

4 Aplicações

O procedimento de estimação do modelo log-periódico - AR(1) – GARCH(1,1) foi concluída no capítulo 3. A série do S&P500 – 1987 foi utilizada como ilustração da metodologia apresentada. Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos para o modelo log-periódico original e para o modelo proposto, log-periódico - AR(1) - GARCH(1,1), para as demais séries analisadas nesta dissertação, a saber, os seguintes índices de bolsa de valores mundiais: HANG SENG (Hong Kong), NASDAQ (EUA), IBOVESPA (Brasil), Merval (Argentina), INDIA BSE NATIONAL (Índia) e FTSE100 (Grã-Bretanha).

Estes índices foram escolhidos de forma a incluir os diversos tipos de mercado mundiais, em diferentes continentes e englobando *crashes* distintos. Espera-se assim testar a robustez da modelagem em relação aos mercados e ao tipo de *crash*.

De acordo com os fundamentos teóricos que deram origem ao modelo, a bolha pré-*crash* é causada pelo crescimento lento de correlação na formação de preços pelos agentes, tendo início em um tempo bem anterior à ocorrência do *crash*. Por isso, as séries analisadas contêm dados ao longo de em média dois anos antes do *crash*.

O período analisado de cada série corresponde a uma bolha pré-*crash* específica, cuja data inicial e final, determinadas conforme descrição apresentada na seção 3.1, são dadas abaixo:

- HANG SENG - *crash* de 1997. Série utilizada: de 03/01/95 a 07/08/97.
- NASDAQ - *crash* de 2000. Série utilizada: de 02/01/97 a 10/03/00.
- IBOVESPA - *crash* de 1997. Série utilizada: de 03/01/96 a 09/07/97.
- Merval - *crash* de 2004. Série utilizada: de 01/01/02 a 19/03/04.
- INDIA BSE NATIONAL - *crash* de 2000. Série utilizada: de 01/07/98 a 21/02/00.
- FTSE100 - *crash* de 1987. Série utilizada: de 02/01/85 a 16/07/87.

A partir das próximas seções, serão apresentados em detalhes os resultados obtidos para as primeiras três séries listadas (Hang Seng, Nasdaq,

Ibovespa). Para as demais será feito um quadro sinóptico com os principais resultados.

4.1. Estacionariedade do Resíduo

Ao estender a nossa análise empírica para outras séries de índices financeiros mundiais, deve-se investigar a estacionariedade da série do resíduo do modelo log-periódico, a fim de eliminar qualquer evidência de ocorrência de regressão espúria.

Seguindo o mesmo procedimento da seção 3.2.3., são apresentados, na tabela a seguir, os p-valores das estatísticas de teste Phillips-Perron e ADF (Augmented Dickey-Fuller).

Teste de Raiz Unitária				
Índice	Phillips-Perron		ADF	
	Sem intercepto	Com intercepto	Sem intercepto	Com intercepto
S&P500 - 1987	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
HSI - 1997	0.0004	0.0076	0.0004	0.0074
Nasdaq - 2000	0.0002	0.0042	0.0002	0.0041
Ibovespa - 1997	0.0001	0.0022	0.0001	0.0016
Merval - 2004	0.0002	0.0033	0.0002	0.0038
Índia BSE - 2000	0.0000	0.0004	0.0000	0.0008
FTSE100 - 1987	0.0004	0.0072	0.0008	0.0127

Tabela 8 – p-valores das estatísticas de teste PP e ADF aplicadas às séries de resíduo do modelo log-periódico

Da tabela 8, com exceção do índice FTSE100 - 1987, os demais possuem p-valores $\ll 0.05$, ou seja, há evidência forte para rejeitar H_0 . Portanto se aceita a hipótese alternativa de que os resíduos do modelo log-periódico, aplicado ao nível da série, são estacionários.

O índice FTSE100 - 1987 possui p-valor = 0.0127 para o teste ADF com intercepto, o que é uma evidência fraca para aceitar H_0 (ao nível de 1%). Porém, está se trabalhando com uma amostra finita (mais ou menos 300 observações) e os resultados destas estatísticas de teste (PP e ADF) são assintóticos. Assim, as estimativas obtidas para o FTSE100 - 1987 podem indicar que a série do resíduo do modelo log-periódico, para este índice, se encontra no limiar da estacionariedade.

Testando também os resíduos do modelo log-periódico – AR(1) – GARCH(1,1) para as séries analisadas, verifica-se que a hipótese de RU é rejeitada, ou seja, o resíduo do modelo aplicado ao nível da série é considerado estacionário, conseqüentemente a hipótese de regressão espúria é desconsiderada.

Assumindo que as estimativas do modelo log-periódico - AR(1) - GARCH(1,1) são os estimadores de máxima verossimilhança (ver seção 3.3), a obtenção de resíduos estacionários e sem estrutura implica em inferências ditas confiáveis (sob pressuposto assumido na seção 3.4).

Dentro deste cenário, os resultados apresentados nas próximas seções serão obtidos a partir da estimação do modelo log-periódico-AR(1)-GARCH(1,1), cujas estimativas possuem sentido estatístico.

4.2. Inferências das Séries dos Índices Financeiros

4.2.1. HANG SENG INDEX (Hong Kong) – 1997

Utilizando o procedimento descrito no capítulo 3, foram estimados os parâmetros ótimos do modelo log-periódico original.

A figura 23 apresenta o gráfico da série do HANG SENG INDEX (HSI) observada e a série estimada pelo modelo log-periódico.

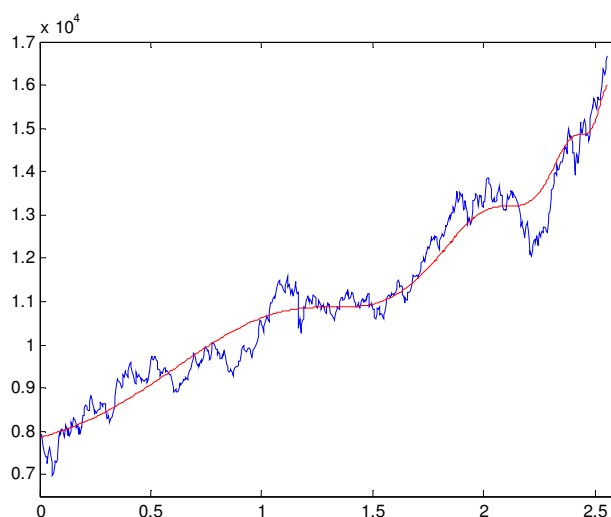


Figura 23 - Em azul série do HSI - 1997 observada, em vermelho série estimada pelo modelo log-periódico.

Foram estimados também os parâmetros ótimos do modelo log-periódico - AR(1) - GARCH(1,1). O resultado geral é apresentado a seguir:

Crash HSI - 1997		
	Log-per	Log-per-AR(1)-GARCH(1,1)
A	18885	17437
B	-7175	-6082
C	-387.77	-520.92
β	0.39	0.49
w	7.05	5.69
φ	5.83	6.28
ρ	-	0.968
α_0	-	553.0
α_1	-	0.082
α_2	-	0.887
t_c	2.664	2.560

Tabela 9 - Parâmetros estimados pelo modelo log-periódico original vs parâmetros estimados pelo modelo log-periódico - AR(1) - GARCH(1,1) do HSI – 1997.

Deve-se notar que os parâmetros ótimos obtidos satisfazem às restrições apresentadas no capítulo 3. Em particular, o tempo mais provável para ocorrência do *crash*, t_c , está contido entre t_{\max} e t_{\min} , conforme mostrado na tabela a seguir:

Crash HSI - 1997						
	t_c	Data t_c	t_{\max}	Data t_{\max}	t_{\min}	Data t_{\min}
Log-per	2.664	16-Sep-97	2.556	7-Aug-97	2.766	28-Oct-97
Log-per - AR(1) - GARCH(1,1)	2.560	8-Aug-97	2.556	7-Aug-97	2.766	28-Oct-97

Tabela 10 - Valor de t_c previsto pelos modelos e valores empíricos de t_{\max} e t_{\min} .

A partir da série dos resíduos padronizados $\hat{\varepsilon}_t$, ver eq.(47), calculamos as seguintes estatísticas:

Crash HSI - 1997	
Média	-0.005
Mediana	-0.070
Máximo	3.472
Mínimo	-6.449
Desvio padrão	1.004
Assimetria	-0.346
Curtose	5.956
Jarque-Bera	247.28 (0.00)
Q(20) - resid	16.963 (0.655)
Q(20) - resid ²	8.6476 (0.987)

Tabela 11 – Valores das estatísticas do resíduo do modelo log-per-AR(1)-GARCH(1,1) do HSI – 1997.

Observa-se que o resíduo padronizado do HSI – 1997 apresenta um padrão similar ao do resíduo padronizado do S&P500 – 1987 avaliado no capítulo 3. A distribuição da série do resíduo padronizado apresenta adequadamente média aproximadamente 0 e variância aproximadamente 1. A hipótese de normalidade é fortemente rejeitada pelo teste Jarque-Bera (p-valor $\ll 0.05$), o que é de se esperar já que a distribuição é leptocúrtica (curtose > 3). Ver também histograma e QQ-plot no anexo C, onde este resultado é confirmado.

A estatísticas Q de Ljung-Box, para o $lag(20)$, do resíduo padronizado e do quadrado do resíduo padronizado (Q(20) – resid e Q(20) – resid² na tabela 11 respectivamente) possuem p-valor $\gg 0.05$ e sustentam a hipótese nula de que não existe autocorrelação até a ordem 20. O correlograma do resíduo padronizado e o correlograma do quadrado do resíduo padronizado estão apresentados no Anexo C.

A partir da estimação da estatística BDS (ver resultados no Anexo C), foi aceita a hipótese da série dos resíduos padronizados ser independente e identicamente distribuída.

Finalmente, são apresentados os resultados da estimação dos parâmetros $\hat{\Theta} = [A, B, C, t_c, \beta, w, \phi, \rho, \alpha_0, \alpha_1, \alpha_2]$ do modelo log-periódico - AR(1) - GARCH(1,1), nomeadamente o erro-padrão, a razão t e o intervalo de confiança ao nível de confiança de 95%.

Parâmetro	Coefficiente	Erro-padrão	Razão t	IC Lmín	IC Lmáx
A	17437	704.98	24.734	16055.25	18818.75
B	-6082	742.92	8.187	-7538.12	-4625.88
C	-520.92	184.04	2.831	-881.63	-160.21
β	0.49	0.075	6.602	0.35	0.64
w	5.69	0.160	35.567	5.37	6.00
ϕ	6.28	0.076	82.256	6.13	6.43
ρ	0.968	0.012	78.682	0.94	0.99
α_0	553.0	282.40	1.958	0	1106.51
α_1	0.082	0.022	3.729	0.04	0.12
α_2	0.887	0.031	29.056	0.83	0.95
t_c	2.559	0.0001	21700.8	2.559	2.560

Tabela 12 – Inferência estatística dos parâmetros do HSI – 1997.

A razão t testa a hipótese nula de que o coeficiente tem valor igual a 0 e possui distribuição assintótica Normal padrão; o intervalo de confiança (IC) é bilateral ao nível de confiança de 95%. O erro-padrão é obtido a partir da matriz variância-covariância, dada pelo inverso da matriz Hessiana estimada pelo BFGS. A matriz variância-covariância encontra-se no Anexo C.

Observa-se, na tabela 12 que a razão t (sendo o valor crítico da Normal padrão, ao nível de confiança de 95%, aproximadamente igual a 1.96) aceita a hipótese nula de que o parâmetro α_0 seja igual a 0. No entanto, α_0 é definido não-nulo por construção do modelo GARCH(1,1). Observa-se, também, que o limite inferior do IC é igual a zero, o que indica que um valor muito próximo de zero deste parâmetro não pode ser descartado, mesmo que a estimativa pontual seja não nula. Ocorre que o limite inferior do IC está na região de fronteira do espaço paramétrico: $\alpha_0 \in (0, \infty)$. Conseqüentemente, os testes convencionais, neste caso a razão t calculada na tabela 12, não são válidos, não se podendo inferir então sobre o parâmetro α_0 .

As demais inferências e testes dos parâmetros ($A, B, C, t_c, \beta, w, \phi, \rho, \alpha_1, \alpha_2$) no entanto são confiáveis e consistentes.

4.2.2. Nasdaq (Estados Unidos) – 2000

Nesta seção serão analisadas as estimativas obtidas para a série do índice Nasdaq, referente ao *crash* do ano 2000.

A figura 24 apresenta o gráfico da série do Nasdaq observada e a série estimada pelo modelo log-periódico.

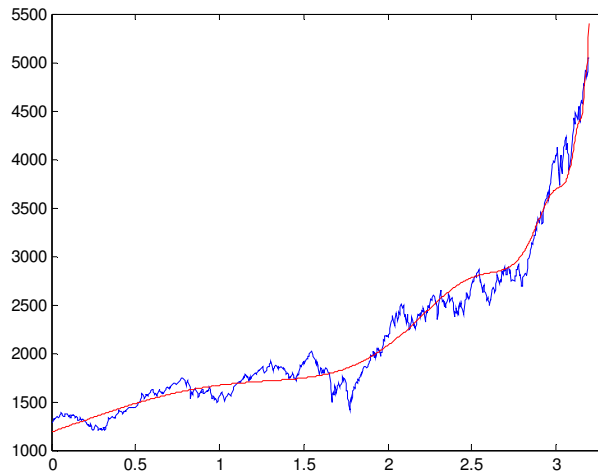


Figura 24 - Em azul série do Nasdaq – 2000 observada, em vermelho série estimada pelo modelo log-periódico.

Os parâmetros ótimos do modelo log-periódico assim como do modelo log-periódico – AR(1) – GARCH(1,1) estão mostrados na tabela a seguir.

Crash Nasdaq - 2000		
	Log-per	Log-per-AR(1)-GARCH(1,1)
A	7003.7	5619.2
B	-4657.9	-3247.5
C	138.70	151.58
β	0.20	0.27
w	5.31	5.65
φ	1.35	1.56
ρ	-	0.972
α_0	-	10.722
α_1	-	0.198
α_2	-	0.817
t_c	3.199	3.200

Tabela 13 - Parâmetros estimados pelo modelo log-periódico original vs parâmetros estimados pelo modelo log-periódico - AR(1) - GARCH(1,1) do Nasdaq – 2000.

Os parâmetros ótimos obtidos também satisfazem às restrições apresentadas no capítulo 3. Em particular, o tempo mais provável para ocorrência do *crash*, t_c , está contido entre t_{\max} e t_{\min} , conforme mostrado na tabela a seguir:

Crash Nasdaq - 2000						
	t_c	Data t_c	t_{\max}	Data t_{\max}	t_{\min}	Data t_{\min}
Log-per	3.199	13-mar-00	3.194	10-mar-00	3.397	23-mai-00
Log-per-AR(1)-GARCH(1,1)	3.200	14-mar-00	3.194	10-mar-00	3.397	23-mai-00

Tabela 14 - Valor de t_c previsto pelos modelos e valores empíricos de t_{\max} e t_{\min} .

A partir da série dos resíduos padronizados, calculamos as seguintes estatísticas:

Crash Nasdaq - 2000	
Média	-0.023
Mediana	0.089
Máximo	3.057
Mínimo	-4.812
Desvio padrão	0.997
Assimetria	-0.539
Curtose	3.993
Jarque-Bera	72.107 (0.00)
Q(20) - resid	20.309 (0.439)
Q(20) - resid ²	14.062 (0.827)

Tabela 15 - Valores das estatísticas do resíduo do modelo log-per-AR(1)-GARCH(1,1) do Nasdaq – 2000.

A partir dos resultados apresentados na tabela 15, da mesma forma que os resíduos padronizados do HSI – 1997 e do S&P500 – 1987, observa-se um comportamento similar para o resíduo do Nasdaq – 2000: a distribuição da série do resíduo padronizado apresenta média aproximadamente 0 e variância aproximadamente 1; a hipótese de normalidade é fortemente rejeitada pelo teste Jarque-Bera; a distribuição é leptocúrtica; verifica-se ausência de autocorrelação. Além disso, a hipótese da série dos resíduos padronizados ser iid é também aceita pelo teste BDS.

Todo o levantamento das estimativas: histograma, qq-plot, correlograma do resíduo padronizado e o correlograma do quadrado do resíduo padronizado, teste BDS e matriz variância-covariância estão apresentados no Anexo C.

Finalmente, serão apresentadas as inferências dos estimadores do modelo aplicado ao índice Nasdaq americano.

Parâmetro	Coefficiente	Erro-padrão	Razão t	IC Lmín	IC Lmáx
A	5619.2	799.52	7.028	4052.13	7186.27
B	-3247.5	824.89	3.937	-4864.28	-1630.72
C	151.58	41.42	3.659	70.39	232.77
β	0.27	0.079	3.487	0.12	0.43
w	5.65	0.215	26.317	5.23	6.07
φ	1.56	0.225	6.951	1.12	2.00
ρ	0.972	0.009	113.655	0.96	0.99
α_0	10.722	5.74	1.869	0	21.97
α_1	0.198	0.045	4.390	0.11	0.29
α_2	0.817	0.039	21.136	0.74	0.89
t_c	3.200	0.0023	1411.59	3.196	3.205

Tabela 16 - Inferência estatística dos parâmetros do Nasdaq – 2000.

Observa-se pela tabela 16 que, da mesma forma como o HSI – 1997, a inferência do parâmetro α_0 também é problemática. O limite inferior do IC está na região de fronteira do espaço paramétrico, $\alpha_0 \in (0, \infty)$, e conseqüentemente, os testes convencionais, neste caso a razão t, não são válidos.

Por outro lado, as demais inferências e testes dos parâmetros $(A, B, C, t_c, \beta, w, \phi, \rho, \alpha_1, \alpha_2)$ são confiáveis e consistentes.

4.2.3. IBOVESPA (Brasil) - 1997

A figura 25 apresenta o gráfico da série do IBOVESPA observada e a série estimada pelo modelo log-periódico.

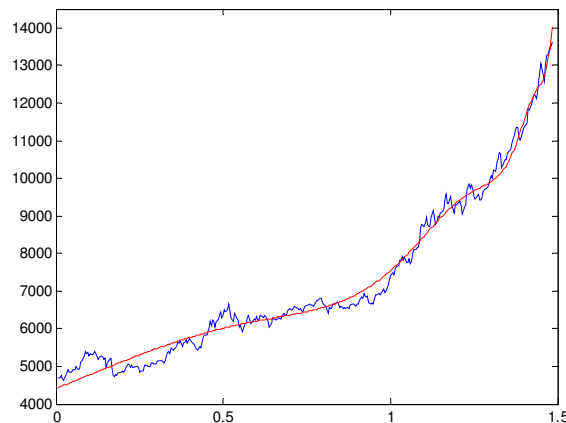


Figura 25 - Em azul série do Ibovespa – 1997 observada, em vermelho série estimada pelo modelo log-periódico.

A série do índice Bovespa brasileiro aplicada ao modelo log-periódico – AR(1) – GARCH(1,1) segue, em todas as suas inferências, um padrão similar aos dos índices apresentados anteriormente.

Resumidamente serão enunciadas as estatísticas do IBOVESPA, que podem ser verificadas nas tabelas seguintes (de número 17 a 20) e no Anexo C:

- 1- Os parâmetros ótimos satisfazem às restrições apresentadas no capítulo 3, inclusive o parâmetro t_c , que está contido entre t_{\max} e t_{\min} . Ver tabelas 17 e 18 respectivamente.
- 2- A hipótese de normalidade da distribuição da série do resíduo padronizado é fortemente rejeitada pelo teste Jarque-Bera. Ver tabela 19.

- 3- Ausência de autocorrelação na série do resíduo padronizado e na série do quadrado do resíduo padronizado; é aceita pelo teste BDS a hipótese da série dos resíduos padronizados ser independente e identicamente distribuída. Ver Anexo C.
- 4- Analogamente aos resultados anteriores, as inferências e testes dos parâmetros são, com exceção de α_0 , confiáveis e consistentes. Ver tabela 20.

Crash Ibovespa - 1997		
	Log-per	Log-per-AR(1)-GARCH(1,1)
A	21882	17804
B	-16134	-12164
C	364.13	337.84
β	0.20	0.27
w	5.00	5.00
φ	5.64	6.01
ρ	-	0.943
α_0	-	123.26
α_1	-	0.091
α_2	-	0.906
t_c	1.514	1.500

Tabela 17 - Parâmetros estimados pelo modelo log-periódico original vs parâmetros estimados pelo modelo log-periódico - AR(1) - GARCH(1,1) do Ibovespa – 1997.

Crash Ibovespa - 1997						
	t_c	Data t_c	t_{max}	Data t_{max}	t_{min}	Data t_{min}
Log-per	1.514	21-jul-97	1.484	9-jul-97	1.639	01-Set-97
Log-per-AR(1)-GARCH(1,1)	1.499	15-jul-97	1.484	9-jul-97	1.639	01-Set-97

Tabela 18 - Valor de t_c previsto pelos modelos e valores empíricos de t_{max} e t_{min} .

Crash Ibovespa - 1997	
Média	0.0385
Mediana	0.00001
Máximo	3.4355
Mínimo	-3.1175
Desvio padrão	0.9947
Assimetria	0.0368
Curtose	3.6422
Jarque-Bera	6.5122 (0.0385)
Q(20) - resid	24.675 (0.214)
Q(20) - resid ²	33.162 (0.032)

Tabela 19 - Valores das estatísticas do resíduo do modelo log-per-AR(1)-GARCH(1,1) do Ibovespa – 1997.

Parâmetro	Coefficiente	Erro-padrão	Razão t	IC Lmín	IC Lmáx
A	17804	2828.50	6.295	12260.14	23347.86
B	-12164	2779.21	4.377	-17611.25	-6716.75
C	337.84	142.04	2.378	59.44	616.24
β	0.27	0.083	3.219	0.10	0.43
w	5.00	0.153	32.764	4.70	5.30
φ	6.01	0.339	17.71	5.34	6.67
ρ	0.943	0.018	51.482	0.91	0.98
α_0	123.26	107.41	1.148	0	333.78
α_1	0.091	0.026	3.422	0.04	0.14
α_2	0.906	0.027	33.14	0.85	0.96
t_c	1.500	0.0068	221.97	1.486	1.513

Tabela 20 - Inferência estatística dos parâmetros do Ibovespa – 1997.

Observa-se que a estatística Q de Ljung-Box, para o $lag(20)$, do quadrado do resíduo padronizado ($Q(20) - resid^2$ na tabela 19) possui p-valor < 0.05 , o que seria uma evidência para rejeitar a hipótese nula de que não existe autocorrelação. No entanto, observando o correlograma apresentado no Anexo C, confirma-se a ausência de autocorrelação, pois para $Q(19) - resid^2 = 21.149$ o p-valor é igual a 0.329 (p-valor $\gg 0.05$). Sendo assim o resultado obtido para o p-valor no $lag(20)$ é espúrio.

4.2.4. Merval (Argentina) – 2004

A figura 26 apresenta o gráfico da série do Merval observada e a série estimada pelo modelo log-periódico.

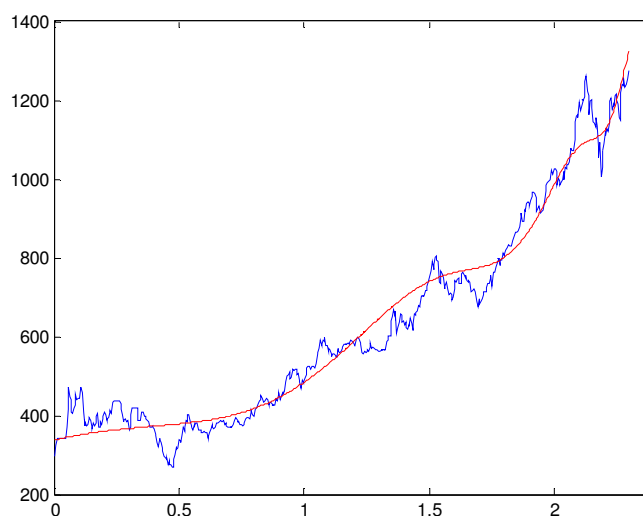


Figura 26 - Em azul série do Merval – 2004 observada, em vermelho série estimada pelo modelo log-periódico.

A série do índice argentino aplicada ao modelo log-periódico – AR(1) – GARCH(1,1) segue padrão similar aos índices anteriores. As propriedades enumeradas de 1 a 4 (apresentadas no caso do IBOVESPA, seção 4.2.3) são observadas nas tabelas a seguir e no Anexo C.

Crash Merval - 2004		
	Log-per	Log-per-AR(1)-GARCH(1,1)
A	2676.00	1513.50
B	-1996.90	-901.75
C	45.38	-43.04
β	0.20	0.38
w	6.63	7.40
φ	0.00	3.20
ρ	-	0.962
α_0	-	3.221
α_1	-	0.091
α_2	-	0.898
t_c	2.457	2.311

Tabela 21 - Parâmetros estimados pelo modelo log-periódico original vs parâmetros estimados pelo modelo log-periódico - AR(1) - GARCH(1,1) do Merval – 2004.

Crash Merval - 2004						
	t_c	Data t_c	t_{max}	Data t_{max}	t_{min}	Data t_{min}
Log-per	2.457	14-mai-04	2.298	19-mar-04	2.460	17-mai-04
Log-per-AR(1)-GARCH(1,1)	2.311	24-mar-04	2.298	19-mar-04	2.460	17-mai-04

Tabela 22 - Valor de t_c previsto pelos modelos e valores empíricos de t_{max} e t_{min} .

Crash Merval - 2004	
Média	0.030
Mediana	-0.001
Máximo	4.406
Mínimo	-4.053
Desvio padrão	1.006
Assimetria	0.107
Curtose	4.748
Jarque-Bera	74.817 (0.00)
Q(20) - resid	19.573 (0.485)
Q(20) - resid ²	20.023 (0.456)

Tabela 23 - Valores das estatísticas do resíduo do modelo log-per-AR(1)-GARCH(1,1) do Merval – 2004.

Parâmetro	Coefficiente	Erro-padrão	Razão t	IC Lmín	IC Lmáx
A	1513.50	172.60	8.769	1175.20	1851.80
B	-901.75	177.34	5.085	-1249.33	-554.17
C	-43.04	13.51	3.187	-69.51	-16.57
β	0.38	0.084	4.561	0.22	0.55
w	7.40	0.362	20.42	6.69	8.11
φ	3.20	0.383	8.349	2.45	3.95
ρ	0.962	0.013	73.47	0.94	0.99
α_0	3.221	1.91	1.684	0	6.97
α_1	0.091	0.022	4.118	0.05	0.14
α_2	0.898	0.026	34.11	0.85	0.95
t_c	2.311	0.0081	285.36	2.295	2.326

Tabela 24 - Inferência estatística dos parâmetros do Merval – 04.

4.2.5. FTSE100 (Londres) – 1987

A figura 27 apresenta o gráfico da série do FTSE100 observada e a série estimada pelo modelo log-periódico.

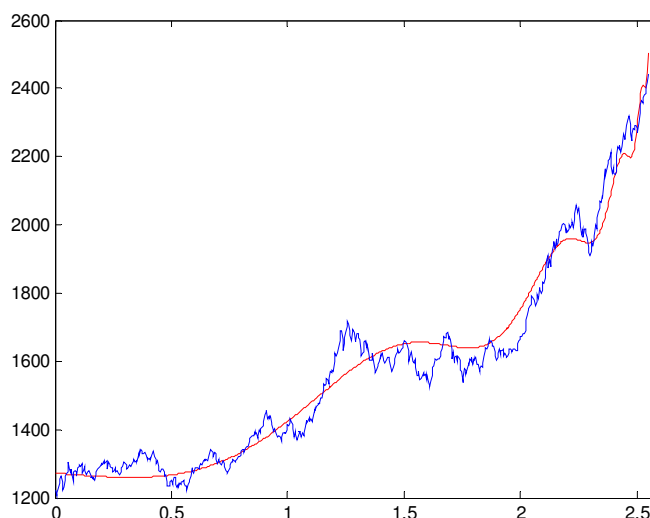


Figura 27 - Em azul série do FTSE100 – 1987 observada, em vermelho série estimada pelo modelo log-periódico.

Na série do índice inglês aplicada ao modelo log-periódico – AR(1) – GARCH(1,1) são verificadas as propriedades 1 e 3 (apresentadas no caso do IBOVESPA, seção 4.2.3), havendo no entanto diferenças quanto à hipótese de normalidade da série dos resíduos e problemas de inferência em alguns dos parâmetros além de α_0 .

As tabelas com os principais resultados estão mostrados a seguir. Demais resultados são apresentados no Anexo C.

Crash FTSE100 - 1987		
	Log-per	Log-per-AR(1)-GARCH(1,1)
A	3275.10	3041.90
B	-1668.40	-1441.70
C	73.20	51.00
β	0.20	0.23
w	6.04	5.96
φ	5.45	5.59
ρ	-	0.968
α_0	-	3.577
α_1	-	0.088
α_2	-	0.893
t_c	2.570	2.572

Tabela 25 - Parâmetros estimados pelo modelo log-periódico original vs parâmetros estimados pelo modelo log-periódico - AR(1) - GARCH(1,1) do FTSE100 – 1987.

Crash FTSE100 - 1987						
	t_c	Data t_c	t_{max}	Data t_{max}	t_{min}	Data t_{min}
Log-per	2.570	24-jul-87	2.548	16-jul-87	2.869	9-nov-87
Log-per-AR(1)-GARCH(1,1)	2.572	25-jul-87	2.548	16-jul-87	2.869	9-nov-87

Tabela 26 - Valor de t_c previsto pelos modelos e valores empíricos de t_{max} e t_{min} .

Crash FTSE100 - 1987	
Média	0.020
Mediana	0.087
Máximo	2.998
Mínimo	-3.039
Desvio padrão	1.003
Assimetria	-0.143
Curtose	2.809
Jarque-Bera	3.183 (0.204)
Q(20) - resid	25.140 (0.196)
Q(20) - resid ²	32.858 (0.035)

Tabela 27 - Valores das estatísticas do resíduo do modelo log-per-AR(1)-GARCH(1,1) do FTSE100 - 1987.

De acordo com a tabela 27, a hipótese de normalidade, diferentemente dos demais índices, é aceita pelo teste Jarque-Bera (p-valor $\gg 0.05$). O valor da curtose é próximo de 3 (sendo 3 o valor de curtose da Normal padrão) e o QQ-plot (no Anexo C) é aproximadamente uma reta. Assim, há evidências fortes

para aceitar a hipótese de normalidade dos resíduos padronizados do modelo log-periódico – AR(1) – GARCH(1,1) aplicado à série do índice FTSE100.

A partir dos correlogramas e do resultado do teste BDS apresentados no Anexo C, verifica-se a ausência de autocorrelação na série do resíduo padronizado (p -valor = 0.196 para $Q(20)$, ver tabela 27) e a hipótese da série dos resíduos ser iid é aceita pelo teste BDS. No entanto, observando o correlograma da série do quadrado do resíduo e sendo o p -valor da estatística Q de Ljung-Box, para o $lag(20)$, igual a 0.035 (ver tabela 27), verifica-se que a hipótese de ausência de autocorrelação é fracamente aceita (ao nível de 1%).

Parâmetro	Coefficiente	Erro-padrão	Razão t	IC Lmín	IC Lmáx
A	3041.90	848.65	3.584	1378.54	4705.26
B	-1441.70	868.16	1.661	-3143.29	0
C	51.00	14.82	3.441	21.95	80.04
β	0.23	0.144	1.571	0	0.51
w	5.96	0.386	15.420	5.20	6.72
φ	5.59	0.324	17.253	4.96	6.23
ρ	0.968	0.016	60.017	0.94	1.00
α_0	3.577	2.31	1.547	0	8.11
α_1	0.088	0.027	3.29	0.04	0.14
α_2	0.893	0.035	25.81	0.83	0.96
t_c	2.572	0.0093	277.08	2.554	2.590

Tabela 28 - Inferência estatística dos parâmetros do FTSE100 – 1987.

A partir da tabela 28, observa-se que, além de α_0 , os parâmetros B e β também apresentam problemas inferenciais. O limite inferior do IC de α_0 e de β e o limite superior do IC de B encontram-se na região de fronteira do espaço paramétrico ($\alpha_0 \in (0, \infty)$, $\beta \in (0, 1)$ e $B \in (-\infty, 0)$ respectivamente). Conseqüentemente, suas respectivas razões t não são mais válidas, não se podendo inferir então sobre a significância destes parâmetros.

4.2.6. ÍNDIA BSE NATIONAL (Índia) – 2000

A figura 28 apresenta o gráfico da série do ÍNDIA BSE NATIONAL observada e a série estimada pelo modelo log-periódico.

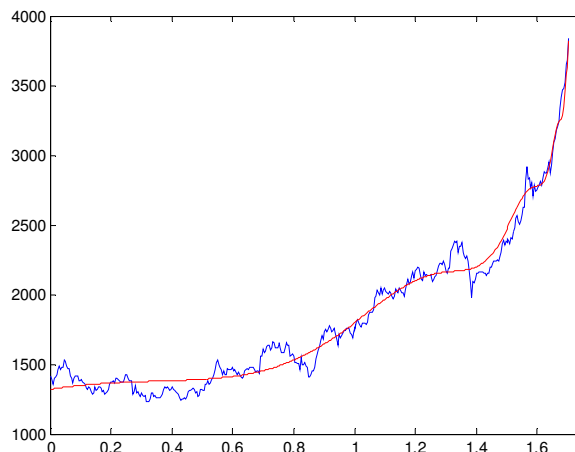


Figura 28 - Em azul série do Índia BSE observada, em vermelho série estimada pelo modelo log-periódico.

Na série do índice indiano aplicada ao modelo log-periódico – AR(1) – GARCH(1,1) são verificadas todas as propriedades enumeradas de 1 a 3 (apresentadas no caso do IBOVESPA, seção 4.2.3), com exceção do resultado do teste BDS e conseqüentemente das inferências dos parâmetros.

Na tabela 32 a seguir, verifica-se que a hipótese da série dos resíduos ser iid é rejeitada pelo teste BDS (existe pelo menos um p-valor menor do que 0.05).¹² Logo, apesar dos correlogramas indicarem ausência de correlação de primeira e segunda ordens, ainda existe estrutura presente no resíduo que o modelo log-periódico – AR(1) – GARCH(1,1) não conseguiu capturar, ou seja, para o mercado indiano o modelo proposto não é adequado.

As tabelas com os principais resultados estão mostrados a seguir. Demais resultados são apresentados no Anexo C.

¹² O resíduo do modelo log-periódico – AR(1) – GARCH(1,1) é por construção expurgado de qualquer dependência linear. Assim, o resultado do teste BDS, ao rejeitar a hipótese de iid, está indicando a presença de dependência não-linear na estrutura da série dos resíduos.

Crash India - 2000		
	Log-per	Log-per-AR(1)-GARCH(1,1)
A	4919.0	4871.5
B	-3345.4	-3313.0
C	117.07	-40.96
β	0.20	0.22
w	5.00	10.64
φ	3.31	3.95
ρ	-	0.960
α_0	-	0.010
α_1	-	0.013
α_2	-	0.991
t_c	1.707	1.710

Tabela 29 - Parâmetros estimados pelo modelo log-periódico original vs parâmetros estimados pelo modelo log-periódico - AR(1) - GARCH(1,1) do India BSE – 2000.

Crash India - 2000						
	t_c	Data t_c	t_{max}	Data t_{max}	t_{min}	Data t_{min}
Log-per	1.707	22-fev-00	1.702	21-fev-00	1.786	21-mar-00
Log-per-AR(1)-GARCH(1,1)	1.710	23-fev-00	1.702	21-fev-00	1.786	21-mar-00

Tabela 30 - Valor de t_c previsto pelos modelos e valores empíricos de $t_{máx}$ e $t_{mín}$.

Crash India - 2000	
Média	-0.008
Mediana	-0.046
Máximo	4.806
Mínimo	-3.688
Desvio padrão	0.981
Assimetria	0.388
Curtose	5.847
Jarque-Bera	155.65 (0.00)
Q(20) - resid	16.619 (0.678)
Q(20) - resid ²	16.174 (0.706)

Tabela 31 - Valores das estatísticas do resíduo do modelo log-per-AR(1)-GARCH(1,1) do India BSE - 2000.

m \ ϵ	0.5σ	1.0σ	1.5σ	2.0σ
2	0.092	0.048	0.030	0.016
3	0.033	0.029	0.034	0.010
4	0.033	0.055	0.074	0.022
5	0.023	0.063	0.064	0.022
6	0.012	0.030	0.039	0.015

Tabela 32 - p-valores *bootstrapeados* da estatística BDS, com 5000 repetições.

Parâmetro	Coeficiente	Erro-padrão	Razão t	IC Lmín	IC Lmáx
A	4871.50	375.23	12.983	4136.04	5606.96
B	-3313.00	380.37	8.710	-4058.52	-2567.48
C	-40.96	19.95	2.053	-80.06	-1.85
β	0.22	0.031	7.250	0.16	0.28
w	10.64	0.399	26.668	9.86	11.42
φ	3.95	0.880	4.487	2.22	5.68
ρ	0.960	0.014	67.880	0.93	0.99
α_0	0.010	0.19	0.051	0	0.39
α_1	0.013	0.010	1.198	0	0.03
α_2	0.991	0.010	102.47	0.97	1.01
t_c	1.710	0.0023	742.17	1.705	1.714

Tabela 33 - Inferência estatística dos parâmetros do India BSE - 2000.