mat_egarch(!i+1,12)=@tstats(1)          ' estatística t coeficiente da equação da média condicional
mat_egarch(!i+1,13)=@tstats(2)          ' estatística t coeficiente da média da variância condicional
mat_egarch(!i+1,14)=@tstats(3)          ' estatística t coeficiente alfa
mat_egarch(!i+1,15)=@tstats(4)          ' estatística t coeficiente gama
mat_egarch(!i+1,16)=@tstats(5)          ' estatística t coeficiente beta
mat_egarch(!i+1,17)=@dw          ' estatística Durbin-Watson

```

```

mat_egarch(!i+1,18)=@aic      ' informação do critério de Akaike
mat_egarch(!i+1,19)=@logl    ' valor da função log likelihood
mat_egarch(!i+1,20)=@r2      ' R2
mat_egarch(!i+1,21)=@rbar2   ' R2 ajustado
mat_egarch(!i+1,22)=@schwarz ' informação sobre o critério de Schwarz
mat_egarch(!i+1,23)=@se      ' desvio padrão da regressão
mat_egarch(!i+1,24)=@ssr     ' soma dos quadrados dos resíduos
mat_egarch(!i+1,25)=@meandep ' média da variável dependente
mat_egarch(!i+1,26)=@sddep   ' desvio padrão da variável dependente
mat_egarch(!i+1,27)= @tdist(@tstats(1),!ssize-1) ' prob da estatística t coeficiente da equação
                                                ' da média condicional
mat_egarch(!i+1,28)= @tdist(@tstats(2),!ssize-1) ' prob da estatística t coeficiente da média
                                                ' da variância condicional
mat_egarch(!i+1,29)= @tdist(@tstats(3),!ssize-1) ' prob da estatística t alfa
mat_egarch(!i+1,30)= @tdist(@tstats(4),!ssize-1) ' estatística t coeficiente gama
mat_egarch(!i+1,31)= @tdist(@tstats(5),!ssize-1) ' estatística t coeficiente beta

' Estimação da equação tgarch(1,1)
equation eq_tarch_!i.arch(1,1,t,b,m=8000,c=0.00001) ret c

' Efetua cálculo de previsão de variância com o modelo
smpl @first+!i+!ssize @first+!i+!ssize+1      ' Ajusta período para cálculo da previsão da variância
eq_tarch_!i.forecast for_eq11_!i se_eq11_!i for_tarch_!i      ' Gera a série de previsão de variância
!dmais1=!i+150
!dmais2=!i+151
mat_tarch(!i+1,32)=@elem(for_tarch_!i,@str(!dmais1))          ' Captura previsão para D+1
mat_tarch(!i+1,33)=@elem(for_tarch_!i,@str(!dmais2))          ' Captura previsão para D+2
mat_var_tarch(!i+1,1)=@elem(for_tarch_!i,@str(!dmais1))      ' monta matriz de variâncias para D+1
mat_var_tarch(!i+1,2)=@elem(for_tarch_!i,@str(!dmais2))      ' monta matriz de variâncias para D+2

smpl @first+!i @first+!i+!ssize-1                ' Retorna a amostra original

' Monta a matriz de resultados
mat_tarch(!i+1,1)=!i
mat_tarch(!i+1,2)=@coefs(1)      ' coeficiente da equação da média condicional

```



```

mat_tarch(!i+1,3)=@coefs(2)   ' coeficiente da média da variância condicional
mat_tarch(!i+1,4)=@coefs(3)   ' coeficiente alfa
mat_tarch(!i+1,5)=@coefs(4)   ' coeficiente gama
mat_tarch(!i+1,6)=@coefs(5)   ' coeficiente beta
mat_tarch(!i+1,7)=@stderrs(1) ' desvio padrão coeficiente da equação da média condicional
mat_tarch(!i+1,8)=@stderrs(2) ' desvio padrão coeficiente da média da variância condicional
mat_tarch(!i+1,9)=@stderrs(3) ' desvio padrão alfa
mat_tarch(!i+1,10)=@stderrs(4) ' desvio padrão gama
mat_tarch(!i+1,11)=@stderrs(5) ' desvio padrão beta
mat_tarch(!i+1,12)=@tstats(1) ' estatística t coeficiente da equação da média condicional
mat_tarch(!i+1,13)=@tstats(2) ' estatística t coeficiente da média da variância condicional
mat_tarch(!i+1,14)=@tstats(3) ' estatística t coeficiente alfa
mat_tarch(!i+1,15)=@tstats(4) ' estatística t coeficiente gama
mat_tarch(!i+1,16)=@tstats(5) ' estatística t coeficiente beta
mat_tarch(!i+1,17)=@dw        ' estatística Durbin-Watson
mat_tarch(!i+1,18)=@aic        ' informação do critério de Akaike
mat_tarch(!i+1,19)=@logl       ' valor da função log likelihood
mat_tarch(!i+1,20)=@r2         ' R2
mat_tarch(!i+1,21)=@rbar2      ' R2 ajustado
mat_tarch(!i+1,22)=@schwarz    ' informação sobre o critério de Schwarz
mat_tarch(!i+1,23)=@se         ' desvio padrão da regressão
mat_tarch(!i+1,24)=@ssr        ' soma dos quadrados dos resíduos
mat_tarch(!i+1,25)=@meandep    ' média da variável dependente
mat_tarch(!i+1,26)=@sddep      ' desvio padrão da variável dependente
mat_tarch(!i+1,27)= @tdist(@tstats(1),!ssize-1) ' prob da estatística t coeficiente da equação
                                                ' da média condicional
mat_tarch(!i+1,28)= @tdist(@tstats(2),!ssize-1) ' prob da estatística t coeficiente da média
                                                ' da variância condicional
mat_tarch(!i+1,29)= @tdist(@tstats(3),!ssize-1) ' prob da estatística t alfa
mat_tarch(!i+1,30)= @tdist(@tstats(4),!ssize-1) ' estatística t coeficiente gama
mat_tarch(!i+1,31)= @tdist(@tstats(5),!ssize-1) ' estatística t coeficiente beta

next          ' Fim do laço janelamento

```

```
'=====FIM DO PROCESSO COM JANELAMENTO====='
```

```

=====INÍCIO DO PROCESSO COM AMOSTRA CRESCENTE=====

' executa a regressão para cada subamostra e ' armazena os resultados
'
for !i = 0 to !length-!ssize-2      ' Início do laço - Define 385 iterações com deslocamento crescente

' ajusta a subamostra
smpl @first @first+!i+!ssize-1

Estimação da equação garch(1,1)
equation eq_Cgarch_!i.arch(1,1,b,m=8000,c=0.00001) ret c

' Efetua cálculo de previsão de variância com o modelo
smpl @first+!i+!ssize @first+!i+!ssize+1      ' Ajusta período para cálculo da previsão da variância
eq_Cgarch_!i.forecast for_eqC11_!i se_eqC11_!i for_Cgarch_!i ' Gera a série de previsão de variância
!dmais1=!i+150
!dmais2=!i+151
mat_Cgarch(!i+1,28)=@elem(for_Cgarch_!i,@str(!dmais1))      ' Captura previsão para D+1
mat_Cgarch(!i+1,29)=@elem(for_Cgarch_!i,@str(!dmais2))      ' Captura previsão para D+2
mat_var_Cgarch(!i+1,1)=@elem(for_Cgarch_!i,@str(!dmais1)) ' monta matriz de variâncias para D+1
mat_var_Cgarch(!i+1,2)=@elem(for_Cgarch_!i,@str(!dmais2)) ' monta matriz de variâncias para D+2

smpl @first @first+!i+!ssize-1      ' Retorna a amostra original

' Monta a matriz de resultados
mat_Cgarch(!i+1,1)=!i+1
mat_Cgarch(!i+1,2)=@coefs(1)      ' coeficiente da equação da média condicional
mat_Cgarch(!i+1,3)=@coefs(2)      ' coeficiente da média da variância condicional
mat_Cgarch(!i+1,4)=@coefs(3)      ' coeficiente arch
mat_Cgarch(!i+1,5)=@coefs(4)      ' coeficiente garch
mat_Cgarch(!i+1,6)=@stderrs(1)      ' desvio padrão coeficiente da equação da média condicional
mat_Cgarch(!i+1,7)=@stderrs(2)      ' desvio padrão coeficiente da média da variância condicional
mat_Cgarch(!i+1,8)=@stderrs(3)      ' desvio padrão arch

```

```

mat_Cgarch(!i+1,9)=@stderrs(4) ' desvio padrão garch
mat_Cgarch(!i+1,10)=@tstats(1) ' estatística t coeficiente da equação da média condicional
mat_Cgarch(!i+1,11)=@tstats(2) ' estatística t coeficiente da média da variância condicional
mat_Cgarch(!i+1,12)=@tstats(3) ' estatística t coeficiente arch
mat_Cgarch(!i+1,13)=@tstats(4) ' estatística t coeficiente garch
mat_Cgarch(!i+1,14)=@dw ' estatística Durbin-Watson
mat_Cgarch(!i+1,15)=@aic ' informação do critério de Akaike
mat_Cgarch(!i+1,16)=@logl ' valor da função log likelihood
mat_Cgarch(!i+1,17)=@r2 ' R2
mat_Cgarch(!i+1,18)=@rbar2 ' R2 ajustado
mat_Cgarch(!i+1,19)=@schwarz ' informação sobre o critério de Schwarz
mat_Cgarch(!i+1,20)=@se ' desvio padrão da regressão
mat_Cgarch(!i+1,21)=@ssr ' soma dos quadrados dos resíduos
mat_Cgarch(!i+1,22)=@meandep ' média da variável dependente
mat_Cgarch(!i+1,23)=@sddep ' desvio padrão da variável dependente
mat_Cgarch(!i+1,24)= @tdist(@tstats(1),!ssize-@ncoef) ' prob da estatística t coeficiente da
' equação da média condicional
mat_Cgarch(!i+1,25)= @tdist(@tstats(2),!ssize-@ncoef) ' prob da estatística t coeficiente da
' média da variância condicional
mat_Cgarch(!i+1,26)= @tdist(@tstats(3),!ssize-@ncoef) ' prob da estatística t coeficiente arch
mat_Cgarch(!i+1,27)= @tdist(@tstats(4),!ssize-@ncoef) ' estatística t coeficiente garch

' Estimação da equação egarch(1,1)
equation eq_Cegarch_!i.arch(1,1,e,b,m=8000,c=0.00001) ret c

' Efetua cálculo de previsão de variância com o modelo
smp1 @first+!i+!ssize @first+!i+!ssize+1 ' Ajusta período para cálculo da
' previsão da variância
eq_Cegarch_!i.forecast for_eqC11_!i se_eqC11_!i for_Cegarch_!i ' Gera a série de previsão
' de variância

!dmais1=!i+150
!dmais2=!i+151
mat_Cegarch(!i+1,32)=@elem(for_Cegarch_!i,@str(!dmais1)) ' Captura previsão para D+1
mat_Cegarch(!i+1,33)=@elem(for_Cegarch_!i,@str(!dmais2)) ' Captura previsão para D+2
mat_var_Cegarch(!i+1,1)= @elem(for_Cegarch_!i,@str(!dmais1)) ' monta matriz de variâncias

```

```

' para D+1
mat_var_Cegarch(!i+1,2)= @elem(for_Cegarch_!i,@str(!dmais2)) ' monta matriz de variâncias
' para D+2

smpl @first @first+!i+!ssize-1 ' Retorna a amostra original

' Monta a matriz de resultados
mat_Cegarch(!i+1,1)=!i
mat_Cegarch(!i+1,2)=@coefs(1) ' coeficiente da equação da média condicional
mat_Cegarch(!i+1,3)=@coefs(2) ' coeficiente da média da variância condicional
mat_Cegarch(!i+1,4)=@coefs(3) ' coeficiente alfa
mat_Cegarch(!i+1,5)=@coefs(4) ' coeficiente gama
mat_Cegarch(!i+1,6)=@coefs(5) ' coeficiente beta
mat_Cegarch(!i+1,7)=@stderrs(1) ' desvio padrão coeficiente da equação da média condicional
mat_Cegarch(!i+1,8)=@stderrs(2) ' desvio padrão coeficiente da média da variância condicional
mat_Cegarch(!i+1,9)=@stderrs(3) ' desvio padrão alfa
mat_Cegarch(!i+1,10)=@stderrs(4) ' desvio padrão gama
mat_Cegarch(!i+1,11)=@stderrs(5) ' desvio padrão beta
mat_Cegarch(!i+1,12)=@tstats(1) ' estatística t coeficiente da equação da média condicional
mat_Cegarch(!i+1,13)=@tstats(2) ' estatística t coeficiente da média da variância condicional
mat_Cegarch(!i+1,14)=@tstats(3) ' estatística t coeficiente alfa
mat_Cegarch(!i+1,15)=@tstats(4) ' estatística t coeficiente gama
mat_Cegarch(!i+1,16)=@tstats(5) ' estatística t coeficiente beta
mat_Cegarch(!i+1,17)=@dw ' estatística Durbin-Watson
mat_Cegarch(!i+1,18)=@aic ' informação do critério de Akaike
mat_Cegarch(!i+1,19)=@logl ' valor da função log likelihood
mat_Cegarch(!i+1,20)=@r2 ' R2
mat_Cegarch(!i+1,21)=@rbar2 ' R2 ajustado
mat_Cegarch(!i+1,22)=@schwarz ' informação sobre o critério de Schwarz
mat_Cegarch(!i+1,23)=@se ' desvio padrão da regressão
mat_Cegarch(!i+1,24)=@ssr ' soma dos quadrados dos resíduos
mat_Cegarch(!i+1,25)=@meandep ' média da variável dependente
mat_Cegarch(!i+1,26)=@sddep ' desvio padrão da variável dependente
mat_Cegarch(!i+1,27)= @tdist(@tstats(1),!ssize-1) ' prob da estatística t coeficiente da
' equação da média condicional

```

```

mat_Cegarch(!i+1,28)= @tdist(@tstats(2),!ssize-1) ' prob da estatística t coeficiente da média
                                     ' da variância condicional
mat_Cegarch(!i+1,29)= @tdist(@tstats(3),!ssize-1) ' prob da estatística t alfa
mat_Cegarch(!i+1,30)= @tdist(@tstats(4),!ssize-1) ' estatística t coeficiente gama
mat_Cegarch(!i+1,31)= @tdist(@tstats(5),!ssize-1) ' estatística t coeficiente beta

' Estimação da equação tgarch(1,1)
equation eq_Ctarch_!i.arch(1,1,t,b,m=8000,c=0.00001) ret c

' Efetua cálculo de previsão de variância com o modelo
smpl @first+!i+!ssize @first+!i+!ssize+1 ' Ajusta período para cálculo da previsão da variância
eq_Ctarch_!i.forecast for_eqC11_!i se_eqC11_!i for_Ctarch_!i ' Gera a série de previsão de variância
!dmais1=!i+150
!dmais2=!i+151
mat_Ctarch(!i+1,32)=@elem(for_Ctarch_!i,@str(!dmais1)) ' Captura previsão para D+1
mat_Ctarch(!i+1,33)=@elem(for_Ctarch_!i,@str(!dmais2)) ' Captura previsão para D+2
mat_var_Ctarch(!i+1,1)=@elem(for_Ctarch_!i,@str(!dmais1)) ' monta matriz de variâncias para D+1
mat_var_Ctarch(!i+1,2)=@elem(for_Ctarch_!i,@str(!dmais2)) ' monta matriz de variâncias para D+2

smpl @first @first+!i+!ssize-1 ' Retorna a amostra original

' Monta a matriz de resultados
mat_Ctarch(!i+1,1)=!i
mat_Ctarch(!i+1,2)=@coefs(1) ' coeficiente da equação da média condicional
mat_Ctarch(!i+1,3)=@coefs(2) ' coeficiente da média da variância condicional
mat_Ctarch(!i+1,4)=@coefs(3) ' coeficiente alfa
mat_Ctarch(!i+1,5)=@coefs(4) ' coeficiente gama
mat_Ctarch(!i+1,6)=@coefs(5) ' coeficiente beta
mat_Ctarch(!i+1,7)=@stderrs(1) ' desvio padrão coeficiente da equação da média condicional
mat_Ctarch(!i+1,8)=@stderrs(2) ' desvio padrão coeficiente da média da variância condicional
mat_Ctarch(!i+1,9)=@stderrs(3) ' desvio padrão alfa
mat_Ctarch(!i+1,10)=@stderrs(4) ' desvio padrão gama
mat_Ctarch(!i+1,11)=@stderrs(5) ' desvio padrão beta
mat_Ctarch(!i+1,12)=@tstats(1) ' estatística t coeficiente da equação da média condicional
mat_Ctarch(!i+1,13)=@tstats(2) ' estatística t coeficiente da média da variância condicional

```

```

mat_Ctarch(!i+1,14)=@tstats(3) ' estatística t coeficiente alfa
mat_Ctarch(!i+1,15)=@tstats(4) ' estatística t coeficiente gama
mat_Ctarch(!i+1,16)=@tstats(5) ' estatística t coeficiente beta
mat_Ctarch(!i+1,17)=@dw      ' estatística Durbin-Watson
mat_Ctarch(!i+1,18)=@aic     ' informação do critério de Akaike
mat_Ctarch(!i+1,19)=@logl    ' valor da função log likelihood
mat_Ctarch(!i+1,20)=@r2      ' R2
mat_Ctarch(!i+1,21)=@rbar2   ' R2 ajustado
mat_Ctarch(!i+1,22)=@schwarz ' informação sobre o critério de Schwarz
mat_Ctarch(!i+1,23)=@se      ' desvio padrão da regressão
mat_Ctarch(!i+1,24)=@ssr     ' soma dos quadrados dos resíduos
mat_Ctarch(!i+1,25)=@meandep ' média da variável dependente
mat_Ctarch(!i+1,26)=@sddep   ' desvio padrão da variável dependente
mat_Ctarch(!i+1,27)= @tdist(@tstats(1),!ssize-1) ' prob da estatística t coeficiente da equação
                                                ' da média condicional
mat_Ctarch(!i+1,28)= @tdist(@tstats(2),!ssize-1) ' prob da estatística t coeficiente da média
                                                ' da variância condicional
mat_Ctarch(!i+1,29)= @tdist(@tstats(3),!ssize-1) ' prob da estatística t alfa
mat_Ctarch(!i+1,30)= @tdist(@tstats(4),!ssize-1) ' estatística t coeficiente gama
mat_Ctarch(!i+1,31)= @tdist(@tstats(5),!ssize-1) ' estatística t coeficiente beta

```

```

next          ' Fim do laço com amostra crescente

```

```

'=====FIM DO PROCESSO COM AMOSTRA CRESCENTE=====

```

```

'=====FIM DO PROGRAMA=====

```

ANEXO D – Roteiro de entrevista

Roteiro básico de entrevista

1) Dados do Entrevistado:

- a) Nome completo
- b) Cargo ocupado e principais atribuições
- c) Tempo na função
- d) Formação acadêmica

2) Aspectos negociais:

- a) Qual a importância do setor de câmbio na instituição?
- b) Aproximadamente quantas pessoas atuam diretamente na área de câmbio?
- c) Como se processa a atuação da instituição no mercado interbancário de câmbio? Quais os principais impactos observados com a entrada em funcionamento do novo SPB?
- d) Há quanto tempo negociam com a *Clearing* de Câmbio da BM&F? Qual as vantagens e desvantagens?
- e) Como é efetuado o gerenciamento de riscos na instituição? Há metodologias específicas para isto? Quais? Há um comitê específico?

- f) Existe um modelo econométrico para a previsão de volatilidade? Qual (ais)? Como foi (ram) efetuada(s) escolhas? Quais foram os critérios utilizados?
- g) Na sua opinião, o modelo atende as necessidades da instituição? Quais as principais virtudes? E defeitos?
- h) O valor previsto pelo modelo é o mesmo utilizado ou há uma avaliação posterior? Quem faz a avaliação posterior? Quais são os critérios/indicadores/parâmetros utilizados?
- i) Você saberia indicar qual é o modelo de predição de volatilidade utilizado pela *Clearing* de Câmbio?
- j) Qual é a sua opinião sobre o valor e a suficiência das garantias estipuladas pela *Clearing* de Câmbio? Qual sua perspectiva futura sobre esse assunto?

ANEXO E – Comparação entre a *volatilidade real* e a prevista pelos modelos econométricos

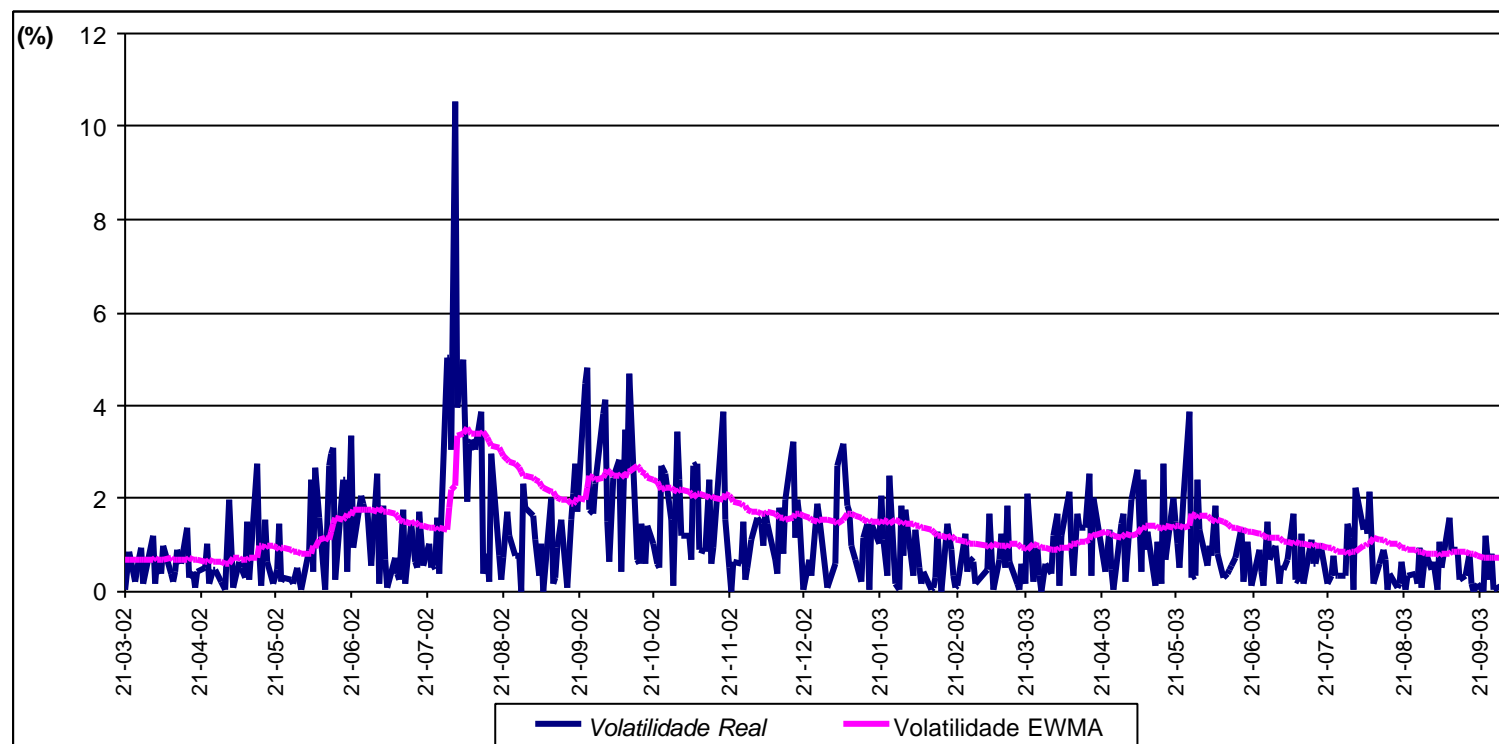


Gráfico 13 – Comparação entre a *volatilidade real* e a volatilidade prevista pelo modelo EWMA, expressas na forma de desvio-padrão, para D+1

Fonte – Elaborado pelo autor da dissertação.

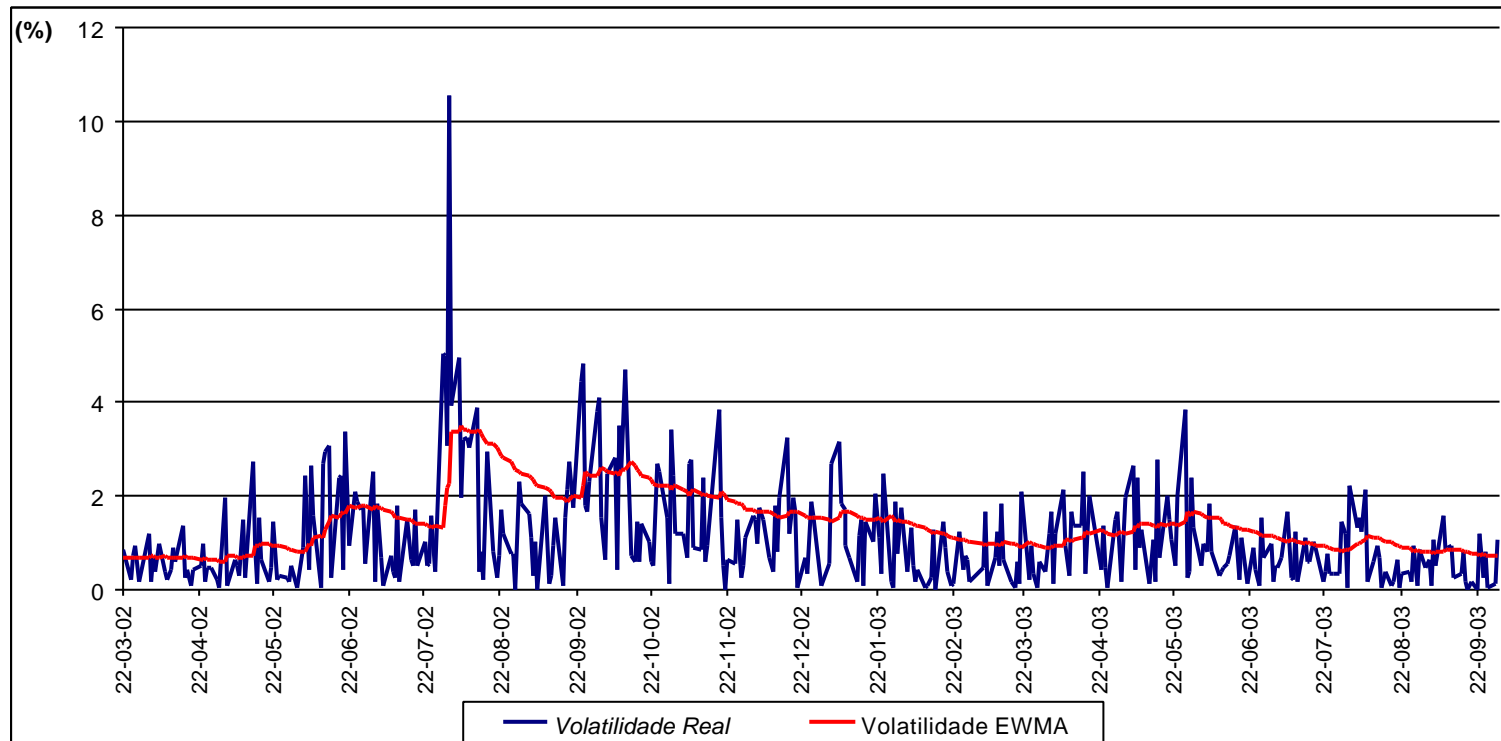


Gráfico 14 – Comparação entre a *volatilidade real* e a volatilidade prevista pelo modelo EWMA, expressas na forma de desvio-padrão, para D+2

Fonte – Elaborado pelo autor da dissertação.

]

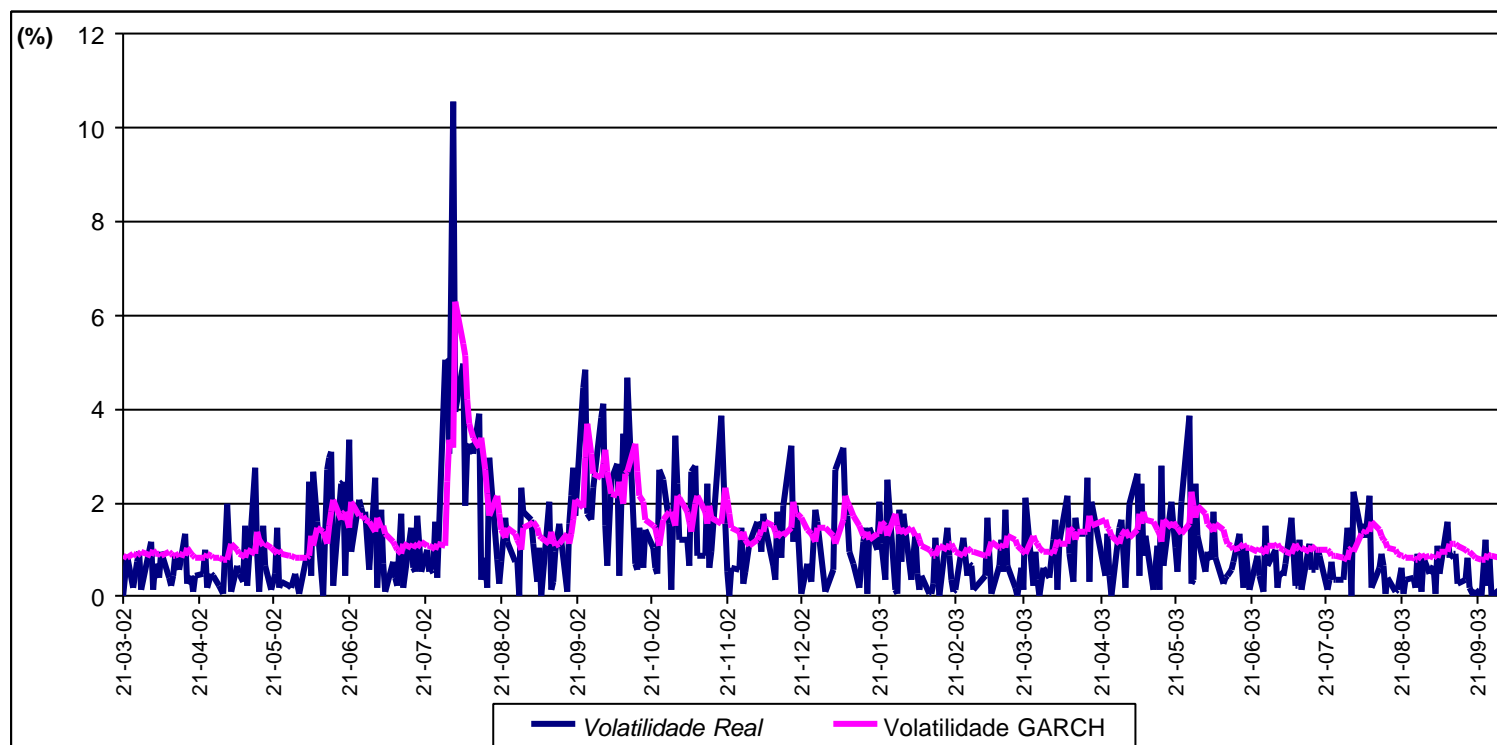


Gráfico 15 – Comparação entre a *volatilidade real* e a volatilidade prevista pelo modelo GARCH, expressas na forma de desvio-padrão, para D+1

Fonte – Elaborado pelo autor da dissertação.

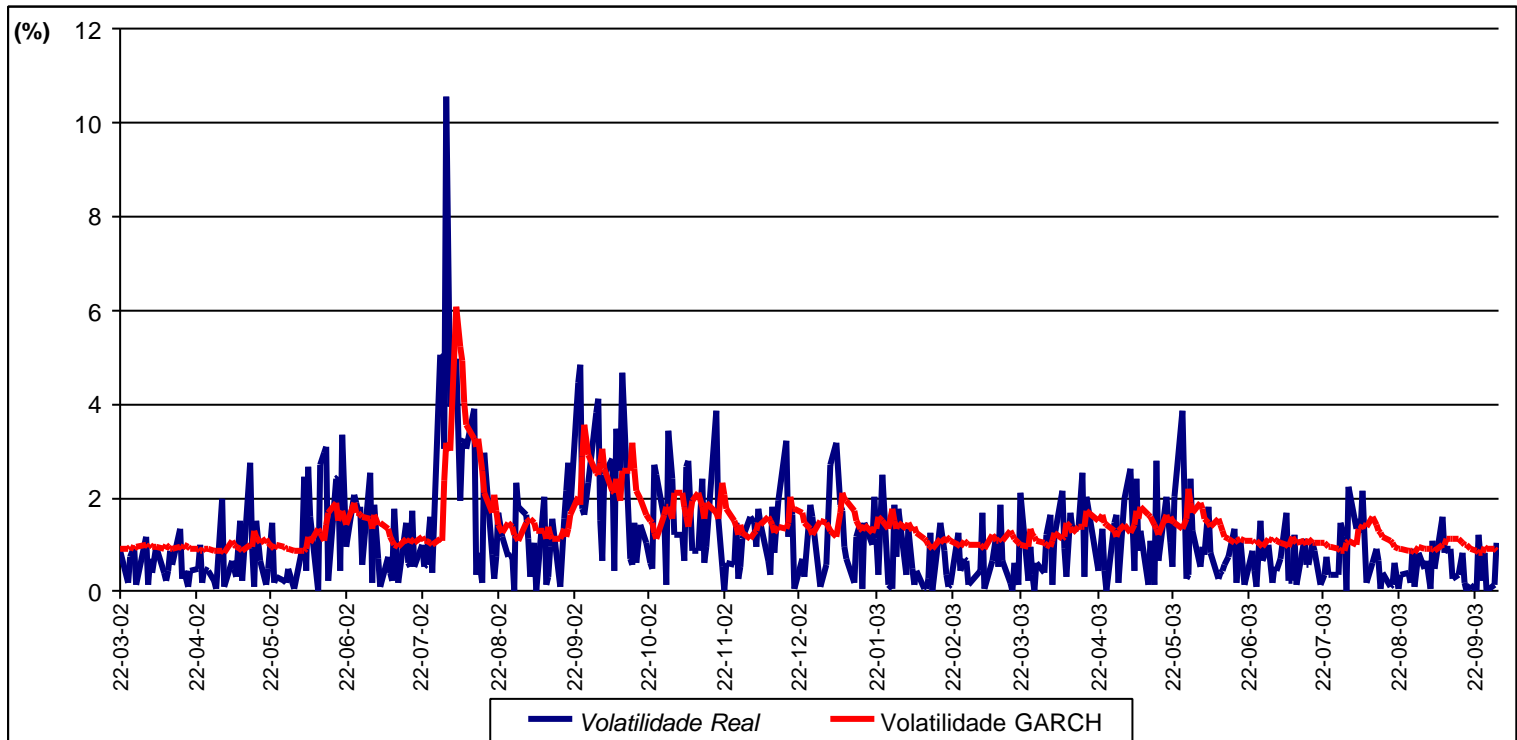


Gráfico 16 – Comparação entre a *volatilidade real* e a volatilidade prevista pelo modelo GARCH, expressas na forma de desvio-padrão, para D+2

Fonte – Elaborado pelo autor da dissertação.

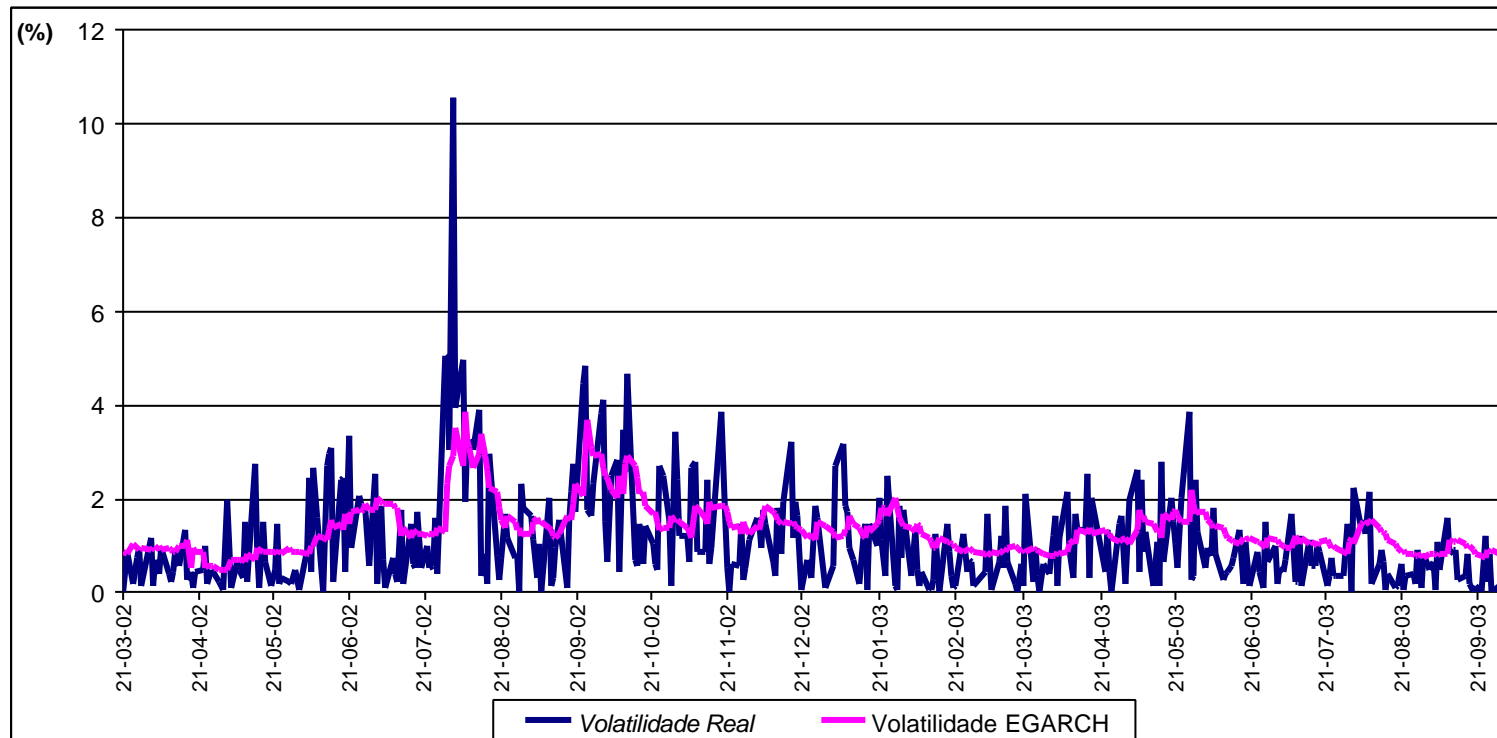


Gráfico 17 – Comparação entre a *volatilidade real* e a volatilidade prevista pelo modelo EGARCH, expressas na forma de desvio-padrão, para D+1

Fonte – Elaborado pelo autor da dissertação.

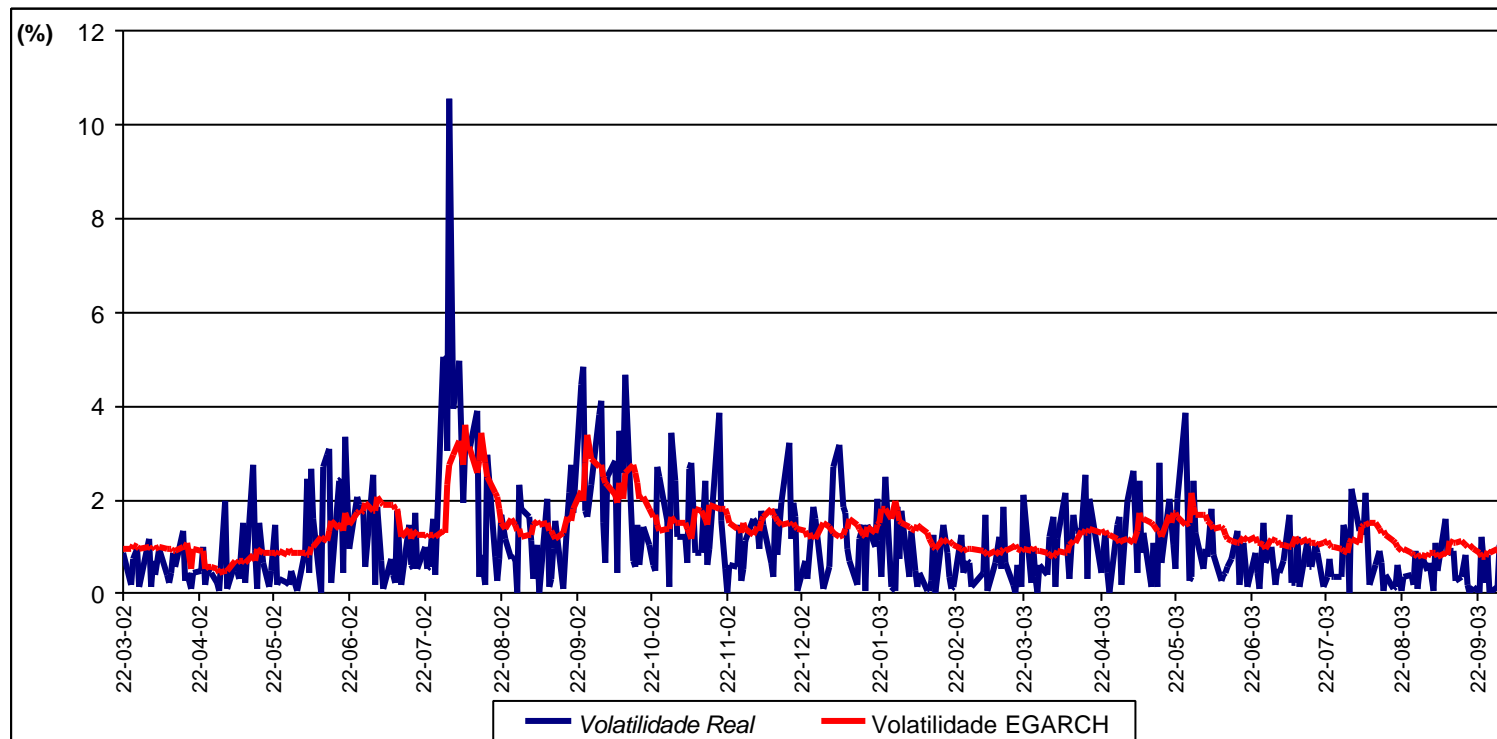


Gráfico 18 – Comparação entre a *volatilidade real* e a volatilidade prevista pelo modelo EGARCH, expressas na forma de desvio-padrão, para D+2

Fonte – Elaborado pelo autor da dissertação.

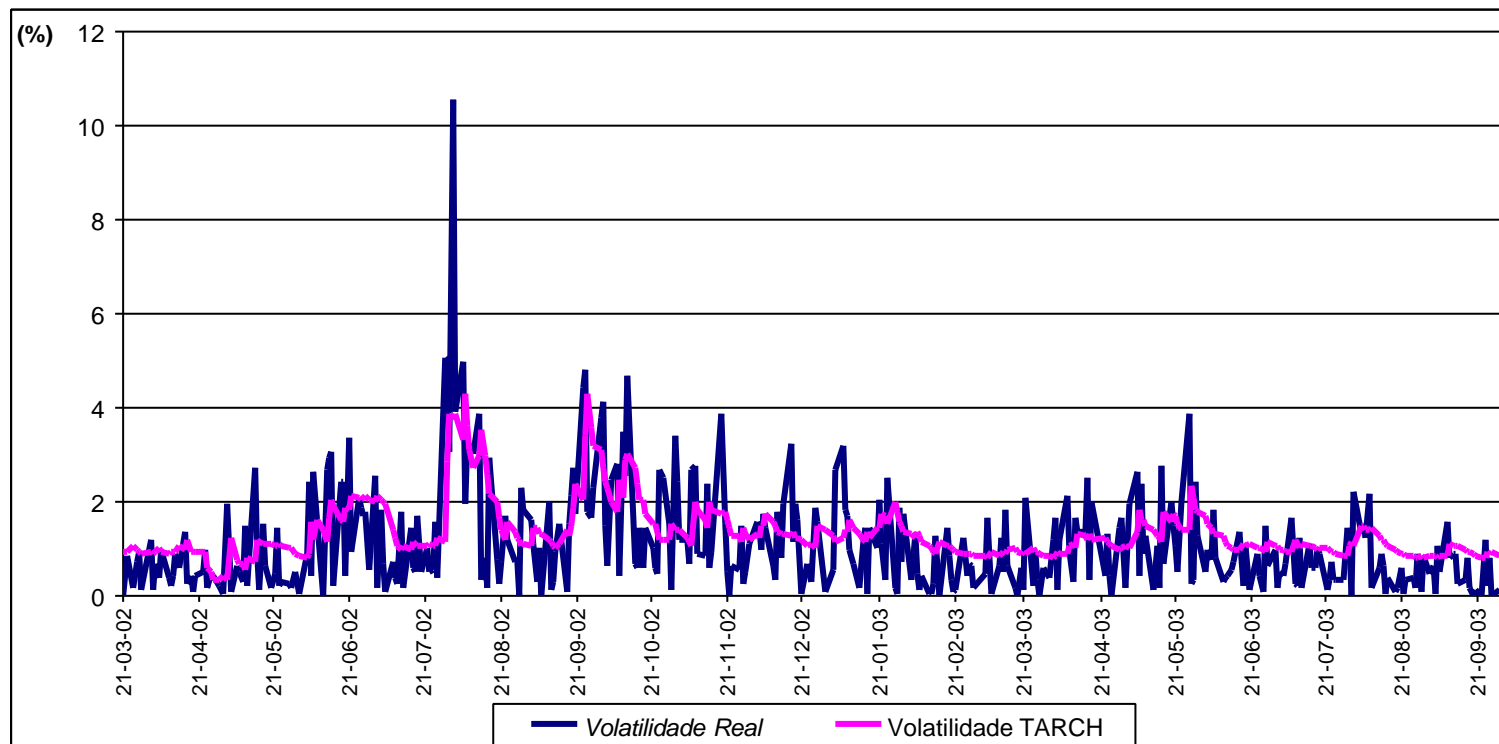


Gráfico 19 – Comparação entre a *volatilidade real* e a volatilidade prevista pelo modelo TARCH, expressas na forma de desvio-padrão, para D+1

Fonte – Elaborado pelo autor da dissertação.

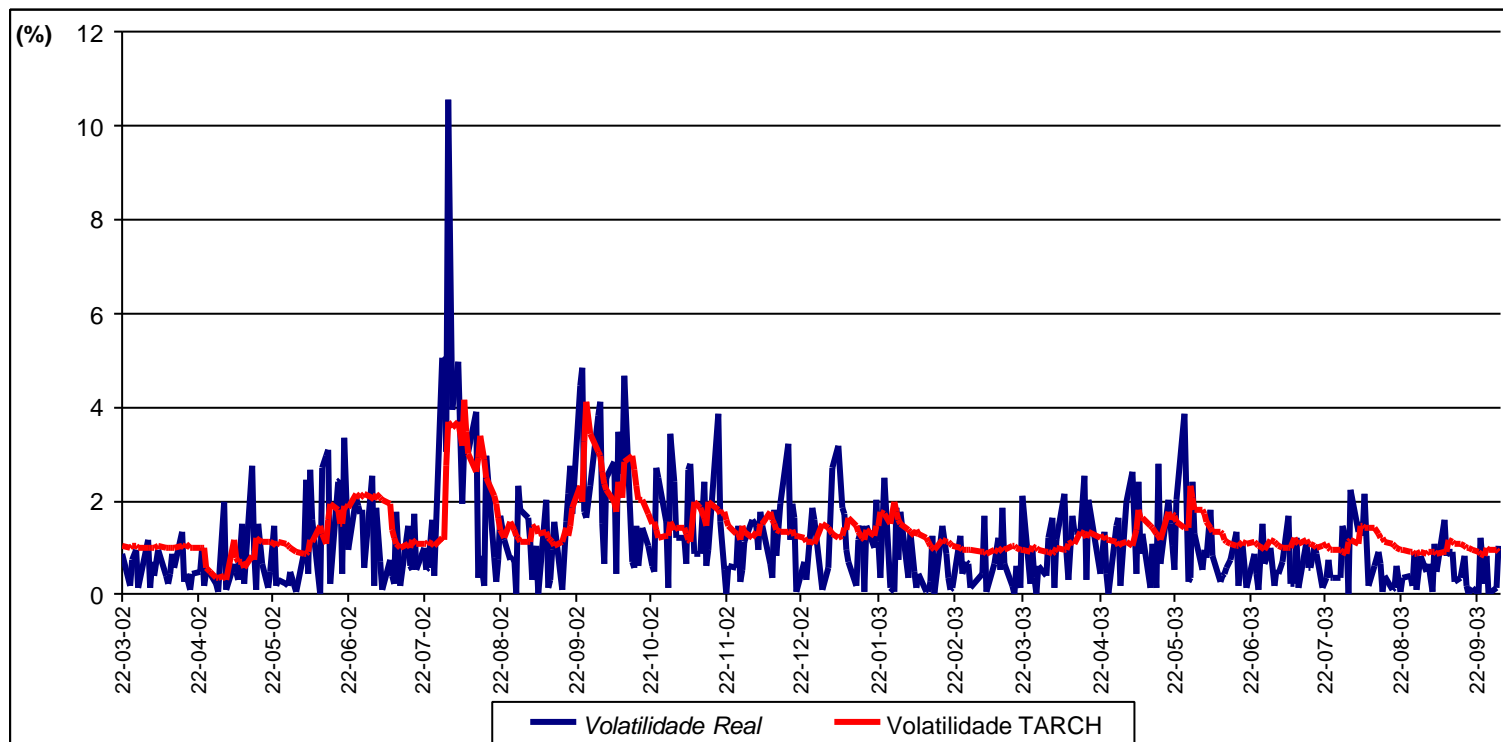


Gráfico 20 – Comparação entre a *volatilidade real* e a volatilidade prevista pelo modelo TARCH, expressas na forma de desvio-padrão, para D+2

Fonte – Elaborado pelo autor da dissertação.

ANEXO F – Comparação entre a *volatilidade real* e os índices calculados com base na volatilidade prevista pelos modelos econométricos

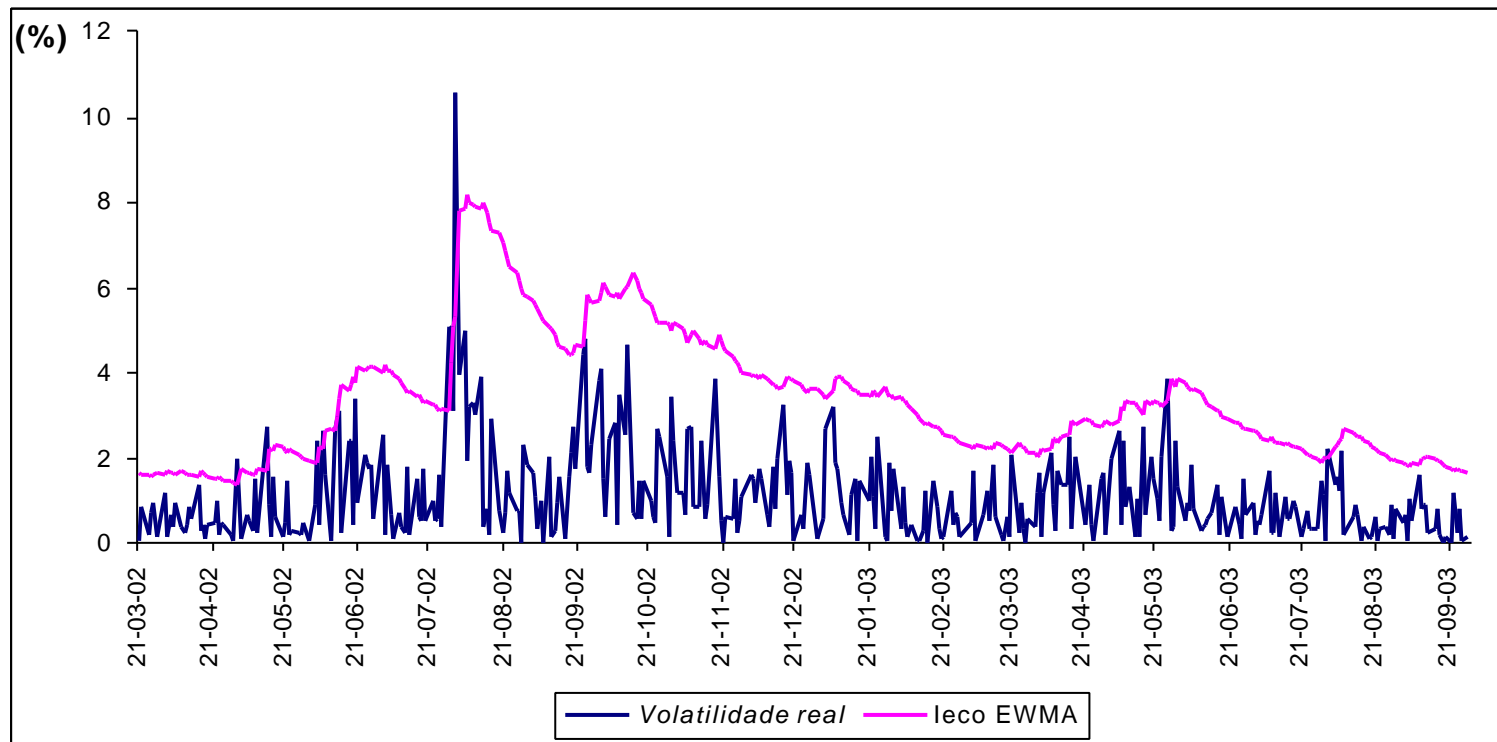
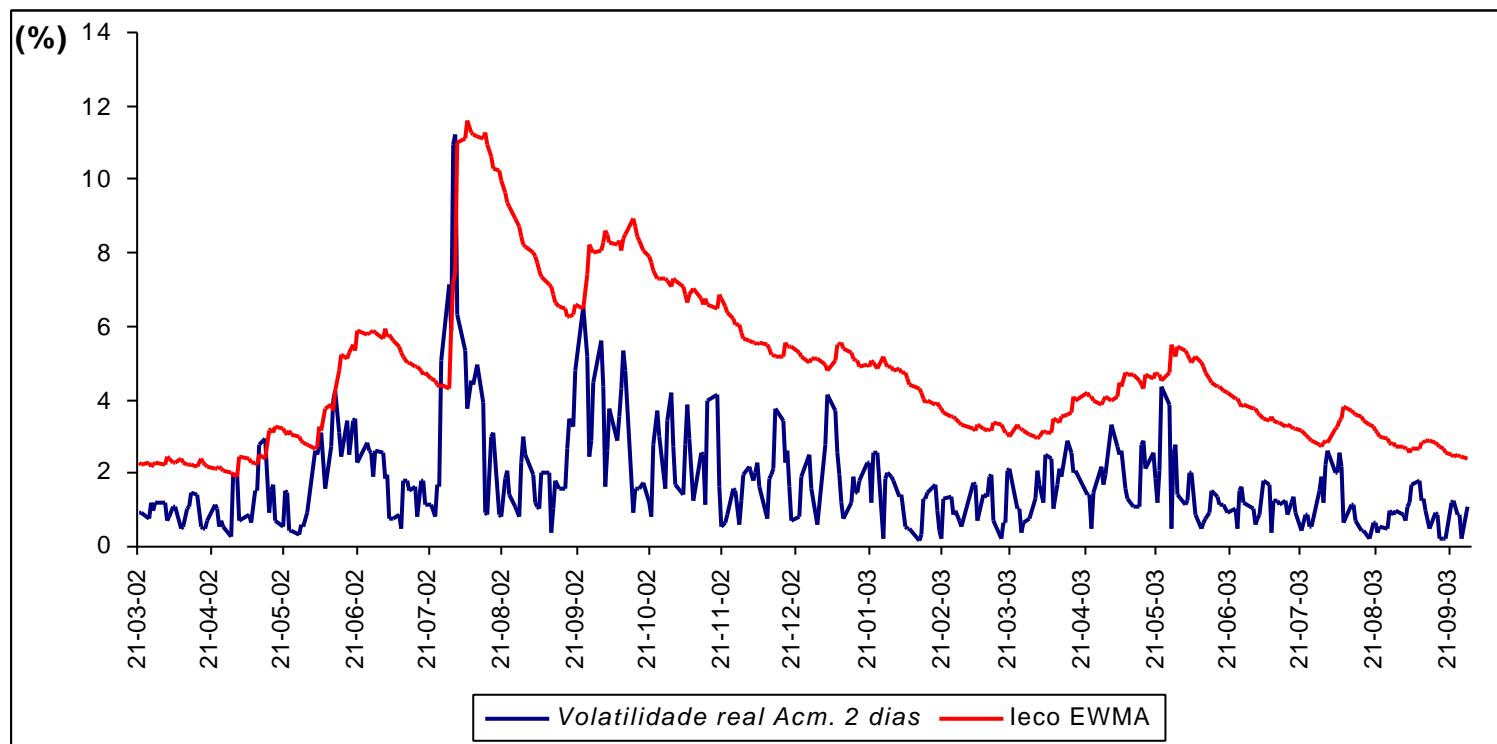


Gráfico 21 – Comparação entre a *volatilidade real* diária, expressa na forma de desvio-padrão, e o índice econométrico (I_{eco}), calculado com base no modelo EWMA, para D+1

Fonte – Elaborado pelo autor da dissertação.

Gráfico 22 – Comparação entre a *volatilidade real* acumulada em dois dias, expressa na forma de desvio-padrão, e o índice econométrico (I_{eco}),



calculado com base no modelo EWMA, para cobertura de variações da taxa de câmbio no mesmo período

Fonte – Elaborado pelo autor da dissertação.

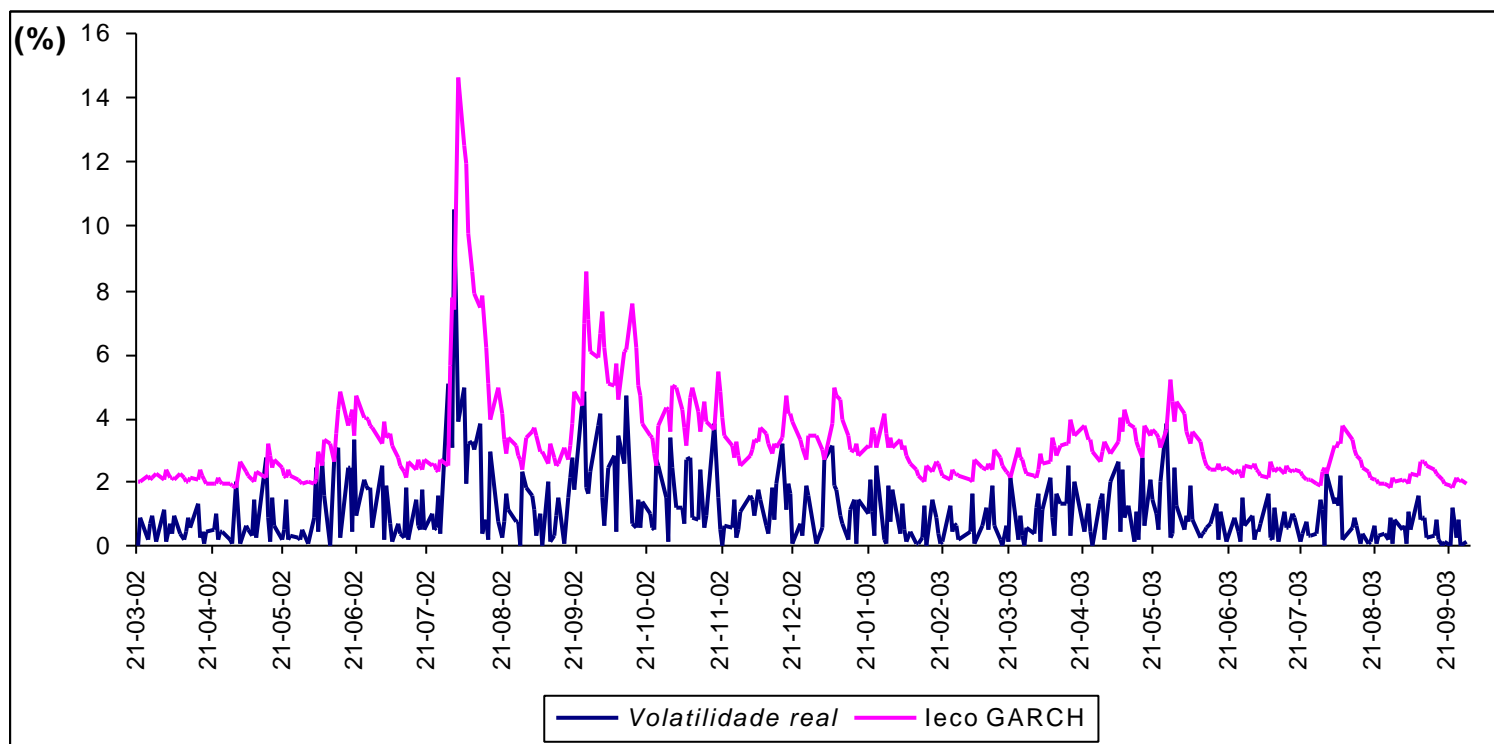


Gráfico 23 – Comparação entre a *volatilidade real* diária, expressa na forma de desvio-padrão, e o índice econométrico (I_{eco}), calculado com base no modelo GARCH, para D+1

Fonte – Elaborado pelo autor da dissertação.

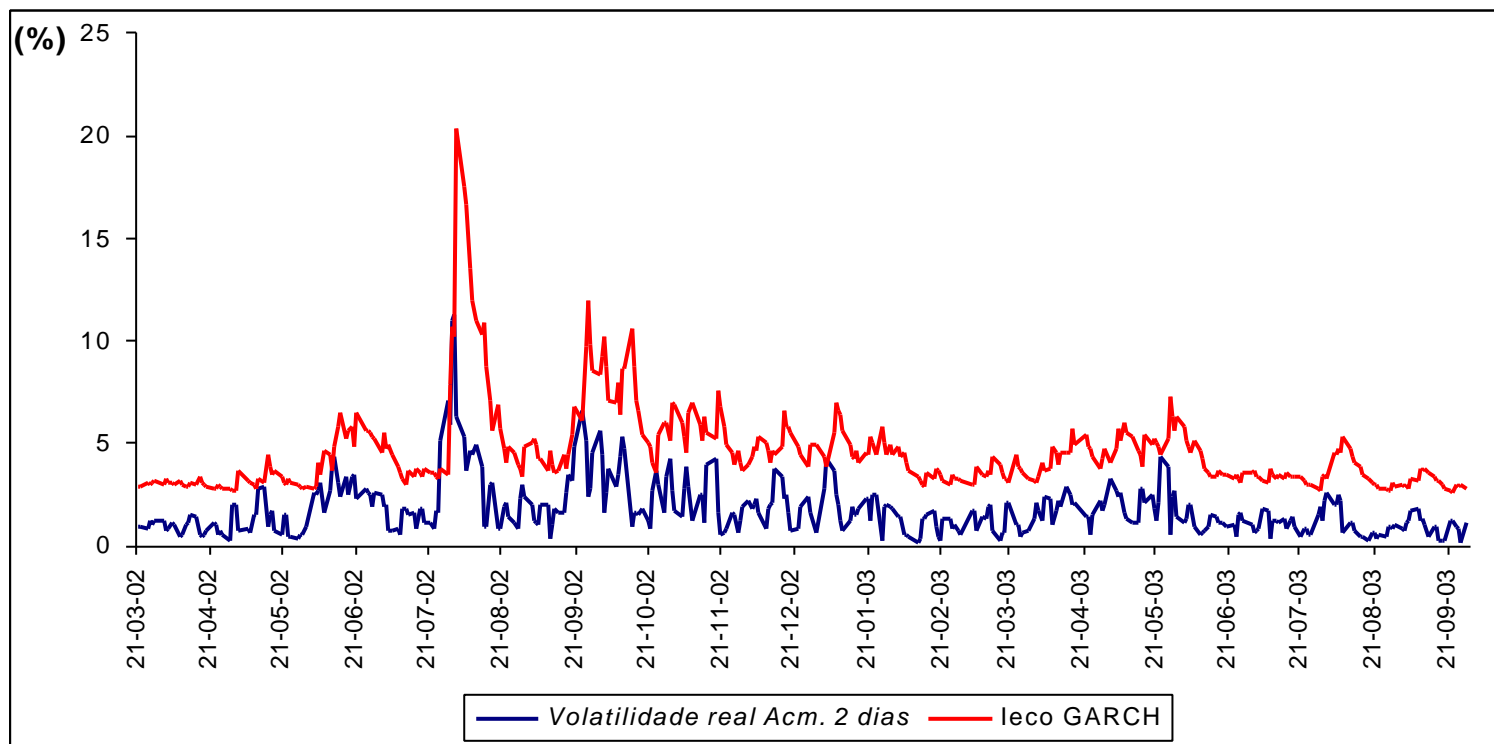


Gráfico 24 – Comparação entre a *volatilidade real* acumulada em dois dias, expressa na forma de desvio-padrão, e o índice econométrico (I_{eco}), calculado com base no modelo GARCH, para cobertura de variações da taxa de câmbio no mesmo período

Fonte – Elaborado pelo autor da dissertação.

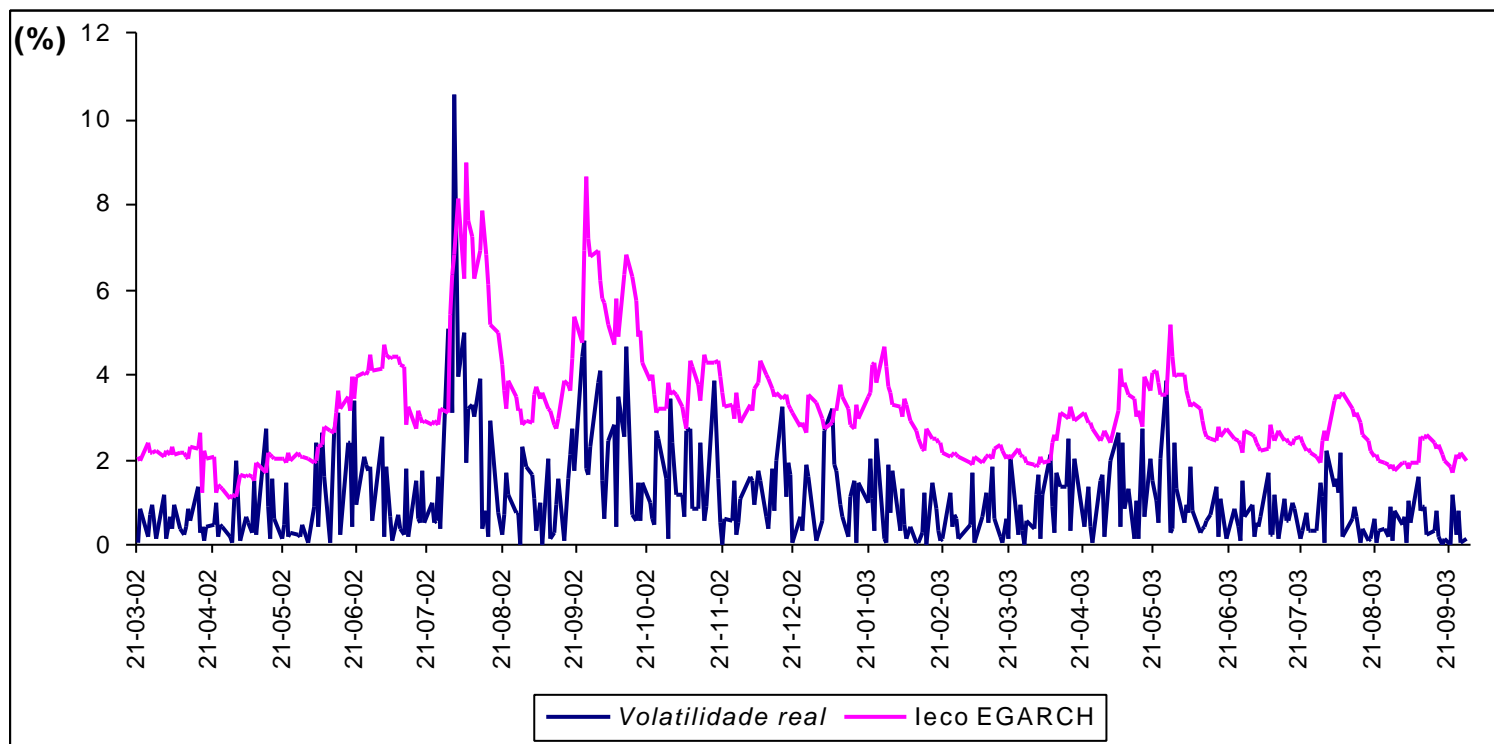


Gráfico 25 – Comparação entre a *volatilidade real* diária, expressa na forma de desvio-padrão, e o índice econométrico (I_{eco}), calculado com base no modelo EGARCH, para D+1

Fonte – Elaborado pelo autor da dissertação.

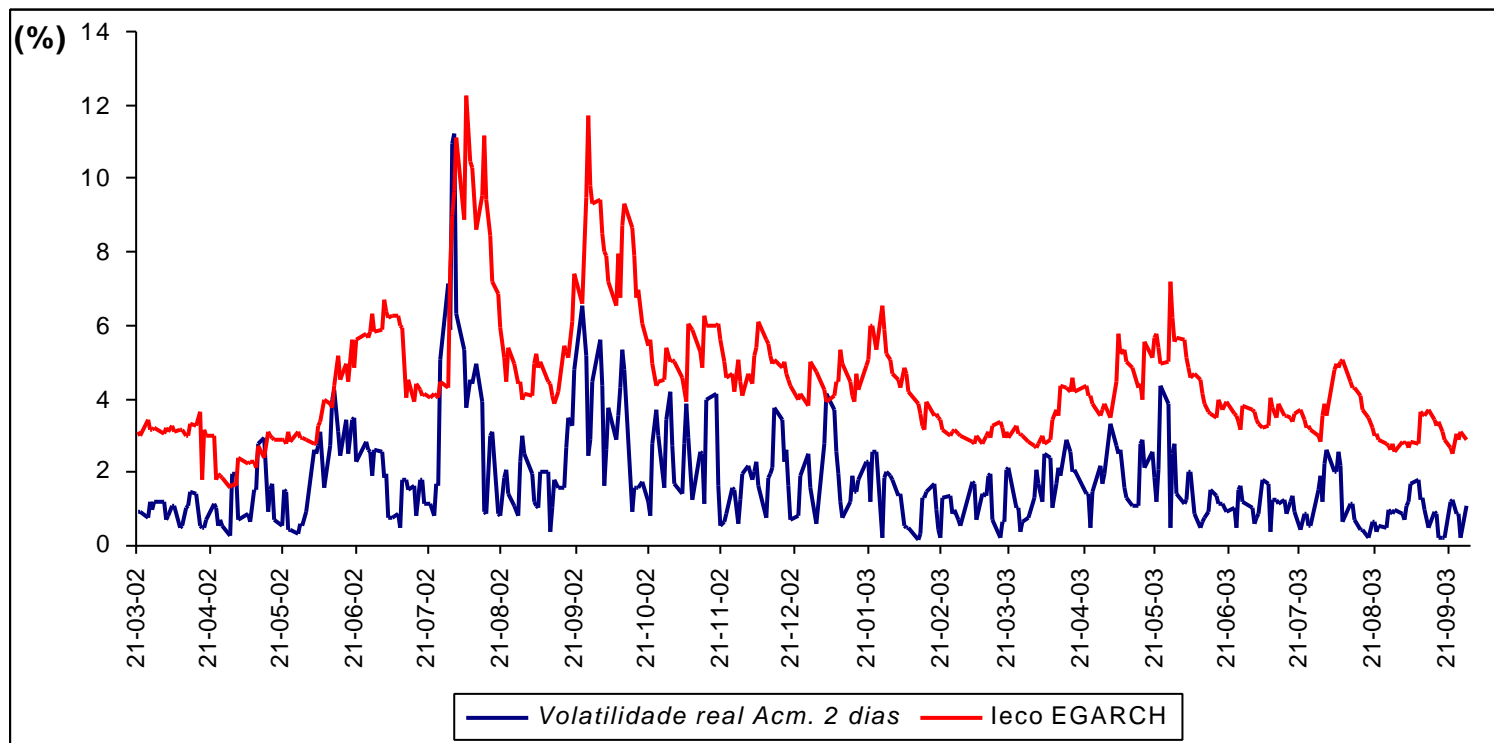


Gráfico 26 – Comparação entre a *volatilidade real* acumulada em dois dias, expressa na forma de desvio-padrão, e o índice econométrico (I_{eco}), calculado com base no modelo EGARCH, para cobertura de variações da taxa de câmbio no mesmo período

Fonte – Elaborado pelo autor da dissertação.

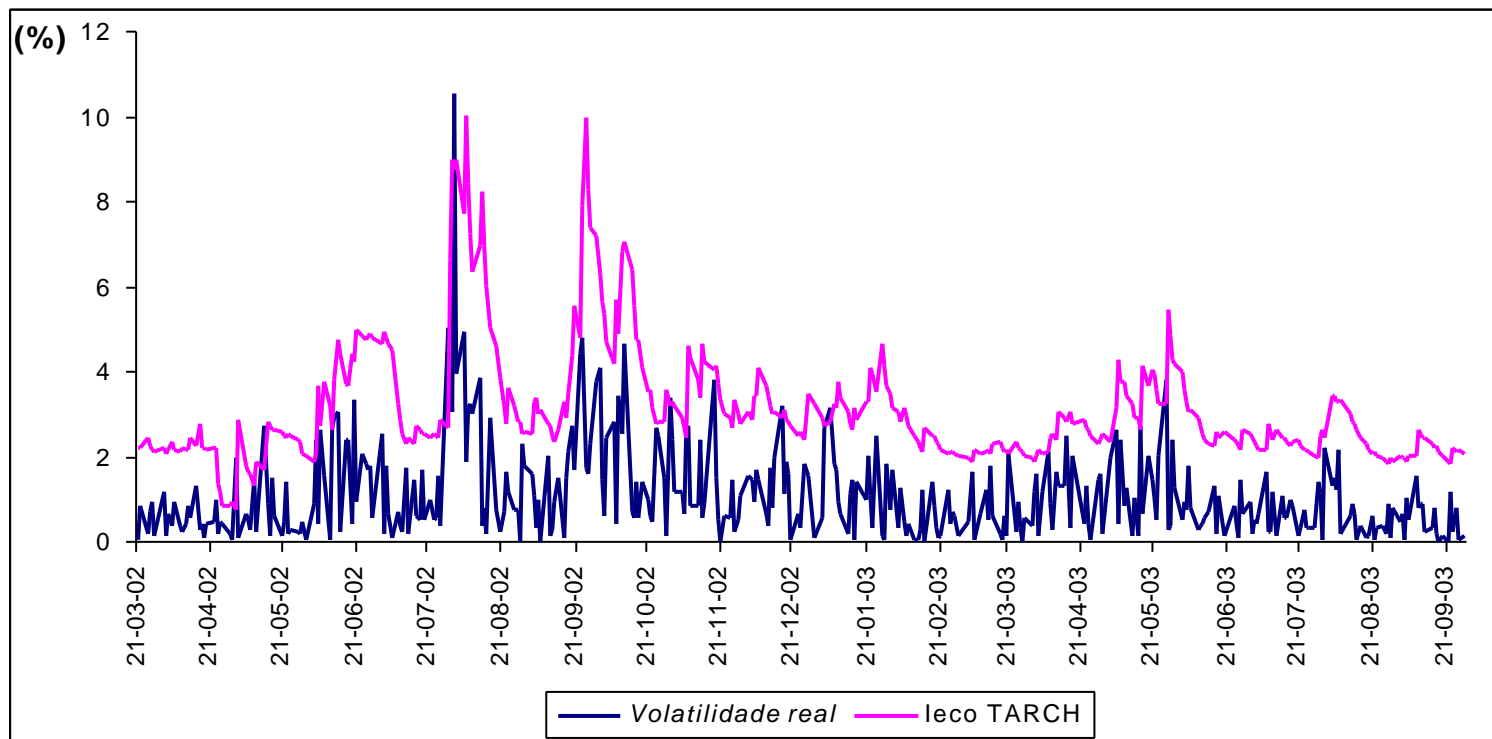


Gráfico 27 – Comparação entre a *volatilidade real* diária, expressa na forma de desvio-padrão, e o índice econométrico (I_{eco}), calculado com base no modelo TARCH, para D+1

Fonte – Elaborado pelo autor da dissertação.

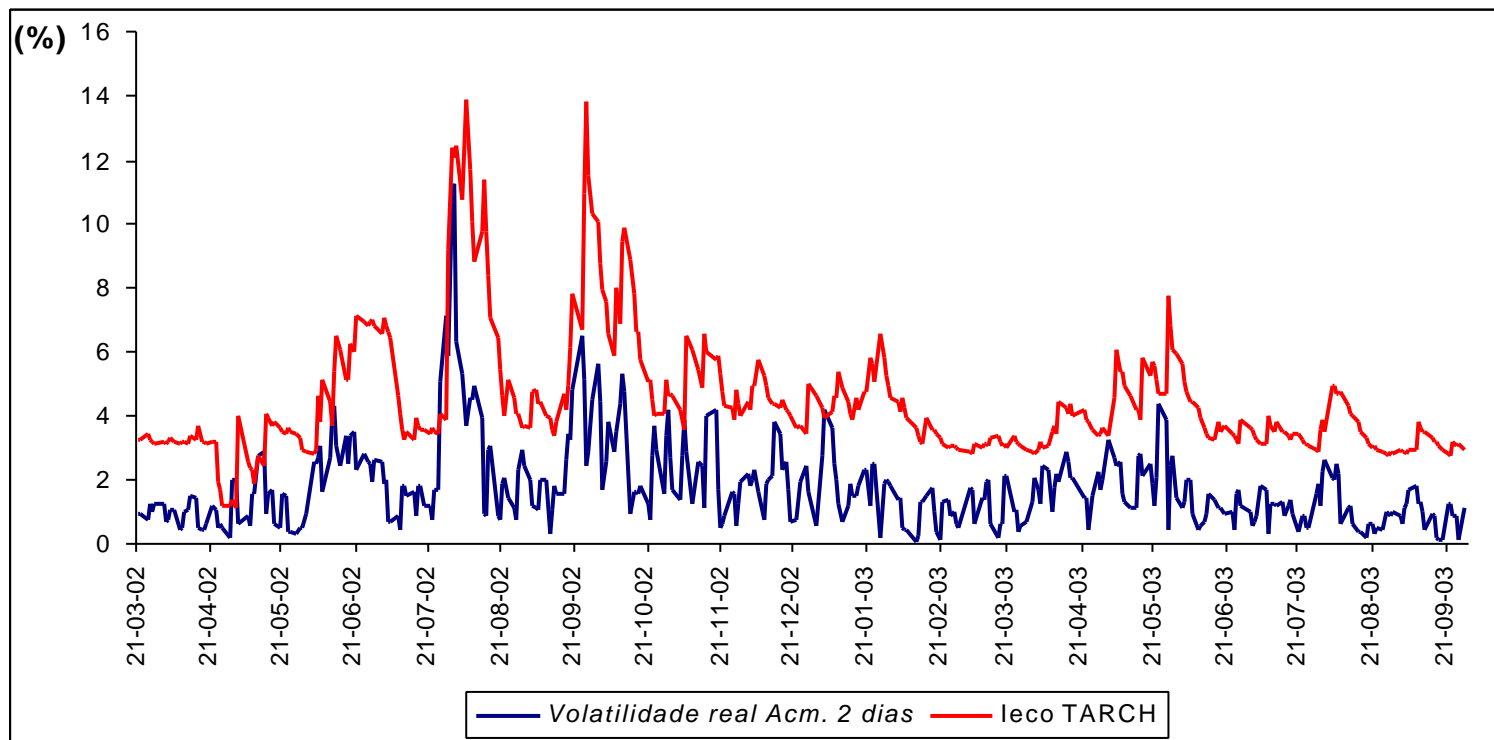


Gráfico 28 – Comparação entre a *volatilidade real* acumulada em dois dias, expressa na forma de desvio-padrão, e o índice econométrico (I_{eco}), calculado com base no modelo TARCh, para cobertura de variações da taxa de câmbio no mesmo período

Fonte – Elaborado pelo autor da dissertação.