

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE MATEMÁTICA  
INSTITUTO TÉRCIO PACITTI DE APLICAÇÕES E PESQUISAS  
COMPUTACIONAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

RENATO MOURA MARTINS MEDEIROS

**O PAPEL DA  
HETEROSCEDASTICIDADE PARA  
A REDUÇÃO DA ENTROPIA E  
COMPRESSÃO DE DADOS  
SÍSMICOS**

Rio de Janeiro  
2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE MATEMÁTICA  
INSTITUTO TÉRCIO PACITTI DE APLICAÇÕES E PESQUISAS  
COMPUTACIONAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

RENATO MOURA MARTINS MEDEIROS

**O PAPEL DA  
HETEROSCEDASTICIDADE PARA  
A REDUÇÃO DA ENTROPIA E  
COMPRESSÃO DE DADOS  
SÍSMICOS**

Dissertação de Mestrado submetida ao  
Corpo Docente do Departamento de Ci-  
ênci a da Computação do Instituto de Ma-  
temática, e Instituto Tércio Pacitti de  
Aplicações e Pesquisas Computacionais da  
Universidade Federal do Rio de Janeiro,  
como parte dos requisitos necessários para  
obtenção do título de Mestre em Informá-  
tica.

Orientador: Silvana Rossetto

Co-orientador: Alex Laier Bordignon

Rio de Janeiro  
2013

CBIB Medeiros, Renato Moura Martins

O Papel da Heteroscedasticidade para a Redução da Entropia e  
Compressão de Dados Sísmicos / Renato Moura Martins Medeiros. – 2013.  
346 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Informática) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Matemática, Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais, Programa de Pós-Graduação em Informática, Rio de Janeiro, 2013.

Orientador: Silvana Rossetto.

Co-orientador: Alex Laier Bordignon.

1. Palavra-chave 1. 2. Palavra-chave 2. 3. Palavra-chave 3. –  
Teses. I. Rossetto, Silvana (Orient.). II. Bordignon, Alex Laier (Co-orient.).  
III. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Matemática, Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais, Programa de Pós-Graduação em Informática. IV. Título

CDD

RENATO MOURA MARTINS MEDEIROS

**O Papel da Heteroscedasticidade para a Redução da  
Entropia e Compressão de Dados Sísmicos**

Dissertação de Mestrado submetida ao Corpo Docente do Departamento de Ciência da Computação do Instituto de Matemática, e Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Informática.

Aprovado em: Rio de Janeiro, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_. de \_\_\_\_\_. .

---

Profa. Dra. Silvana Rossetto (Orientador)

---

Prof. Dr. Alex Laier Bordignon (Co-orientador)

---

Prof. Dr. Adriano Joaquim de Oliveira Cruz

---

Prof. Dr.

---

Prof. Dr. Mitre Costa Dourado

Rio de Janeiro  
2013

*Aqui coloque a dedicatória...  
Se não houver, delete esta parte.*

## **AGRADECIMENTOS**

Coloque aqui os agradecimentos.  
Agradeço aos meus pais, meu orientador, à bolsa, etc...

## RESUMO

Medeiros, Renato Moura Martins. **O Papel da Heteroscedasticidade para a Redução da Entropia e Compressão de Dados Sísmicos.** 2013. 326 f. Dissertação (Mestrado em Informática) - PPGI, Instituto de Matemática, Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

Resumo em português.

**Palavras-chave:** Palavra-chave 1, Palavra-chave 2, Palavra-chave 3.

## ABSTRACT

Medeiros, Renato Moura Martins. **O Papel da Heteroscedasticidade para a Redução da Entropia e Compressão de Dados Sísmicos.** 2013. 326 f. Dissertação (Mestrado em Informática) - PPGI, Instituto de Matemática, Instituto Tércio Pacitti, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

Colocar aqui o resumo em inglês.

**Keywords:** coloque aqui as palavras-chave em inglês, separadas por vírgula.

## LISTA DE FIGURAS

|      |  |    |
|------|--|----|
| 2.1  | Subsuperfície e interface . . . . .  | 3  |
| 2.2  | Um sismograma . . . . .  | 5  |
| 2.3  | Estrutura do formato de arquivo SEG-Y . . . . .  | 6  |
| 3.1  | Compressão de duas etapas . . . . .  | 11 |
| 3.2  | Ilustração do algoritmo da codificação aritmética . . . . .  | 15 |
| 3.3  | Histogramas gerados pela aplicação do algoritmo de Stearns . . . . .   | 17 |
| 4.1  | À esquerda o exemplo de uma série estacionária. À direita o exemplo de uma série não estacionária. . . . .                   | 20 |
| 4.2  | Tornando a figura 4.1b em estacionária através da equação 4.1. .   | 21 |
| 4.3  | Exemplos de dados homo e heterocedásticos. . . . .   | 22 |
| 5.1  | A linha azul representa um traço sísmico. A linha verde representa o resíduo calculado a partir desse traço sísmico. . . . . | 35 |
| 6.1  | A1, A2 e A3 . . . . .  | 41 |
| 6.2  | A1, A2 e A3 completos . . . . .  | 41 |
| 6.3  | Primeiros traços de B1, B2 e B3 . . . . .  | 42 |
| 6.4  | Sismogramas B1, B2 e B3 completos . . . . .  | 42 |
| 6.5  | Posição do conjunto C . . . . .  | 43 |
| 6.6  | Conjunto de dados C. . . . .   | 44 |
| 6.7  | Primeiros cinco traços dos conjuntos C1, C2 e C3 . . . . .   | 44 |
| 6.8  | C1, C2 e C3 . . . . .  | 45 |
| 6.9  | Posição do conjunto D . . . . .  | 45 |
| 6.10 | Primeiros cinco traços dos conjuntos D1, D2 e D3 . . . . .   | 46 |
| 6.11 | D1, D2 e D3 . . . . .  | 46 |
| 6.12 | Posição do conjunto E . . . . .  | 47 |
| 6.13 | Primeiros cinco traços dos conjuntos E1, E2 e E3 . . . . .   | 48 |
| 6.14 | Conjunto completo E1, E2 e E3 . . . . .  | 48 |
| 6.15 | Primeiros cinco traços dos conjuntos F1, F2 e F3 . . . . .   | 49 |
| 6.16 | Conjunto F1, F2 e F3 . . . . .   | 49 |
| 6.17 | Primeiros cinco traços dos conjuntos G1, G2 e G3 . . . . .   | 50 |
| 6.18 | Conjunto G1, G2 e G3 . . . . .   | 51 |
| 6.19 | Conjunto de dados G. . . . .   | 52 |
| 6.20 | Primeiros cinco traços dos conjuntos H1, H2 e H3 . . . . .   | 53 |
| 6.21 | Conjunto H1, H2 e H3 . . . . .   | 53 |

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 6.22 | Conjunto de dados H . . . . .   | 54  |
| 6.23 | Posição do conjunto H . . . . .   | 55  |
| 6.24 | Primeiros cinco traços dos conjuntos I1, I2 e I3 . . . . .                                | 55  |
| 6.25 | Conjunto I1, I2 e I3 . . . . .  | 56  |
| 6.26 | Conjunto de dados I. . . . .  | 56  |
| 6.27 | Primeiros cinco traços dos conjuntos J1, J2 e J3 . . . . .                                | 57  |
| 6.28 | Conjunto J1, J2 e J3 . . . . .  | 57  |
| 6.29 | Conjunto de dados J. . . . .  | 58  |
| 6.30 | Posição do conjunto J . . . . .   | 58  |
| 6.31 | Primeiros cinco traços dos conjuntos K1, K2 e K3 . . . . .                                | 59  |
| 6.32 | Conjunto K1, K2 e K3 . . . . .  | 59  |
| 6.33 | Conjunto de dados K. . . . .  | 60  |
| 6.34 | Metodologia I: razão de compressão . . . . .  | 65  |
| 6.35 | Metodologia I: evolução da entropia . . . . .   | 67  |
| 6.36 | Metodologia I: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . .   | 69  |
| 6.37 | Metodologia I: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . .   | 71  |
| 6.38 | Metodologia I: redução relativa da variância . . . . .                                    | 73  |
| 6.39 | Metodologia II: razão de compressão . . . . .   | 77  |
| 6.40 | Metodologia II: evolução da entropia . . . . .  | 79  |
| 6.41 | Metodologia II: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . .  | 81  |
| 6.42 | Metodologia II: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . .  | 83  |
| 6.43 | Metodologia II: redução relativa da variância . . . . .                                   | 85  |
| 6.44 | Metodologia III: razão de compressão . . . . .  | 89  |
| 6.45 | Metodologia III: evolução da entropia . . . . .   | 91  |
| 6.46 | Metodologia III: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . . | 93  |
| 6.47 | Metodologia III: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . . | 95  |
| 6.48 | Metodologia III: redução relativa da variância . . . . .                                  | 97  |
| 6.49 | Metodologia IV: razão de compressão . . . . .   | 101 |
| 6.50 | Metodologia IV: evolução da entropia . . . . .  | 103 |
| 6.51 | Metodologia IV: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . .  | 105 |
| 6.52 | Metodologia IV: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . .  | 107 |
| 6.53 | Metodologia IV: redução relativa da variância . . . . .                                   | 109 |

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 6.54 | Metodologia V: razão de compressão . . . . .   | 113 |
| 6.55 | Metodologia V: evolução da entropia . . . . .  | 115 |
| 6.56 | Metodologia V: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . .    | 117 |
| 6.57 | Metodologia V: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . .    | 119 |
| 6.58 | Metodologia V: redução relativa da variância . . . . .                                     | 121 |
| 6.59 | Metodologia VI: razão de compressão . . . . .  | 125 |
| 6.60 | Metodologia VI: evolução da entropia . . . . .   | 127 |
| 6.61 | Metodologia VI: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . .   | 129 |
| 6.62 | Metodologia VI: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . .   | 131 |
| 6.63 | Metodologia VI: redução relativa da variância . . . . .                                    | 133 |
| 6.64 | Metodologia VII: razão de compressão . . . . .   | 139 |
| 6.65 | Metodologia VII: evolução da entropia . . . . .  | 141 |
| 6.66 | Metodologia VII: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . .  | 143 |
| 6.67 | Metodologia VII: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . .  | 145 |
| 6.68 | Metodologia VII: redução relativa da variância . . . . .                                   | 147 |
| 6.69 | Metodologia VIII: razão de compressão . . . . .  | 151 |
| 6.70 | Metodologia VIII: evolução da entropia . . . . .   | 153 |
| 6.71 | Metodologia VIII: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . . | 155 |
| 6.72 | Metodologia VIII: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . . | 157 |
| 6.73 | Metodologia VIII: redução relativa da variância . . . . .                                  | 159 |
| 6.74 | Metodologia IX: razão de compressão . . . . .  | 163 |
| 6.75 | Metodologia IX: evolução da entropia . . . . .   | 165 |
| 6.76 | Metodologia IX: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . .   | 167 |
| 6.77 | Metodologia IX: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . .   | 169 |
| 6.78 | Metodologia IX: redução relativa da variância . . . . .                                    | 171 |
| 6.79 | Metodologia X: razão de compressão . . . . .   | 175 |
| 6.80 | Metodologia X: evolução da entropia . . . . .  | 177 |
| 6.81 | Metodologia X: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . .    | 179 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 6.82  | Metodologia X: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . .    | 181 |
| 6.83  | Metodologia X: redução relativa da variância . . . . .                                     | 183 |
| 6.84  | Metodologia XI: razão de compressão . . . . .  | 187 |
| 6.85  | Metodologia XI: evolução da entropia . . . . .   | 189 |
| 6.86  | Metodologia XI: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . .   | 191 |
| 6.87  | Metodologia XI: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . .   | 193 |
| 6.88  | Metodologia XI: redução relativa da variância . . . . .                                    | 195 |
| 6.89  | Metodologia XII: razão de compressão . . . . .   | 199 |
| 6.90  | Metodologia XII: evolução da entropia . . . . .  | 201 |
| 6.91  | Metodologia XII: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . .  | 203 |
| 6.92  | Metodologia XII: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . .  | 205 |
| 6.93  | Metodologia XII: redução relativa da variância . . . . .                                   | 207 |
| 6.94  | Metodologia XIII: razão de compressão . . . . .  | 211 |
| 6.95  | Metodologia XIII: evolução da entropia . . . . .   | 213 |
| 6.96  | Metodologia XIII: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . . | 215 |
| 6.97  | Metodologia XIII: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . . | 217 |
| 6.98  | Metodologia XIII: redução relativa da variância . . . . .                                  | 219 |
| 6.99  | Metodologia XIV: razão de compressão . . . . .   | 223 |
| 6.100 | Metodologia XIV: evolução da entropia . . . . .  | 225 |
| 6.101 | Metodologia XIV: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . .  | 227 |
| 6.102 | Metodologia XIV: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . .  | 229 |
| 6.103 | Metodologia XIV: redução relativa da variância . . . . .                                   | 231 |
| 6.104 | Metodologia XV: razão de compressão . . . . .  | 235 |
| 6.105 | Metodologia XV: evolução da entropia . . . . .   | 237 |
| 6.106 | Metodologia XV: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . .   | 239 |
| 6.107 | Metodologia XV: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . .   | 241 |
| 6.108 | Metodologia XV: redução relativa da variância . . . . .                                    | 243 |
| 6.109 | Metodologia XVI: razão de compressão . . . . .   | 247 |
| 6.110 | Metodologia XVI: evolução da entropia . . . . .  | 249 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 6.111 | Metodologia XVI: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . .   | 251 |
| 6.112 | Metodologia XVI: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . .   | 253 |
| 6.113 | Metodologia XVI: redução relativa da variância . . . . .                                    | 255 |
| 6.114 | Metodologia XVII: razão de compressão . . . . .   | 259 |
| 6.115 | Metodologia XVII: evolução da entropia . . . . .  | 261 |
| 6.116 | Metodologia XVII: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . .  | 263 |
| 6.117 | Metodologia XVII: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . .  | 265 |
| 6.118 | Metodologia XVII: redução relativa da variância . . . . .                                   | 267 |
| 6.119 | Metodologia XVIII: razão de compressão . . . . .  | 271 |
| 6.120 | Metodologia XVIII: evolução da entropia . . . . .   | 273 |
| 6.121 | Metodologia XVIII: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . . | 275 |
| 6.122 | Metodologia XVIII: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . . | 277 |
| 6.123 | Metodologia XVIII: redução relativa da variância . . . . .                                  | 279 |
| 6.124 | Metodologia XIX: razão de compressão . . . . .  | 283 |
| 6.125 | Metodologia XIX: evolução da entropia . . . . .   | 285 |
| 6.126 | Metodologia XIX: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . .   | 287 |
| 6.127 | Metodologia XIX: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . .   | 289 |
| 6.128 | Metodologia XIX: redução relativa da variância . . . . .                                    | 291 |
| 6.129 | Metodologia XX: razão de compressão . . . . .   | 294 |
| 6.130 | Metodologia XX: evolução da entropia . . . . .  | 296 |
| 6.131 | Metodologia XX: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . .    | 298 |
| 6.132 | Metodologia XX: tempo total relativo gasto no cálculo dos parâmetros do modelo . . . . .    | 300 |
| 6.133 | Metodologia XX: redução relativa da variância . . . . .                                     | 302 |
| 6.134 | Razão de compressão consolidada . . . . .   | 303 |
| 6.135 | Redução de entropia consolidada . . . . .   | 306 |
| 6.136 | Métrica de redução de entropia consolidada . . . . .  | 307 |
| 6.137 | Razão de compressão consolidada . . . . .   | 310 |
| 6.138 | Variância consolidada . . . . .   | 314 |

## LISTA DE TABELAS

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 3.1  | Probabilidade e $\log_2$ dos símbolos distintos do exemplo . . . . . | 11  |
| 3.2  | Iteração algoritmo codificação aritmética . . . . .                  | 15  |
| 6.1  | Valores de autocorrelação utilizados nos testes . . . . .            | 61  |
| 6.2  | Metodologia I: comparativo de convergência de soluções . . . . .     | 63  |
| 6.3  | Metodologia I: Razão de compressão . . . . .                         | 63  |
| 6.4  | Metodologia I: evolução da entropia . . . . .                        | 66  |
| 6.5  | Metodologia I: tempo de execução . . . . .                           | 68  |
| 6.6  | Metodologia I: evolução da autocorrelação . . . . .                  | 70  |
| 6.7  | Metodologia I: dados estatísticos . . . . .                          | 72  |
| 6.8  | Metodologia II: comparativo de convergência de soluções . . . . .    | 75  |
| 6.9  | Metodologia II: Razão de compressão . . . . .                        | 75  |
| 6.10 | Metodologia II: evolução da entropia . . . . .                       | 78  |
| 6.11 | Metodologia II: tempo de execução . . . . .                          | 80  |
| 6.12 | Metodologia II: evolução da autocorrelação . . . . .                 | 82  |
| 6.13 | Metodologia II: dados estatísticos . . . . .                         | 84  |
| 6.14 | Metodologia III: comparativo de convergência de soluções . . . . .   | 87  |
| 6.15 | Metodologia III: Razão de compressão . . . . .                       | 87  |
| 6.16 | Metodologia III: evolução da entropia . . . . .                      | 90  |
| 6.17 | Metodologia III: tempo de execução . . . . .                         | 92  |
| 6.18 | Metodologia III: evolução da autocorrelação . . . . .                | 94  |
| 6.19 | Metodologia III: dados estatísticos . . . . .                        | 96  |
| 6.20 | Metodologia IV: comparativo de convergência de soluções . . . . .    | 99  |
| 6.21 | Metodologia IV: Razão de compressão . . . . .                        | 99  |
| 6.22 | Metodologia IV: evolução da entropia . . . . .                       | 102 |
| 6.23 | Metodologia IV: tempo de execução . . . . .                          | 104 |
| 6.24 | Metodologia IV: evolução da autocorrelação . . . . .                 | 106 |
| 6.25 | Metodologia IV: dados estatísticos . . . . .                         | 108 |
| 6.26 | Metodologia V: comparativo de convergência de soluções . . . . .     | 111 |
| 6.27 | Metodologia V: Razão de compressão . . . . .                         | 112 |
| 6.28 | Metodologia V: evolução da entropia . . . . .                        | 114 |
| 6.29 | Metodologia V: tempo de execução . . . . .                           | 116 |
| 6.30 | Metodologia V: evolução da autocorrelação . . . . .                  | 118 |
| 6.31 | Metodologia V: dados estatísticos . . . . .                          | 120 |
| 6.32 | Metodologia VI: comparativo de convergência de soluções . . . . .    | 123 |
| 6.33 | Metodologia VI: Razão de compressão . . . . .                        | 123 |

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 6.34 | Metodologia VI: evolução da entropia . . . . .   | 126 |
| 6.35 | Metodologia VI: tempo de execução . . . . .  | 128 |
| 6.36 | Metodologia VI: evolução da autocorrelação . . . . .   | 130 |
| 6.37 | Metodologia VI: dados estatísticos . . . . .   | 132 |
| 6.38 | Valores de autocorrelação inicial e considerando todos os valores positivos nos conjuntos de teste . . . . . | 134 |
| 6.39 | Valores de autocorrelação utilizados nos testes . . . . .  | 135 |
| 6.40 | Metodologia VII: comparativo de convergência de soluções . . . . .   | 137 |
| 6.41 | Metodologia VII: Razão de compressão . . . . .   | 137 |
| 6.42 | Metodologia VII: evolução da entropia . . . . .  | 140 |
| 6.43 | Metodologia VII: tempo de execução . . . . .   | 142 |
| 6.44 | Metodologia VII: evolução da autocorrelação . . . . .  | 144 |
| 6.45 | Metodologia VII: dados estatísticos . . . . .  | 146 |
| 6.46 | Metodologia VIII: comparativo de convergência de soluções . . . . .  | 149 |
| 6.47 | Metodologia VIII: Razão de compressão . . . . .  | 150 |
| 6.48 | Metodologia VIII: evolução da entropia . . . . .   | 152 |
| 6.49 | Metodologia VIII: tempo de execução . . . . .  | 154 |
| 6.50 | Metodologia VIII: evolução da autocorrelação . . . . .   | 156 |
| 6.51 | Metodologia VIII: dados estatísticos . . . . .   | 158 |
| 6.52 | Metodologia IX: comparativo de convergência de soluções . . . . .  | 161 |
| 6.53 | Metodologia IX: Razão de compressão . . . . .  | 162 |
| 6.54 | Metodologia IX: evolução da entropia . . . . .   | 164 |
| 6.55 | Metodologia IX: tempo de execução . . . . .  | 166 |
| 6.56 | Metodologia IX: evolução da autocorrelação . . . . .   | 168 |
| 6.57 | Metodologia IX: dados estatísticos . . . . .   | 170 |
| 6.58 | Metodologia X: Valores de parâmetros utilizados . . . . .  | 172 |
| 6.59 | Metodologia X: comparativo de convergência de soluções . . . . .   | 173 |
| 6.60 | Metodologia X: Razão de compressão . . . . .   | 173 |
| 6.61 | Metodologia X: evolução da entropia . . . . .  | 176 |
| 6.62 | Metodologia X: tempo de execução . . . . .   | 178 |
| 6.63 | Metodologia X: evolução da autocorrelação . . . . .  | 180 |
| 6.64 | Metodologia X: dados estatísticos . . . . .  | 182 |
| 6.65 | Metodologia XI: comparativo de convergência de soluções . . . . .  | 185 |
| 6.66 | Metodologia XI: Razão de compressão . . . . .  | 185 |
| 6.67 | Metodologia XI: evolução da entropia . . . . .   | 188 |
| 6.68 | Metodologia XI: tempo de execução . . . . .  | 190 |
| 6.69 | Metodologia XI: evolução da autocorrelação . . . . .   | 192 |
| 6.70 | Metodologia XI: dados estatísticos . . . . .   | 194 |
| 6.71 | Metodologia XII: comparativo de convergência de soluções . . . . .   | 197 |
| 6.72 | Metodologia XII: Razão de compressão . . . . .   | 197 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 6.73  | Metodologia XII: evolução da entropia . . . . .                      | 200 |
| 6.74  | Metodologia XII: tempo de execução . . . . .                         | 202 |
| 6.75  | Metodologia XII: evolução da autocorrelação . . . . .                | 204 |
| 6.76  | Metodologia XII: dados estatísticos . . . . .                        | 206 |
| 6.77  | Metodologia XIII: comparativo de convergência de soluções . . . . .  | 209 |
| 6.78  | Metodologia XIII: Razão de compressão . . . . .                      | 209 |
| 6.79  | Metodologia XIII: evolução da entropia . . . . .                     | 212 |
| 6.80  | Metodologia XIII: tempo de execução . . . . .                        | 214 |
| 6.81  | Metodologia XIII: evolução da autocorrelação . . . . .               | 216 |
| 6.82  | Metodologia XIII: dados estatísticos . . . . .                       | 218 |
| 6.83  | Metodologia XIV: comparativo de convergência de soluções . . . . .   | 221 |
| 6.84  | Metodologia XIV: Razão de compressão . . . . .                       | 221 |
| 6.85  | Metodologia XIV: evolução da entropia . . . . .                      | 224 |
| 6.86  | Metodologia XIV: tempo de execução . . . . .                         | 226 |
| 6.87  | Metodologia XIV: evolução da autocorrelação . . . . .                | 228 |
| 6.88  | Metodologia XIV: dados estatísticos . . . . .                        | 230 |
| 6.89  | Metodologia XV: comparativo de convergência de soluções . . . . .    | 233 |
| 6.90  | Metodologia XV: Razão de compressão . . . . .                        | 233 |
| 6.91  | Metodologia XV: evolução da entropia . . . . .                       | 236 |
| 6.92  | Metodologia XV: tempo de execução . . . . .                          | 238 |
| 6.93  | Metodologia XV: evolução da autocorrelação . . . . .                 | 240 |
| 6.94  | Metodologia XV: dados estatísticos . . . . .                         | 242 |
| 6.95  | Metodologia XVI: comparativo de convergência de soluções . . . . .   | 245 |
| 6.96  | Metodologia XVI: Razão de compressão . . . . .                       | 245 |
| 6.97  | Metodologia XVI: evolução da entropia . . . . .                      | 248 |
| 6.98  | Metodologia XVI: tempo de execução . . . . .                         | 250 |
| 6.99  | Metodologia XVI: evolução da autocorrelação . . . . .                | 252 |
| 6.100 | Metodologia XVI: dados estatísticos . . . . .                        | 254 |
| 6.101 | Metodologia XVII: comparativo de convergência de soluções . . . . .  | 257 |
| 6.102 | Metodologia XVII: Razão de compressão . . . . .                      | 257 |
| 6.103 | Metodologia XVII: evolução da entropia . . . . .                     | 260 |
| 6.104 | Metodologia XVII: tempo de execução . . . . .                        | 262 |
| 6.105 | Metodologia XVII: evolução da autocorrelação . . . . .               | 264 |
| 6.106 | Metodologia XVII: dados estatísticos . . . . .                       | 266 |
| 6.107 | Metodologia XVIII: comparativo de convergência de soluções . . . . . | 269 |
| 6.108 | Metodologia XVIII: Razão de compressão . . . . .                     | 269 |
| 6.109 | Metodologia XVIII: evolução da entropia . . . . .                    | 272 |
| 6.110 | Metodologia XVIII: tempo de execução . . . . .                       | 274 |
| 6.111 | Metodologia XVIII: evolução da autocorrelação . . . . .              | 276 |
| 6.112 | Metodologia XVIII: dados estatísticos . . . . .                      | 278 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 6.113 | Metodologia XIX: comparativo de convergência de soluções . . . . .                             | 281 |
| 6.114 | Metodologia XIX: Razão de compressão . . . . .   | 281 |
| 6.115 | Metodologia XIX: evolução da entropia . . . . .  | 284 |
| 6.116 | Metodologia XIX: tempo de execução . . . . .   | 286 |
| 6.117 | Metodologia XIX: evolução da autocorrelação . . . . .  | 288 |
| 6.118 | Metodologia XIX: dados estatísticos . . . . .  | 290 |
| 6.119 | Metodologia XX: comparativo de convergência de soluções . . . . .                              | 292 |
| 6.120 | Metodologia XX: Razão de compressão . . . . .  | 293 |
| 6.121 | Metodologia XX: evolução da entropia . . . . .   | 295 |
| 6.122 | Metodologia XX: tempo de execução . . . . .  | 297 |
| 6.123 | Metodologia XX: evolução da autocorrelação . . . . .   | 299 |
| 6.124 | Metodologia XX: dados estatísticos . . . . .   | 301 |
| 6.125 | Compilado da razão de compressão entre dados pré e pós-stack .                                 | 304 |
| 6.126 | Compilado da razão de compressão entre dados migrados e não-migrados . . . . .                 | 304 |
| 6.127 | Compilado da razão de compressão entre dados com relação ao ruído estimado do dado . . . . .   | 305 |
| 6.128 | Compilado da razão de compressão entre dados sintéticos e não-sintéticos . . . . .             | 306 |
| 6.129 | Compilado da evolução da entropia entre dados pré e pós-stack .                                | 307 |
| 6.130 | Compilado da evolução da entropia entre dados migrados e não-migrados . . . . .                | 308 |
| 6.131 | Compilado da evolução da entropia entre dados com relação ao ruído estimado do dado . . . . .  | 309 |
| 6.132 | Compilado da evolução da entropia entre dados sintéticos e não-sintéticos . . . . .            | 310 |
| 6.133 | Compilado da evolução da correlação entre dados pré e pós-stack .                              | 311 |
| 6.134 | Compilado da evolução da correlação entre dados migrados e não-migrados . . . . .              | 312 |
| 6.135 | Compilado da evolução da entropia entre dados com relação ao ruído estimado do dado . . . . .  | 312 |
| 6.136 | Compilado da evolução da correlação entre dados sintéticos e não-sintéticos . . . . .          | 313 |
| 6.137 | Compilado da evolução da variância entre dados pré e pós-stack .                               | 315 |
| 6.138 | Compilado da evolução da correlação entre dados migrados e não-migrados . . . . .              | 315 |
| 6.139 | Compilado da evolução da variância entre dados com relação ao ruído estimado do dado . . . . . | 316 |
| 6.140 | Compilado da evolução da variância entre dados sintéticos e não-sintéticos . . . . .           | 317 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

BCNF Boyce Codd Normal Form

XSLT XSL Transformations

# SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO . . . . .</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2 A GEOFÍSICA E O MÉTODO SÍSMICO . . . . .</b>   | <b>2</b>  |
| <b>2.1 O Formato SEG-Y . . . . .</b>  | <b>6</b>  |
| <b>3 COMPRESSÃO DE DADOS . . . . .</b>  | <b>9</b>  |
| <b>3.1 A Codificação Aritmética . . . . .</b>   | <b>12</b> |
| <b>4 ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS . . . . .</b>  | <b>19</b> |
| <b>4.1 Conceitos iniciais . . . . .</b>   | <b>19</b> |
| <b>4.2 Modelo Auto-regressivo . . . . .</b>   | <b>21</b> |
| <b>4.3 Modelo de Médias Móveis . . . . .</b>  | <b>23</b> |
| <b>4.4 Modelo Auto-regressivo de médias móveis . . . . .</b>                                  | <b>24</b> |
| <b>4.5 Modelo Auto-regressivo integrado de médias móveis . . . . .</b>                        | <b>25</b> |
| <b>4.6 Modelo Auto-regressivo com heteroscedasticidade condicional generalizado . . . . .</b> | <b>27</b> |
| <b>4.7 Modelo ARIMA junto com modelo GARCH . . . . .</b>                                      | <b>28</b> |
| <b>5 MÉTODO DE COMPRESSÃO PROPOSTO . . . . .</b>  | <b>30</b> |
| <b>5.1 Revisão de trabalhos relacionados . . . . .</b>  | <b>30</b> |
| <b>5.2 Método de compressão utilizando ARIMA-GARCH . . . . .</b>                              | <b>35</b> |
| <b>6 TESTES E RESULTADOS . . . . .</b>  | <b>39</b> |
| <b>6.1 Descrição dos conjuntos de dados . . . . .</b>   | <b>40</b> |
| <b>6.1.1 Conjunto A . . . . .</b>   | <b>40</b> |
| <b>6.1.2 Conjunto B . . . . .</b>   | <b>40</b> |
| <b>6.1.3 Conjunto C . . . . .</b>   | <b>42</b> |
| <b>6.1.4 Conjunto D . . . . .</b>   | <b>43</b> |
| <b>6.1.5 Conjunto E . . . . .</b>   | <b>47</b> |
| <b>6.1.6 Conjunto F . . . . .</b>   | <b>47</b> |
| <b>6.1.7 Conjunto G . . . . .</b>   | <b>50</b> |
| <b>6.1.8 Conjunto H . . . . .</b>   | <b>50</b> |
| <b>6.1.9 Conjunto I . . . . .</b>   | <b>51</b> |
| <b>6.1.10 Conjunto J . . . . .</b>  | <b>52</b> |
| <b>6.1.11 Conjunto K . . . . .</b>  | <b>54</b> |
| <b>6.1.12 Conjunto L . . . . .</b>  | <b>55</b> |
| <b>6.2 Metodologias de Testes . . . . .</b>   | <b>61</b> |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| 6.2.1      | Metodologia I . . . . .                  | 61         |
| 6.2.2      | Metodologia II . . . . .                 | 74         |
| 6.2.3      | Metodologia III . . . . .                | 86         |
| 6.2.4      | Metodologia IV . . . . .                 | 98         |
| 6.2.5      | Metodologia V . . . . .                  | 110        |
| 6.2.6      | Metodologia VI . . . . .                 | 122        |
| 6.2.7      | Metodologia VII . . . . .                | 134        |
| 6.2.8      | Metodologia VIII . . . . .               | 148        |
| 6.2.9      | Metodologia IX . . . . .                 | 160        |
| 6.2.10     | Metodologia X . . . . .                  | 172        |
| 6.2.11     | Metodologia XI . . . . .                 | 184        |
| 6.2.12     | Metodologia XII . . . . .                | 196        |
| 6.2.13     | Metodologia XIII . . . . .               | 208        |
| 6.2.14     | Metodologia XIV . . . . .                | 220        |
| 6.2.15     | Metodologia XV . . . . .                 | 232        |
| 6.2.16     | Metodologia XVI . . . . .                | 244        |
| 6.2.17     | Metodologia XVII . . . . .               | 256        |
| 6.2.18     | Metodologia XVIII . . . . .              | 268        |
| 6.2.19     | Metodologia XIX . . . . .                | 280        |
| 6.2.20     | Metodologia XX . . . . .                 | 292        |
| <b>6.3</b> | <b>Resultados Consolidados . . . . .</b> | <b>303</b> |
| 6.3.1      | Razão de compressão . . . . .            | 303        |
| 6.3.2      | Evolução Entropia . . . . .              | 306        |
| 6.3.3      | Evolução da Correlação . . . . .         | 310        |
| 6.3.4      | Evolução Variância . . . . .             | 313        |
| <b>7</b>   | <b>CONCLUSÃO . . . . .</b>               | <b>318</b> |
|            | <b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>             | <b>319</b> |

# 1 INTRODUÇÃO

## 2 A GEOFÍSICA E O MÉTODO SÍSMICO

A *geofísica* trata do estudo do planeta Terra através de métodos físicos. Mais especificamente, o termo é comumente utilizado para denotar a física aplicada ao estudo do planeta, excetuando-se a hidrosfera e a atmosfera. Uma das subáreas em que a geofísica pode ser particionada é a Geofísica de Exploração, que se preocupa com a aplicação de técnicas de geofísica aos problemas de exploração de gás/petróleo, água e alguns minerais (TELFORD et al., 1990).

A Terra é formada pela crosta, manto e núcleo (WERNICK, 2004; HUBER, 2012). A crosta terrestre é formada por um conjunto de camadas que foram se depositando uma sobre a outra ao longo das diversas eras geológicas. A figura 2.1 ilustra esse processo. Cada uma dessas camadas é denominada *subsuperfície*, a área de contato entre duas subsuperfícies é chamada de *interface*.

Para que um geofísico possa determinar a possibilidade de se encontrar petróleo, ou qualquer outro tipo de mineral, em uma dada região, é necessário que ele disponha de um mapa das subsuperfícies. Esse mapa é uma espécie de radiografia do subsolo (DIAS, 2006) daquela localidade. Existem diversos métodos de prospecção de subsuperfícies, os quais são chamados de *métodos geofísicos*.

Cada uma das subsuperfícies é formada por materiais diferentes; argila, areia, sal, rocha etc. e, por isso, possui características físicas distintas; resistividade elétrica, permeabilidade magnética, densidade, dentre outras. Essas características são utilizadas pelos métodos geofísicos para criar o mapa de subsuperfícies da região. Dentre os métodos geofísicos existentes, destacam-se os *métodos sísmicos*, que se utilizam de *ondas sísmicas*. Uma onda sísmica é uma perturbação mecânica do

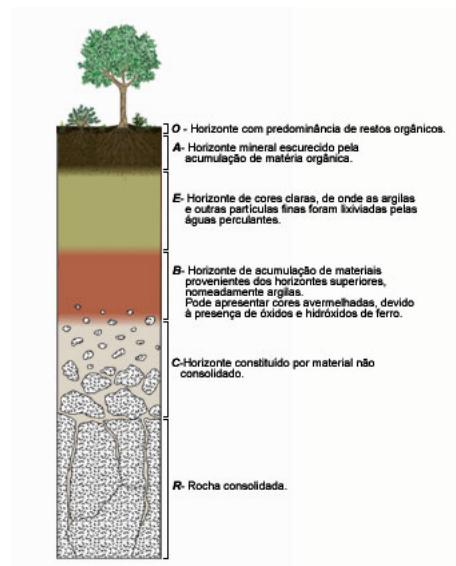


Figura 2.1: Representação das subsuperfícies em uma região hipotética. A zona de contato entre duas subsuperfícies é chama de interface. Figura obtida em <http://tinyurl.com/c7hhpls>

meio, que se propaga sem deslocamento de material, apenas de energia. Como qualquer onda, suas principais características são frequência, comprimento de onda, amplitude e fase (SOARES, 2009).

O método sísmico é o mais utilizado atualmente (MOUSA; AL-SHUHAIL, 2011; YILMAZ, 2001) para fins de prospecção de petróleo. Ele compreende três estágios, a aquisição, o processamento e a interpretação dos dados (YILMAZ, 2001). Neste trabalho, o processamento e a interpretação dos dados não serão contemplados. A aquisição de dados para o método sísmico pode ocorrer de forma marítima ou terrestre (YILMAZ, 2001). As duas abordagens são parecidas, sendo a principal diferença os aparelhos utilizados, mas convergentes em relação à metodologia.

O método sísmico necessita de ondas sísmicas, que são gerados por um componente chamado *fonte*. Um *tiro* é uma perturbação mecânica gerada artificialmente pela fonte. Durante uma aquisição, vários tiros são efetuados, em geral com intervalos de tempo regulares.

los de tempo ou distâncias constantes. As ondas formadas pelos tiros viajam pelas subsuperfícies do terreno e, eventualmente, voltam para a superfície (esse fenômeno será abordado mais adiante). As ondas que regressam são coletadas por *geofones*, componente que capta a energia mecânica no solo e a transforma em energia elétrica. A distância entre a fonte e um geofone é chamada de *offset*.

As ondas geradas pela fonte penetram a crosta terrestre, atravessando diferentes subsuperfícies. Essas subsuperfícies apresentam características acústicas distintas e por isso, as ondas sofrem diversos fenômenos físicos. Para a geofísica um dos fenômenos mais importantes é a *reflexão*. Parte da energia contida em uma onda será refletida na interface entre duas camadas geológicas e o restante seguirá seu caminho dentre as diversas subsuperfícies existentes. Esse processo continuará até que a onda perca sua energia. A energia da onda que é refletida será captada por um geofone, este desenha a variação de pressão na superfície em um *traço sísmico*. Um traço sísmico representa, portanto, a variação da pressão em um geofone gravada em função do tempo (MOUSA; AL-SHUHAIL, 2011). Um conjunto de traços sísmicos é chamado de *sismograma*. Para cada tiro dado na fase de aquisição, é gerado um sismograma.

A figura 2.2 apresenta um sismograma. O eixo *x* representa o posicionamento dos geofones. É possível perceber que a fonte se encontra na posição 30. O eixo *y* apresenta o tempo que a onda sísmica demorou para ser percebida pelo geofone. Na verdade, esse tempo é o tempo total, de ida e volta, para ondas refletidas (MOUSA; AL-SHUHAIL, 2011). Uma vez que os dados sísmicos foram obtidos, estes são transportados em fitas magnéticas, ou HDs, até o centro de processamento (YILMAZ, 2001). Um formato de arquivo pré-definido chamado SEG-Y é tipicamente utilizado.

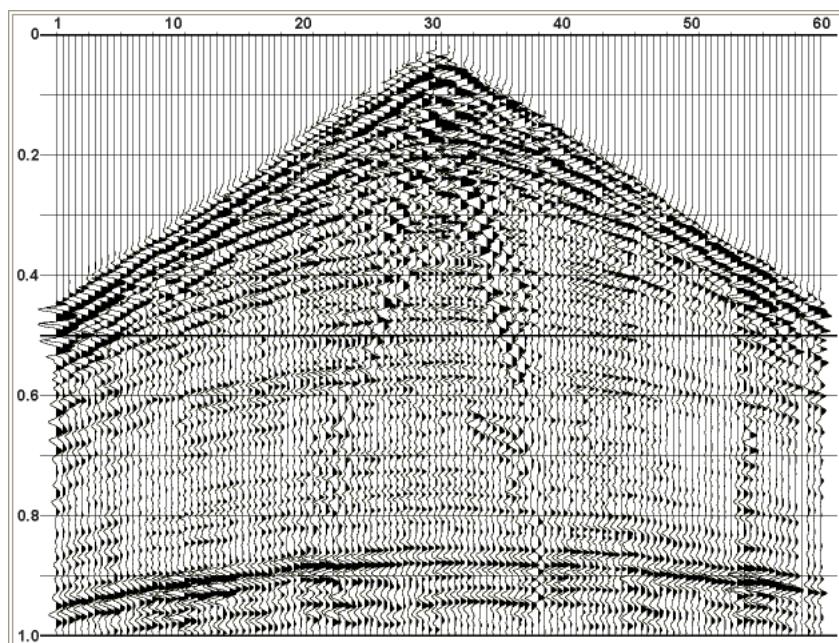


Figura 2.2: Um sismograma. Cada linha vertical é um traço sísmico das ondas sísmicas refletivas e captadas por um geofone. O eixo x representa a posição dos geofones, já o eixo y apresenta o tempo que ida e volta de um tiro.

## 2.1 O Formato SEG-Y

O SEG-Y é um dos diversos formatos de arquivos existentes para o armazenamento de dados sísmicos (SEG Y REV 1 DATA EXCHANGE FORMAT, 2002), sendo este o formato requisitado pela Agência Nacional do Petróleo para que cópias de aquisições de dados sísmicos em solo brasileiro lhe sejam enviadas (ANP, 2004). A figura 2.3 apresenta o formato padrão de um arquivo SEG-Y.

O SEG-Y utiliza o formato EBCDIC (*Extended Binary Coded Digital Interchange Character*), proposto pela IBM e relativamente bem utilizado quando o padrão SEG-Y foi desenvolvido. Apesar do EBCDIC ter sido amplamente substituído pelo padrão ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*), o SEG-Y ainda o utiliza por razões de compatibilidade.

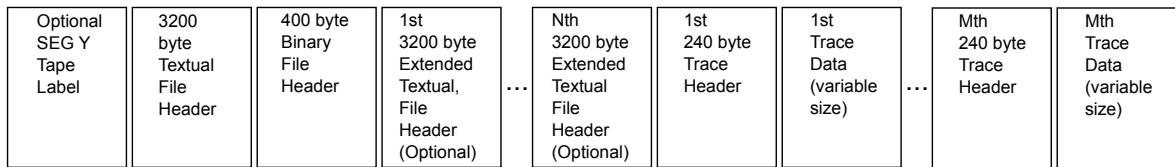


Figura 2.3: Estrutura do formato de arquivo SEG-Y. Obtido de (SEG Y REV 1 DATA EXCHANGE FORMAT, 2002).

O SEG-Y possui um cabeçalho de *exatamente* 3.200 bytes a ser preenchido com o formato EBCDIC. Isso significa que mesmo que nenhuma informação seja posta nesse cabeçalho é necessário que 3.200 bytes do arquivo sejam alocados. Cada arquivo SEG-Y possui um cabeçalho com informações sobre a aquisição, como o seu local, a distância entre dois tiros consecutivos etc. Informações nesse cabeçalho são escritas em 40 linhas de 80 caracteres cada uma. Como no formato EBCDIC cada caractere ocupa 8 bits (1 byte), tem-se  $80 \times 40 \times 1 = 3.200$  bytes (SEG Y REV 1 DATA EXCHANGE FORMAT, 2002).

O próximo campo do arquivo SEG-Y é um cabeçalho binário de *exatamente*

400 bytes preenchidos com inteiros de 2 bytes ( $200 \text{ inteiros} \times 2$ ) ou de 4 bytes ( $100 \text{ inteiros} \times 4$ ). Há apenas um cabeçalho binário por arquivo SEG-Y e ele contém dados referentes à disposição dos geofones, sistema de medição de distâncias (metros, pés etc.), formato dos dados do arquivo (ponto flutuante de 32 bits, inteiro de 16 ou 32 bits etc) dentre outras informações. Seu preenchimento não é obrigatório, embora seja extremamente recomendável (SEG Y REV 1 DATA EXCHANGE FORMAT, 2002).

Em seguida, um número opcional de cabeçalhos chamados de *Extended Textual File Header* de tamanhos fixos de 3.200 bytes são apresentados. O objetivo de tais cabeçalhos é proporcionar um espaço adicional para informações necessárias sobre o arquivo SEG-Y de maneira flexível, mas bem estruturada. O tipo de informação aqui registrada inclui dados sobre navegação, registro de atividades não corriqueiras (condições adversas do clima, por exemplo), parâmetros de aquisição etc. (SEG Y REV 1 DATA EXCHANGE FORMAT, 2002). O número de cabeçalhos depende da quantidade de informação que se deseja reportar.

A partir de então, sempre será alternado um campo cabeçalho do traço (*Trace Header*), de 240 bytes e os dados do traço (*Trace Data*), de tamanho variável. Há exatamente um cabeçalho para cada *trace data*. O cabeçalho possui atributos relacionados aos traços, utilizando inteiros de dois ou quatro bytes. Algumas das informações que pode conter um cabeçalho são identificação do tiro que gerou o traço, código de identificação do traço, elevação do terreno em que a o traço foi registrado, latitude e longitude do posicionamento do geofone, data e hora da aquisição do traço, dentre outros.

Os campos *trace data* contém os valores obtidos pelos geofones no decorrer da aquisição. Esses dados são armazenados em sequência, utilizando números *float*. A representação *IBM single precision floating point format* é mais utilizada para

este fim (WANG; MISHRA, 2008).

### 3 COMPRESSÃO DE DADOS

Devido a diversos avanços tecnológicos durante as últimas decadas, principalmente no campo de *Big Data*, a compressão de dados alcançou uma grande importância, sendo a protagonista de muitos avanços na tecnologia atual. Para se ter uma ideia, armazenar uma música não comprimida de apenas dois minutos com qualidade de CD requer mais de 84 milhões de bits (SAYOOD, 2005), enquanto uma música no formato MP3 de 256 kbps, também de dois minutos, requer em torno de trinta milhões de bits, menos da metade. Em geral, a compressão pode ser definida como o processo de conversão de uma entrada, ou o dado original, em outro dado, sendo este a saída, ou o dado comprimido, cujo tamanho é inferior à entrada. Na Computação, o conceito de tamanho é aplicável à quantidade de bits que se utiliza para a representação de um dado.

Embora a compressão esteja sendo amplamente explorada nos dias de hoje, esta é uma área de estudos precedente à própria Computação. Alguns autores atribuem a Samuel Morse o primeiro projeto de compressão de dados. Samuel criou, em 1835, o Código Morse, sistema pelo qual era possível enviar mensagens a partir de um telégrafo, onde os caracteres de um texto eram trocados por sequências de pontos e traços. Samuel percebeu que o aparecimento de algumas letras era mais comum que outras em um texto, e atribuiu a elas uma sequência de pontos e traços mais curtas que caracteres que menos apareciam. Por exemplo, a letra *E* é representada por apenas um ponto (•) enquanto a letra *X* é representada pela sequência traço, ponto, ponto, traço (— • • —).

Nos anos que se seguiram à invenção de Samuel, avanços substanciais foram feitos no campo da Teoria da Informação, com especial atenção ao artigo de Claude

Elwood Shannon (SHANNON, 1948). Shannon descreve, entre outros conceitos, o de *entropia* como medida de informação. A entropia estabelece a menor média de bits necessária para se representar um dado. Seu conceito foi baseado na divisão do dado em símbolos com suas respectivas probabilidades. Dessa forma, um *símbolo* é a menor parte em que um dado é subdividido. Por exemplo, em um texto o conjunto de símbolos únicos pode ser cada caractere isolado (letra, espaço, pontuação etc.) dele. É possível escolher também cada palavra do texto como elemento do conjunto de símbolos. A entropia está representada matematicamente na equação 3.1, onde  $n$  é o número de símbolos distintos do dado e  $P_i$  é a probabilidade do símbolo ocorrer.

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i \quad (3.1)$$

Para calcular a entropia da frase *O rato roeu a roupa do rei de Roma*, por exemplo, considerando que cada letra seja um símbolo, que todas as letras são minúsculas e sem considerar o caractere espaço, é necessário, primeiramente, calcular a probabilidade de cada símbolo único aparecer e, depois,  $\log_2 P_i$ . Tais cálculos podem ser vistos na tabela 3.1. Em seguida, aplicando a equação 3.1 nos dados da tabela 3.1 obtém-se o valor  $H = 3,013$  bits por símbolo. Em outras palavras, cada símbolo ocuparia, em média, 3,013 bits. Como a mensagem possui 26 símbolos, o tamanho total a ser ocupado é de  $26 \times 3,013 \approx 79$  bits. Na codificação UTF-8, cada símbolo ocupa 8 bits,  $8 \times 26 = 208$  bits. Bem acima da entropia calculada.

Uma crítica a ser feita ao conceito de entropia estabelecido por Shannon é que ele não leva em consideração a autocorrelação do dado. Portanto, é possível baixar a entropia de um dado removendo sua redundância. Os termos *redundância, estrutura, padrão* e *autocorrelação* referem-se a um mesmo conceito na área de compressão (SALOMON, 2004). Em geral, um dado qualquer de natureza não puramente aleatória possui uma coleção de padrões, que pode ser explorada a fim de

| Caractere  | Nº aparições | $P_i$    | $\log_2 P_i$ |
|------------|--------------|----------|--------------|
| t, p, m, i | 1            | 0,038462 | -4,70044     |
| d, u       | 2            | 0,076923 | -3,70044     |
| e          | 3            | 0,115385 | -3,11548     |
| a          | 4            | 0,153846 | -2,70044     |
| r          | 5            | 0,192308 | -2,37851     |
| o          | 6            | 0,230769 | -2,11548     |

Tabela 3.1: Probabilidade e  $\log_2$  dos símbolos distintos da frase *O rato roeu a roupa do rei de Roma.*

se obter uma representação da informação original utilizando um número menor de bits.

Levando em conta que em geral a informação é correlacionada, muitos autores lançam mão de uma abordagem em duas etapas, sendo a primeira a decorrelação do dado e redução de sua variância e a segunda a utilização de um algoritmo de compressão em si. Esse paradigma não é novidade e já foi abordado em outros trabalhos (STEARNS; TAN; MAGOTRA, 1993). A figura 3.1 ilustra o processo de compressão em duas etapas.



Figura 3.1: Esquema de uma compressão de duas etapas. Na primeira o dado é decorrelacionado para que sua entropia seja diminuída. Na segunda um algoritmo de compressão é utilizado.

Na segunda etapa, algoritmos clássicos de compressão são utilizados. Como a solução criada em 1952 por David Albert Huffman e publicada em (HUFFMAN, 1952). A Codificação de Huffman. Uma ideia tão simples que, segundo (LEVINE; YOUNG, 2011), “até um aluno do Ensino Médio poderia entender”. A ideia de Huffman se valia da probabilidade de cada símbolo único ocorrer no dado de entrada. O algoritmo baseia-se na criação de uma árvore binária onde cada nó representa um

símbolo do dado. Símbolos com maior número de repetições no dado original estão mais perto da raiz, enquanto que aqueles com menor probabilidade possuem maior altura na árvore. Atribuindo-se o bit um aos filhos à esquerda e zero aos da direita de um nó, obtem-se a nova codificação do símbolo percorrendo a árvore.

A Codificação de Huffman é um algoritmo guloso (CORMEN et al., 2009) e é tida hoje como o primeiro método moderno de compressão existente (SAYOOD, 2003) e utilizado em programas como Winzip e PKZip (MEYER, 2005; LEVINE; YOUNG, 2011). Nos anos que se seguiram, foram feitas diversas tentativas de tornar a Codificação de Huffman dinâmica, ou seja, capaz de calcular a probabilidade de cada símbolo aparecer em tempo real, ajustando a árvore construída dinamicamente sempre que necessário. Destacam-se as soluções propostas em (KNUTH, 1985) e (VITTER, 1987).

Outra solução que pode ser usada na segunda etapa é a Codificação Aritmética (ABRAMSON, 1963). Como ela será utilizada nesse trabalho, ela será detalhada na seção 3.1.

### 3.1 A Codificação Aritmética

A Codificação Aritmética, proposta primeiramente em (ABRAMSON, 1963) e estudada mais a fundo por (WITTEN; NEAL; CLEARY, 1987), faz parte de um dos algoritmos de compressão mais utilizados atualmente, seja diretamente ou como base para outras soluções. Diferente dos demais algoritmos, como o de Huffman, a codificação aritmética não cria um código único para cada símbolo distinto do dado e depois relê o dado original substituindo cada símbolo pelo seu respectivo código, ela gera um código que representa todo o dado de entrada, de forma que trocar dois símbolos de lugar pode criar um código completamente diferente do anterior. Já na

codificação de Huffman, por exemplo, o código só mudaria nas posições onde houve a troca.

O objetivo do algoritmo é gerar um número entre zero e um. O seu primeiro passo é listar os símbolos únicos do dado original e calcular a probabilidade de cada um aparecer. Esse cálculo pode ser feito contando a quantidade de vezes que cada símbolo ocorre ou fazendo algum tipo de estimativa. Quanto mais apurada for a estimativa, melhor resultado a codificação aritmética vai alcançar. De posse das probabilidades de cada símbolo único ocorrer, o intervalo  $(0, 1]$  é criado e particionado na mesma quantidade de símbolos distintos do dado original. Cada partição possui tamanho proporcional à probabilidade do respectivo símbolo aparecer no dado original, e é rotulada de acordo com o símbolo que ela representa.

No próximo passo, o algoritmo lê o primeiro símbolo ( $s_1$ ) do dado de entrada, encontra a partição a que pertence tal símbolo e redimensiona o intervalo, que antes era  $(0, 1]$ , para o tamanho referente à partição de  $s_1$ . Isso é feito multiplicando o tamanho de cada uma das partições pela probabilidade de  $s_1$ . Esse processo é repetido para cada um dos próximos símbolos existentes no dado de entrada, até que eles terminem.

Uma vez que os símbolos no dado original terminam, tem-se um último intervalo, delimitado pelo menor e maior tamanhos de partições, respectivamente. Qualquer número contido nesse intervalo pode ser enviado para o decodificador para que, junto com as probabilidades de cada símbolo ocorrer, o dado original seja regenerado, sem perdas.

Existe uma técnica capaz de escolher o melhor número no intervalo calculado na codificação aritmética e facilitar a decodificação do dado comprimido. Ela se baseia em uma busca binária no intervalo original, que inicialmente era  $(0, 1]$ . Nessa

condição, o primeiro número testado seria 0,5. Se 0,5 estiver contido no intervalo calculado pela codificação aritmética, 0,5 é transformado em binário e enviado ao decodificador. Se não, testa-se se 0,5 for menor do que o limite inferior do intervalo calculado pela codificação aritmética, o próximo número a ser testado é 0,75. Se 0,5 for maior que o limite superior do intervalo, o próximo valor a ser testado é 0,25. Esse processo se repete até que o primeiro número dentro do intervalo calculado pela codificação aritmética seja encontrado. Este número é transformado em binário e enviado ao decodificador.

Seja o dado original  $A = \{a_1, a_1, a_2, a_1, a_1\}$  e o conjunto de probabilidades  $P = \{P_{a_1} = 0,8; P_{a_2} = 0,2\}$ . Deseja-se utilizar a codificação aritmética para comprimir  $A$ . A figura 3.2 ilustra as iterações do algoritmo.

Primeiramente, o intervalo  $[0, 1)$  é particionado em duas partes, já que existem apenas dois símbolos distintos no dado original,  $a_1$  e  $a_2$ . Como a probabilidade de  $P_{a_1} = 0,8$  e  $P_{a_2} = 0,2$ , esse é o tamanho das partições de  $a_1$  e  $a_2$ , respectivamente. Em seguida, os dados começam a ser lidos.  $a_1$  é o primeiro elemento de  $A$ . Como a partição de  $a_1$  no intervalo original é delimitada por  $[0, 2; 1)$ , esses serão os novos limites do intervalo.

De acordo com a figura 3.2, qualquer número no intervalo  $[0, 40608; 0, 488)$  pode ser enviado para o decodificador para que haja a descompressão. Para se escolher o melhor número no intervalo, faz-se uma busca binária como acima mencionado. O primeiro número testado é 0,5, pois  $(1 + 0)/2 = 0,5$ . Como 0,5 está acima do intervalo superior 0,488, o próximo valor a ser testado é 0,25, pois  $(0 + 0,5)/2 = 0,25$ , que está abaixo do intervalo inferior 0,40608. A tabela 3.2 mostra as iterações do algoritmo de busca binária à procura do primeiro número dentro do intervalo calculado pela codificação aritmética. O número encontrado foi 0,4375.

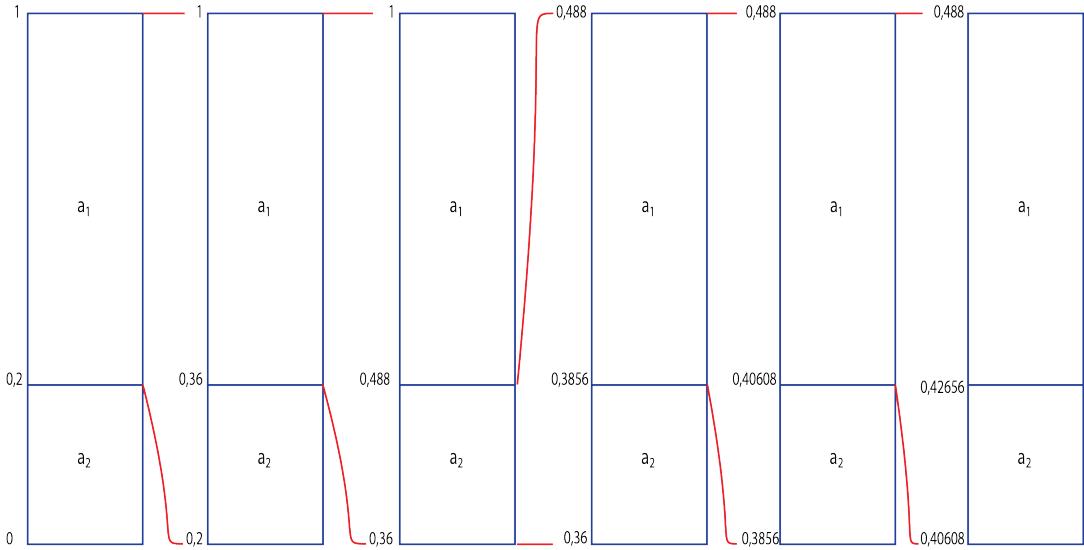


Figura 3.2: Ilustração do algoritmo da codificação aritmética

| Intervalo Inferior | Intervalo Superior | Valor Testado | Situação            |
|--------------------|--------------------|---------------|---------------------|
| 0                  | 1                  | 0,5           | < superior          |
| 0                  | 0,5                | 0,25          | < inferior          |
| 0,25               | 0,5                | 0,375         | < inferior          |
| 0,375              | 0,5                | 0,4375        | Dentro do intervalo |

Tabela 3.2: Exemplo iteração algoritmo codificação aritmética

Para a descompressão, o valor 0,4375 bem como a probabilidade de cada símbolo único ocorrer são suficientes. Algumas implementações também pedem a quantidade de símbolos existentes no dado original para facilitar o processo. A grande vantagem da codificação aritmética é que ela tende para a entropia do dado. Em outras palavras, seja um dado hipotético de tamanho infinito, é possível provar que a entropia do dado gerado pela codificação aritmética tende a  $H$  (equação 3.1) (WITTEN; NEAL; CLEARY, 1987). Como desvantagens, a codificação aritmética sofre do risco de truncamento, caso o número calculado pelo algoritmo contenha muitas casas decimais. Ademais, a codificação aritmética foi projetada para funcionar com números inteiros e em intervalos contínuos.

### 3.1.0.1 O algoritmo de Stearns

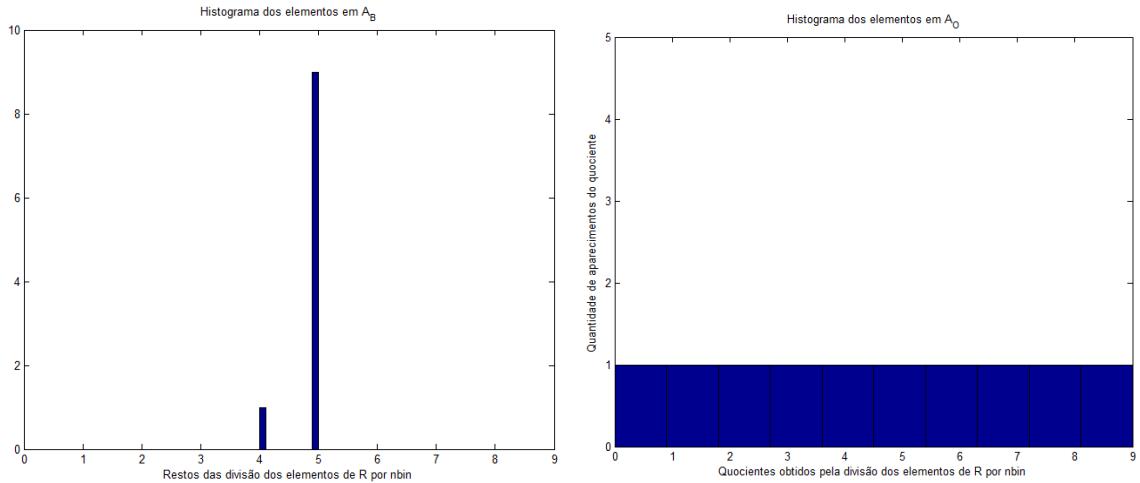
Para contornar os problemas acima citados, Stearns propôs um método para limitar a quantidade de símbolos do dado original e transformá-los em inteiros (STEARNS, 1995). O algoritmo de Stearns deve ser rodado antes do dado ser enviado à codificação aritmética. Seja  $A$  o dado que se deseja comprimir utilizando codificação aritmética, Stearns propõe que todos os elementos de  $A$  sejam divididos por um mesmo valor. Essa divisão deve ser inteira. Posteriormente, o resto das divisões por esse mesmo valor deve ser calculado. Dessa forma, de  $A$  foram obtidas duas novas séries numéricas  $A_B$ , com os quocientes das divisões e  $A_O$  com os restos. Ambas inteiras.

Idealmente, espera-se utilizar um quociente que crie muitos valores repetidos em  $A_B$ , de forma que a contagem de elementos em  $A_B$  siga uma distribuição gaussiana. A contagem de elementos de  $A_O$ , em contrapartida, deve gerar uma distribuição uniforme.  $A_B$  é, então, comprimido com codificação aritmética e  $A_O$  não sofre qualquer compressão.

O algoritmo 1 descreve a criação de Stearns. As linhas 2 e 3 nada mais fazem do que iniciar os vetores  $A_O$  e  $A_B$ . A função *zeros* retorna um vetor de  $|A|$  elementos, todos iguais a zero. Na linha 4, o contador  $i$  é iniciado. A linha 5 estabelece a condição de parada do algoritmo, já que  $|A|$  designa o número de elementos de  $A$ .

A linha 6 indica que o resto da divisão do elemento na posição  $i$  do vetor  $A$  por  $nbin$  será guardado na posição  $i$  do vetor  $A_O$ . Na linha 7, o quociente, arredondado para baixo, da divisão do elemento na posição  $i$  do vetor  $A$  por  $nbin$  é guardado na posição  $i$  do vetor  $A_B$ . A linha 8 incrementa o índice atual dos vetores e a linha 10 retorna o resultado obtido.

Suponha o vetor  $A = \{52, 54, 55, 50, 53, 58, 47, 51, 56, 59\}$  e o valor de  $n_{bin}$  igual a 10. A aplicação do algoritmo de Stearns resultaria nos vetores  $A_B = \{5, 5, 5, 5, 5, 5, 4, 5, 5, 5\}$  e  $A_O = \{2, 4, 5, 0, 3, 8, 7, 1, 6, 9\}$ .  $A_B$  é então comprimido pela codificação aritmética e  $A_O$  é enviado para o decodificador sem nenhum tipo de compressão.



(a) Histograma dos quocientes das divisões dos elementos de  $A$  por  $n_{bin}$ . (b) Histograma dos restos das divisões dos elementos de  $A$  por  $n_{bin}$ .

Figura 3.3: À esquerda o histograma segue uma distribuição gaussiana. À direita o histograma segue uma uma distribuição uniforme. Esse é o resultado ideal da aplicação do algoritmo de Stearns.

---

**Algoritmo 1:** Algoritmo desenvolvido no trabalho de (STEARNS, 1995) a fim de se diminuir o número de símbolos para compressão com a codificação aritmética

---

**Entrada:**

**A** Vetor contendo o conjunto de números sobre os quais deseja-se aplicar o algoritmo de Stearns

**nbin** Número inteiro indicando o número máximo de símbolos distintos que **A** deve conter

**Saída:**

$A_O$  Vetor de restos das divisões.

$A_B$  Vetor com o quociente das divisões.

---

```

1 início
2    $A_O \leftarrow \text{zeros}(|A|);$ 
3    $A_B \leftarrow \text{zeros}(|A|);$ 
4    $i \leftarrow 0;$ 
5   enquanto  $i < |R|$  faça
6      $A_O[i] \leftarrow \text{resto\_divisao}(R[i], nbin);$ 
7      $A_B[i] \leftarrow \left\lfloor \frac{R[i]}{nbin} \right\rfloor;$ 
8      $i++;$ 
9   fim enqto
10  retorna  $\{A_O, A_B\};$ 
11 fim

```

---

## 4 ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS

O objetivo deste capítulo é a introdução de alguns conceitos relativos a séries temporais e modelos utilizados para modelá-las e prever seus próximos valores.

### 4.1 Conceitos iniciais

Existem, na literatura, diversas definições para o termo *série temporal*. A definição proposta em (MORETTIN; TOLOI, 2008) parece ser mais abrangente. Nela, o autor caracteriza uma série temporal como uma realização de um processo estocástico. Já (SEWARD, 2008) a conceitua como dados observados em  $n$  períodos, restringindo sua definição a séries temporais discretas. O mesmo faz (DAGUM; CHOLETTE, 2006), onde as séries temporais são formalmente definidas como um conjunto de variáveis aleatórias indexadas no tempo. Neste trabalho as séries temporais sempre serão discretas. Portanto, as três definições acima são aceitáveis.

Uma série temporal pode ser caracterizada, ainda, como estacionária ou não estacionária. Uma série estacionária é aquela que flutua ao redor de uma média ao longo do tempo. A figura 4.1a apresenta o exemplo de uma série estacionária, enquanto na figura 4.1b é exibido um exemplo de uma série não estacionária. A fim de se tornar uma série não estacionária em estacionária, calcula-se a diferença entre seus termos consecutivos. Seja  $Z$  uma série temporal e  $\Delta^d$  o operador diferença, sendo  $d$  a quantidade de diferenças a ser calculada, a equação 4.1 mostra a criação de uma nova série,  $W$ , formada pela  $d$ -ésima diferença da série  $Z$ .

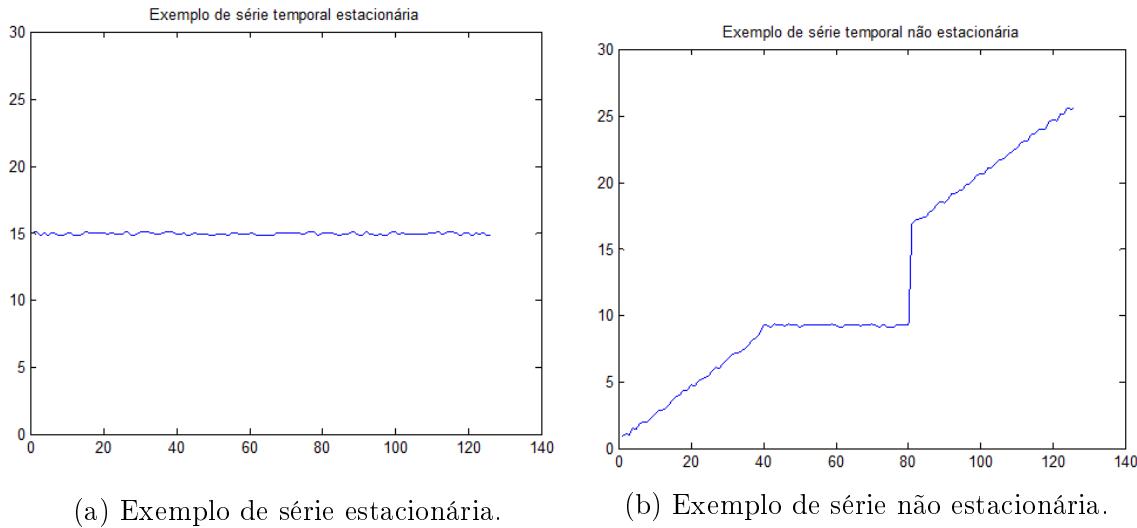
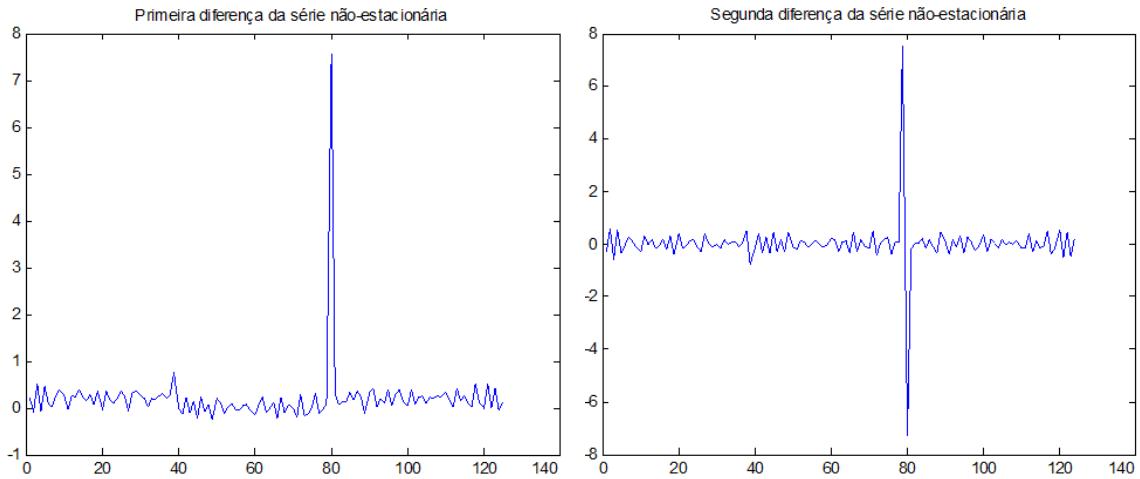


Figura 4.1: À esquerda o exemplo de uma série estacionária. À direita o exemplo de uma série não estacionária.

$$W = \Delta^d Z \quad (4.1)$$

Aplicando-se a equação 4.1 sobre a série da figura 4.1, obtém-se os resultados expostos na figura 4.2. É possível ver que, para  $d = 1$ , a série ainda não se tornou estacionária, necessitando de mais uma diferença para fazê-lo. Em geral, duas diferenças são suficientes para tornar a série estacionária (MORETTIN; TOLOI, 2008).

Uma série temporal é dita *homocedástica* se sua variância puder ser considerada constante ao longo do tempo. Caso contrário, a série é chamada de *heteroscedástica*. A figura 4.3a apresenta uma série temporal homocedástica ao passo que as figuras 4.3b e 4.3c apresentam exemplos de dados heteroscedásticos.



(a) Resultado da aplicação da equação 4.1 com  $d = 1$  na figura 4.1b.  
 (b) Resultado da aplicação da equação 4.1 com  $d = 2$  na figura 4.1b.

Figura 4.2: Tornando a figura 4.1b em estacionária através da equação 4.1.

## 4.2 Modelo Auto-regressivo

Seja  $Z$  uma série temporal de  $x$  elementos  $Z = \{Z_0, Z_1, \dots, Z_{x-1}\}$  e  $t$  um momento no tempo válido para  $Z$ , ou seja,  $0 \leq t < x$ . Sendo assim,  $Z_t$  é um valor de  $Z$  no momento  $t$ . Agora, consideremos o problema de se obter o valor  $Z_t$  dado os  $p$  valores anteriores imediatamente consecutivos. Para início, considerando  $p = 1$ ,  $Z_t$  depende apenas do valor de  $Z_{t-1}$ ,  $Z_{t-1}$  de  $Z_{t-2}$  e assim por diante. Não parece razoável estabelecer a simples relação  $Z_t = Z_{t-1}$ , pois em nenhum momento foi dito que  $Z_t$  realiza uma série temporal constante.

A relação  $Z_t = \alpha_1 Z_{t-1}$  aparece como uma alternativa mais interessante nesse cenário. Entretanto, diz-se impossível encontrar um único valor de  $\alpha_1$  que satisfaça todas as possíveis igualdades, a saber:  $Z_2 = \alpha_1 Z_{t1}$ ,  $Z_3 = \alpha_1 Z_{t2}$ ,  $Z_4 = \alpha_1 Z_{t3}$ ,  $\dots$ ,  $Z_t = \alpha_1 Z_{t-1}$ . Para resolver esse problema, utiliza-se a relação presente na equação  $Z_t = \alpha_1 Z_{t-1} + \epsilon_t$ , em que um termo de erro ( $\epsilon_t$ ) é adicionado. Para contemplar séries em que a média, aqui representada pelo termo  $\alpha_0$ , não é zero, a equação 4.2

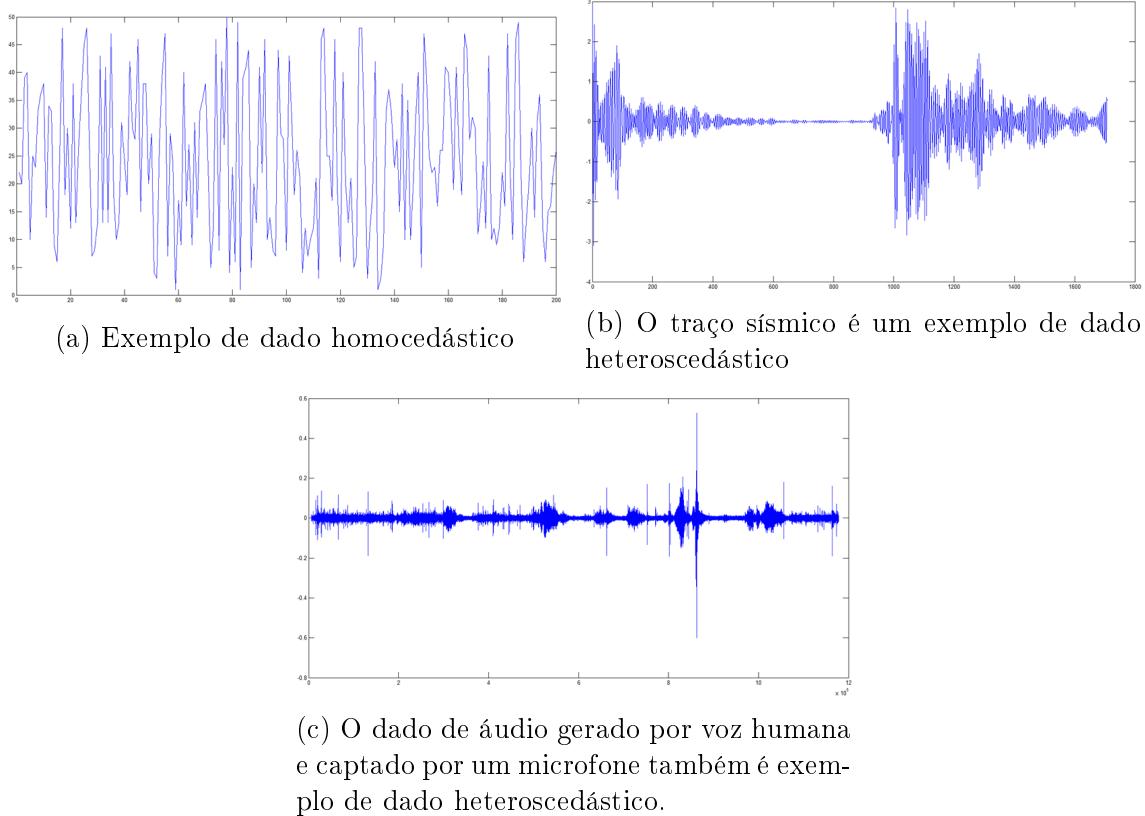


Figura 4.3: Exemplos de dados homo e heterocedásticos.

é utilizada.

$$Z_t = \alpha_0 + \alpha_1 Z_{t-1} + \epsilon_t \quad (4.2)$$

Considerando agora  $p = 2$ , obtém-se o valor de  $Z_t$  através da relação  $Z_t = \alpha_0 + \alpha_1 Z_{t-1} + \alpha_2 Z_{t-2} + \epsilon_t$ . Para  $p = 3$ , vale a relação  $Z_t = \alpha_0 + \alpha_1 Z_{t-1} + \alpha_2 Z_{t-2} + \alpha_3 Z_{t-3} + \epsilon_t$ . De uma forma geral, tem-se:

$$Z_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i Z_{t-i} + \epsilon_t \quad (4.3)$$

A equação 4.3 representa o modelo auto-regressivo de ordem  $p$ , uma generalização do modelo representado na equação 4.2, em que  $p = 1$ . Portanto, um modelo auto-regressivo é pura e simplesmente uma regressão linear de ordem  $p$ .

Como dito anteriormente, encontrar um conjunto de parâmetros  $\alpha$  que satisfaça a todas as desigualdades existentes é dito impossível em muitos casos. O desafio é encontrar um conjunto de parâmetros que miniminize o conjunto de erros  $\{\epsilon_0, \epsilon_1, \dots, \epsilon_{x-1}\}$ . Diz-se que um modelo é “bem calculado” se encontra um conjunto de alfa que minimiza o conjunto de erros. Além disso, um modelo bem calculado também gera um conjunto de erros descorrelacionados (MORETTIN; TOLOI, 2008).

### 4.3 Modelo de Médias Móveis

A fórmula do modelo de médias móveis (equação 4.4) é muito parecida com o do modelo auto-regressivo. Entretanto, o modelo de médias móveis é conceitualmente uma regressão linear da diferença dos termos anteriores da série com choques aleatórios e termos de erros originados de algum tipo de ruído (como ruído branco, por exemplo) (MORETTIN; TOLOI, 2008). Mais claramente, enquanto que o modelo auto-regressivo utiliza os  $t - p$  termos anteriores para tentar calcular o atual, o modelo de média móveis utiliza os  $t - q$  erros anteriores para tentar encontrar o termo atual, sendo  $q$  a ordem do modelo de médias móveis.

$$Z_t = \theta_0 + \sum_{i=1}^q \theta_i \epsilon_{t-i} + \epsilon_t \quad (4.4)$$

Na equação 4.4,  $\theta_0$  é a média da série,  $\theta_{t-1, t-2, \dots, t-q}$  são os coeficientes do modelo e  $\epsilon_{1, 2, \dots, t}$  representa a diferença entre o valor real da série e o calculado pelo

preditor. Esse erro é também chamado de *resíduo*.

O papel do choque aleatório em um modelo de médias móveis é diferentes do modelo auto-regressivo de duas formas. Primeiro porque eles são propagados a valores futuros do modelo de forma direta, já que o termo  $\epsilon_{t-1}$  aparece na parte direita da equação de  $Z_t$ . No modelo auto-regressivo, essa propagação ocorre de forma indireta, pois  $\epsilon_{t-1}$  aparece na fórmula de  $Z_{t-1}$  mas não na de  $Z_t$ , embora  $Z_{t-1}$  esteja na fórmula de  $Z_t$ . Segundo porque um choque no modelo de médias móveis afeta  $Z$  durante os próximos  $q$  períodos apenas, enquanto que no modelo auto-regressivo um choque afeta o modelo até o final, embora a influência desse choque tenda a zero conforme  $t$  aumenta (MORETTIN; TOLOI, 2008).

#### 4.4 Modelo Auto-regressivo de médias móveis

O modelo auto-regressivo de médias móveis, comumente conhecido como modelo ARMA( $p, q$ ), em que  $p$  e  $q$  são os parâmetros auto-regressivo e de médias móveis, foi originalmente descrito no ano de 1951 na tese de Peter Whistle (WHITTLE, 1951) e popularizado no livro de George Edward Pelham Box e Gwilym Jenkins (BOX; JENKINS, 1976).

O modelo ARMA(1, 1) é definido como  $Z_t = c + \alpha_1 Z_{t-1} + \theta_1 \epsilon_{t-1} + \epsilon_t$ , em que  $c$  é a média da série,  $\alpha_{1,2,\dots,p}$  e  $\theta_{1,2,\dots,q}$  são os coeficientes do modelo auto-regressivo e de médias móveis, respectivamente. A equação 4.5 apresenta o modelo ARMA( $p, q$ ).

$$Z_t = c + \alpha_1 Z_{t-1} + \alpha_2 Z_{t-2} + \dots + \alpha_p Z_{t-p} + \theta_1 \epsilon_{t-1} + \theta_2 \epsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \epsilon_{t-q} + \epsilon_t$$

$$Z_t = c + \sum_{i=1}^p \alpha_i Z_{t-i} + \sum_{i=1}^q \theta_i \epsilon_{t-i} + \epsilon_t \quad (4.5)$$

O modelo ARMA( $p, q$ ) mostrou-se uma opção poderosa e vem sendo usado até os dias de hoje. O seu único problema, entretanto, é que ele funciona apenas com séries estacionárias. Para contornar essa limitação, projetou-se um novo modelo a partir do modelo ARMA, o ARIMA.

## 4.5 Modelo Auto-regressivo integrado de médias móveis

O modelo ARIMA( $p, d, q$ ) é uma generalização do modelo ARMA( $p, q$ ) porque também funciona com séries não-estacionárias. Os parâmetros  $p$  e  $q$  continuam representando, respectivamente, a ordem dos modelos auto-regressivo e de médias móveis, enquanto  $d$  refere-se à quantidade de diferenças aplicadas à série para torná-la estacionária. Utilizando a equação 4.1, o modelo ARIMA( $p, d, q$ ) pode ser especificado conforme a equação 4.6.

$$W_t = c + \alpha_1 W_{t-1} + \alpha_2 W_{t-2} + \dots + \alpha_p W_{t-p} + \theta_1 \epsilon_{t-1} + \theta_2 \epsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \epsilon_{t-q} + \epsilon_t \quad (4.6)$$

O modelo existente na equação 4.6 sugere que os valores de  $W_{1,2,\dots}$  no momento  $t$  podem ser previstos baseados nos  $p$  valores antecessores e nos  $q$  resíduos antecessores da série original  $Z$ . De uma forma geral, a sequência dos erros,  $\epsilon$ , é considerada um ruído branco gaussiano, variáveis aleatórias seriamente descorrelacionadas que possuem distribuição Gaussiana, com média zero e variância finita.

A equação 4.6 pode ser reescrita da seguinte forma:

$$W_t - \alpha_1 W_{t-1} - \alpha_2 W_{t-2} - \dots - \alpha_{t-p} W_{t-p} = c + \theta_1 \epsilon_{t-1} + \theta_2 \epsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \epsilon_{t-q} + \epsilon_t$$

Considerando  $\overline{AR}_p$  como o operador auto-regressivo que especifica uma auto-regressão dos últimos  $p$  valores da série e o operador de médias móveis  $\overline{MA}_q$  que especifica médias móveis de ordem  $q$ , a equação acima pode ser reescrita da seguinte forma:

$$\overline{AR}_p(W_t) = \overline{MA}_q(\epsilon_t) \Leftrightarrow \overline{AR}_p(\Delta^d Z_t) = \overline{MA}_q(\epsilon_t)$$

Nota-se que os termos de  $\Delta^d Z_{t=1,\dots,p}$  são as diferenças entre os termos de  $Z_{t=1,2,\dots,p+d}$  e, por isso, o modelo pode ser representado da seguinte forma:

$$\overline{AR}_{p+d}(Z_t) = \overline{MA}_q(\epsilon_t)$$

Os termos de  $Z$  podem ser obtidos através da seguinte relação:

$$Z_t = c + \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \dots + \phi_{p+d} Z_{t-(p+d)} + \theta_1 \epsilon_{t-1} + \theta_2 \epsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \epsilon_{t-q}$$

Ou seja, para predizer valores através do modelo ARIMA( $p, d, q$ ), são necessários os parâmetros  $\phi_{1,2,\dots,p+d}$ , as últimas  $p+d$  amostras da série  $Z_{t-(p+d),\dots,t-1}$ , os  $q$  parâmetros  $\theta_{1,2,\dots,q}$  e os últimos  $q$  resíduos  $\epsilon_{t-1,\dots,t-q}$ .

## 4.6 Modelo Auto-regressivo com heteroscedasticidade condicional generalizado

O modelo Auto-regressivo com heteroscedasticidade condicional generalizado (GARCH) (BOLLERSLEV, 1986) é uma extensão ao modelo Auto-regressivo com heteroscedasticidade condicional (ARCH) (ENGLE, 1982). Seu objetivo é trabalhar com séries temporais que sejam heteroscedásticas, estimando um valor mais real para o resíduo  $\epsilon_i$ , onde  $0 < i \leq t$ .

O modelo GARCH é capaz de prever a variância de uma série temporal utilizando os seus últimos valores. O modelo possui dois componentes  $(\bar{p}, \bar{q})$ .  $\bar{p}$  corresponde ao número de termos GARCH a serem utilizados, enquanto que  $\bar{q}$  corresponde ao número de termos ARCH (BERA; HIGGINS, 1993).

O modelo GARCH  $(\bar{p}, \bar{q})$  aplicado sobre a série temporal  $\delta$ , possui o formato da equação 4.7, onde  $\bar{\alpha}_{0,1,\dots,\bar{p}}$ ,  $\bar{\beta}_{0,1,\dots,\bar{q}}$  e  $\bar{\gamma}$  são parâmetros do modelo,  $\eta_t$  é, em geral, um processo Gaussiano com média zero e variância constante.

$$\delta_t = \eta_t \sqrt{h_t},$$

$$h_{t+1} = \bar{\alpha}_0 \delta_t^2 + \bar{\alpha}_1 \delta_{t-1}^2 + \dots + \bar{\alpha}_{\bar{p}-1} \delta_{t-(\bar{p}-1)}^2 + \bar{\beta}_0 h_t + \bar{\beta}_1 h_{t-1} + \dots + \bar{\beta}_{\bar{q}} h_{t-(\bar{q}-1)} + \bar{\gamma} \quad (4.7)$$

## 4.7 Modelo ARIMA junto com modelo GARCH

É possível combinar os modelos ARIMA e GARCH e gerar um novo modelo, ARIMA-GARCH, ou seja, um modelo ARIMA com a variância do GARCH. Em um modelo ARIMA( $p, d, q$ )-GARCH( $\bar{p}, \bar{q}$ ) os resíduos  $\epsilon_{1,2,\dots,t}$  são modelados através do modelo GARCH, e pode ser modelado da seguinte forma:

$$Z_t = \epsilon_t + \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \dots + \phi_{p+d} Z_{t-p+d} + \theta_1 \epsilon_{t-1} + \theta_2 \epsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \epsilon_{t-q},$$

$$\epsilon_t = \eta_t \sqrt{h_t},$$

$$h_{t+1} = \bar{\alpha}_0 \epsilon_t^2 + \bar{\alpha}_1 \epsilon_{t-1}^2 + \dots + \bar{\alpha}_{\bar{p}-1} \epsilon_{t-\bar{p}}^2 + \bar{\beta}_0 h_t + \bar{\beta}_1 h_{t-1} + \bar{\beta}_{\bar{q}} h_{t-\bar{q}-1} + \bar{\gamma} \quad (4.8)$$

Esse modelo possui os parâmetros  $\phi_{1,2,\dots,p+d}$ ,  $\theta_{1,2,\dots,q}$ ,  $\bar{\alpha}_{0,1,\dots,\bar{p}}$ ,  $\bar{\beta}_{0,1,\dots,\bar{q}}$  e  $\bar{\gamma}$ . A tarefa agora é resolver um problema de otimização para estimar os melhores valores desses parâmetros para gerar a menor variância possível dos resíduos. A resolução desse problema foi feita através da Programação Quadrática Sequencial.

A Programação Quadrática Sequencial (PQS) é um dos mais bem sucedidos métodos para a solução numérica de problemas de otimização não-linear (HOPPE, 2006). Seja um problema que consiste na minimização de uma função sujeita a um conjunto de restrições, uma sequência de subproblemas é construída. A função objetivo é substituída por uma aproximação quadrática e as restrições são substituídas por aproximações lineares. Daí o nome de Programação Quadrática Sequencial (UNNES; DINIZ-EHRHARDT, 2010).

Mais especificadamente, a PQS se baseia em um procedimento iterativo que modela o problema para uma dada iteração  $x^k$ ,  $k \in \mathbb{N}_+^*$ , através da utilização de soluções envolvendo programação quadrática. O método usa a iteração atual para construir uma nova iteração  $x^{k+1}$ . Essa construção é feita de tal forma que a solução converja para um mínimo local quando  $k \rightarrow \infty$ . A presença de restrições na PQS faz com que tanto a análise quanto a implementação dela sejam bem complicadas.

A explicação a fundo da PQS é bem complexa e foge do escopo desse trabalho. Para mais informações, recomenda-se ao leitor mais curioso a leitura do capítulo 18 do material (NOCEDAL; WRIGHT, 2000).

Uma vez calculados os valores dos parâmetros ARIMA  $(\phi_{1,2,\dots,p+d}, \theta_{1,2,\dots,q})$  e as últimas  $d + p$  amostras da série temporal  $Z$ , é possível predizer os valores dos próximos elementos de  $Z$ . Levando-se em consideração o modelo de variância do GARCH, a série de resíduos tende a ter uma variância baixa.

## 5 MÉTODO DE COMPRESSÃO PROPOSTO

Um modelo matemático linear capaz de modelar uma série temporal a fim de prever seus próximos termos é chamado de *modelo de predição linear*. Os modelos AR e ARMA são modelos de predição linear. Em diversos trabalhos de compressão de dados, os autores não entram no mérito do modelo que foi utilizado, apenas se limitam a dizer que foi utilizada uma predição linear. Nos trabalhos relacionados abaixo, em razão do poder computacional existente na época em que foram propostos, e por descreverem que apenas um conjunto de pesos foi criado pelo modelo, aceita-se que o termo *predição linear* refira-se ao modelo autoregressivo.

### 5.1 Revisão de trabalhos relacionados

Definitivamente, a utilização de predição linear não é novidade na compressão de dados sísmicos. Movido pela sua ampla utilização, na época, em processamento de voz, (BORDLEY, 1983) utilizou a predição linear para a compressão de dados sísmicos, porém com perdas. Mais tarde, com o mesmo objetivo, (SPANIAS; JONSSON; STEARNS, 1990) mostrou que a predição linear obteve resultados melhores que as Transformada Discreta de Fourier, Transformada Discreta do Cosseno, Transformada de Walsh-Hadamard e a Tranformada de Karhunen-Loeve. No trabalho de (STEARNS, 1991) são apresentados, pela primeira vez, o termo *compressão em duas etapas* (*two stage compression*), bem como a ilustração 3.1. Além disso, o autor delimita bem a importância da predição linear para a decorrelação do dado, e foi pioneiro em utilizá-la na exata recuperação dele, resultando em uma compressão sem perdas. Os trabalhos que se seguiram utilizaram a metodologia explicada pelo autor para comprimir dados sem perdas usando predição linear.

Um estudo comparativo de compressão de dados sísmicos, sem perdas, foi feito em (PETERSON; HUTT, 1992) entre predição linear e outros dois métodos que se utilizam de diferenciação na primeira etapa, e diferentes algoritmos de compressão na segunda. Mais uma vez, a predição linear mostrou melhores resultados na compressão. Em (STEARNS; TAN; MAGOTRA, 1993), uma versão modificada da predição linear, utilizando coeficientes discretos, é apresentada pelo autor. É possível perceber que os trabalhos acima mudam uma pequena parte do processo e publicam a novidade. Em (HONEA; STEARNS, 1993), nenhuma mudança no processo foi feita, mas os autores citam que conseguiram chegar à entropia do dado. Em bases teóricas, portanto, não haveria mais meios de comprimí-lo, assumindo que sua autocorrelação foi totalmente removida. Conforme a aquisição sísmica foi se tornando mais fidedigna e com maior precisão numérica, percebeu-se a necessidade de dividir o dado sísmico em subconjuntos. Além disso, dados sísmicos são não-estacionários e previsíveis por apenas pequenos intervalos. Por isso, (FAN; KIRLIN; STEARNS, 1994) propôs não criar um modelo para todo o dado sísmico, mas para pequenas janelas nele. Essa abordagem, além de paralelizável, é computacionalmente mais rápida, porque calcular  $N$  modelos com  $M$  valores cada um é computacionalmente menos complexo do que calcular um modelo com  $N \times M$  valores.

Em (NIJIM; STEARNS; MIKHAEL, 1994), um estudo comparativo entre a predição linear e outros três métodos utilizando diferenciação foi feito. O trabalho concluiu que os métodos de diferenciação são computacionalmente menos complexos, mas geram dados com variância mais elevada, comprometendo o resultado final da compressão. Já em (FARGUES; STEARNS; COUTU, 1994) foi desenvolvido um estudo em que a predição linear foi comparada a sucessivas diferenças no dado combinada com Modulação por código de pulsos (PCM), método geralmente usado para representar digitalmente amostras de sinais analógicos. O resultados foram satisfatórios para o novo método desenvolvido, já que foram comparáveis aos conseguidos pela predição linear, mas executaram em um tempo bem inferior.

Como a predição linear pode gerar resíduos não-inteiros, e alguns algoritmos de compressão não funcionam com esse tipo de dado, foi proposto em (STEARN, 1995) uma forma de contornar esse problema, bem como de diminuir o número de símbolos gerados pela predição linear. Tal solução será utilizada nesse trabalho e, por esse motivo, já foi explicada na página 16. Em (NIJIM; STEARN; MIKHAEL, 1995), o modelo ARMA foi utilizado para a compressão de dados sísmicos sem perda. A abordagem foi comparada aos modelos autoregressivo e de diferenciação. O resultado, de acordo com os autores, foi excelente, pois foi superior ao método de diferenciação e comparável ao método de predição linear.

Conforme citado na página 23, um modelo bem calculado é aquele que consegue um conjunto de resíduos minimizado. Existem alguns algoritmos com esse propósito, e foi justamente o desempenho de alguns desses algoritmos que (MANDYAM; MAGOTRA; MCCOY, 1996) comparou. Portanto, seu trabalho evidenciou que a própria predição linear pode apresentar resultados melhores, se o algoritmo mais propício for escolhido. O cálculo dos parâmetros da predição linear requer tempo e, por isso, sua utilização para compressão em tempo real se torna difícil. Sob essa ideia, outra comparação entre o modelo de predição linear e diferenciação foi feita em (NIJIM; STEARN; MIKHAEL, 1996) com os mesmos resultados obtidos em (NIJIM; STEARN; MIKHAEL, 1994), ou seja, é comparável à predição linear, mas computacionalmente menos complexa. Ainda na onda de comparações, em (NIJIM; STEARN; MIKHAEL, 1997) e (NIJIM; STEARN; MIKHAEL, 2000), a predição linear foi novamente comparada ao modelo ARMA, e os resultados foram bem semelhantes. A métrica utilizada foi a divisão do tamanho comprimido pelo original do dado, e a diferença obtida entre os modelos ocorreu na segunda casa decimal em todos os experimentos e em ambos os trabalhos.

Em (KHENE; ABDUL-JAUWAD, 2000), é proposto um método de compressão de dados sísmicos sofisticado, pelas palavras do autor. Utilizando algum

mistério, o artigo limita-se a dizer que utilizou uma transformada associada a um método estatístico não-linear, embora não tenha especificado qual.

Como citado na página 11, o objetivo da primeira etapa no processo de compressão de dados é a decorrelação e diminuição da variância do dado original. Eventualmente, um modelo pode não ser capaz de remover toda a autocorrelação do dado, apenas reduzi-la. Pensando nisso, (IVES; MAGOTRA; STEARNS, 2002) propõe passar o dado original pelo modelo de predição linear e, caso o resíduo gerado não seja totalmente descorrelacionado, passar o resíduo calculado novamente pelo modelo, repetindo esse processo até se obter o resultado desejado. O trabalho reporta que a compressão foi melhorada notavelmente através desse processo.

Em (KIELY et al., 2009), uma estratégia de paralelização do modelo de predição linear utilizando redes de sensores sem fio é desenvolvida. Um dos grandes méritos do trabalho é permitir compressão dos dados em tempo real, algo até então só conseguido com o método de diferenciação. Também utilizando sensores sem fio, (SAVAZZI; MOLTENI; SPAGNOLINI, 2010) utiliza predição linear para comprimir dados sísmicos de monitoramento de certos campos, como vulcões. Tais trabalhos são interessantes porque, além de mostrarem a faceta paralelizável da predição linear, também precisam se preocupar com diversos fatores limitadores presentes nas redes de sensores sem fio, como perda de pacotes de dados e baixo poder computacional. Em um dos trabalhos mais recentes de compressão de dados sísmicos, (REDDY; DEVI; GANGASHETTY, 2012) estuda o método de análise de componentes principais não-linear combinado com redes neurais auto-associativas para este fim. Sem entrar em muitos detalhes nos resultados obtidos, mas no método em si, o artigo aponta que o método proposto pode ser utilizado na compressão de dados sísmicos sem perdas com êxito.

Saindo um pouco do escopo de modelos preditivos, como o AR e o ARMA,

é possível decorrelacionar o dado sísmico através de transformadas. Essa estratégia de compressão também é bem aceita. Alguns métodos utilizados são a transformada discreta de Fourier, a transformada discreta do cosseno, a transformada de Walsh-Hadamard e a transformada de Karhunen-Loeve. Em (SPANIAS; JONSSON; STEARNS, 1991) tais transformadas foram comparadas, com atenção especial à transformada discreta do cosseno, que foi capaz de reduzir o tamanho do dado original em um terço, sem perdas. Mais tarde, (WU et al., 2006) reportou que a transformada discreta do cosseno adiciona artefatos indesejáveis ao dado comprimido. A compressão, portanto, não pode ser considerada sem perdas, pois o dado original não é reconstruído com exatidão.

Atualmente, os trabalhos de compressão de dados sísmicos sem perdas focam na utilização de abordagens paralelas utilizando rede de sensores sem fio e GPU. Em (ZHENG; LIU, 2012) foi proposta uma forma de paralelizar Transformada Inteira de Gram-Schmidt para redes de sensores sem fio. Tal plataforma também foi utilizada por (LIU et al., 2013) para monitoramento de atividades sísmicas em vulcões. Em GPUs, um trabalho que se destaca foi o proposto em (O'NEIL; BURTSCHER, 2011), em que o autor relata um compressão em tempo real utilizando GPUs através de manipulação e compressão direta de sequencias de bits.

Por certo, os modelos AR e ARMA são bem vistos no cenário de compressão de dados. Entretanto, apesar de seus bons resultados, tais modelos são lineares, diferente do dado sísmico que é heteroscedástico. Apesar de conseguirem, os modelos AR e ARMA demoram mais para convergir nesse cenário, pois não estão preparados para as súbitas mudanças nos valores dos dados. Embora alguns trabalhos já tenham utilizados modelos não-lineares para calcular os parâmetros do dado sísmico, não fomos capazes de encontrar algum que lide diretamente com sua heteroscedasticidade.

## 5.2 Método de compressão utilizando ARIMA-GARCH

Embora a heteroscedasticidade possa ser modelada através de redes neurais artificiais (KAASTRA; BOYD, 1996), esse trabalho se propõe a utilizar os modelos ARIMA-GARCH na primeira fase de compressão do dado sísmico, sua autodescorrelação. Para completar o ciclo de compressão, o algoritmo de Stearns, explicado na página 16, junto com a codificação aritmética, serão utilizados. A figura 5.1 ilustra o desejado. Em azul, o traço sísmico original. Em verde, um exemplo de resíduo esperado pela aplicação do modelo ARIMA-GARCH, decorrelacionado e com variância bem menor.

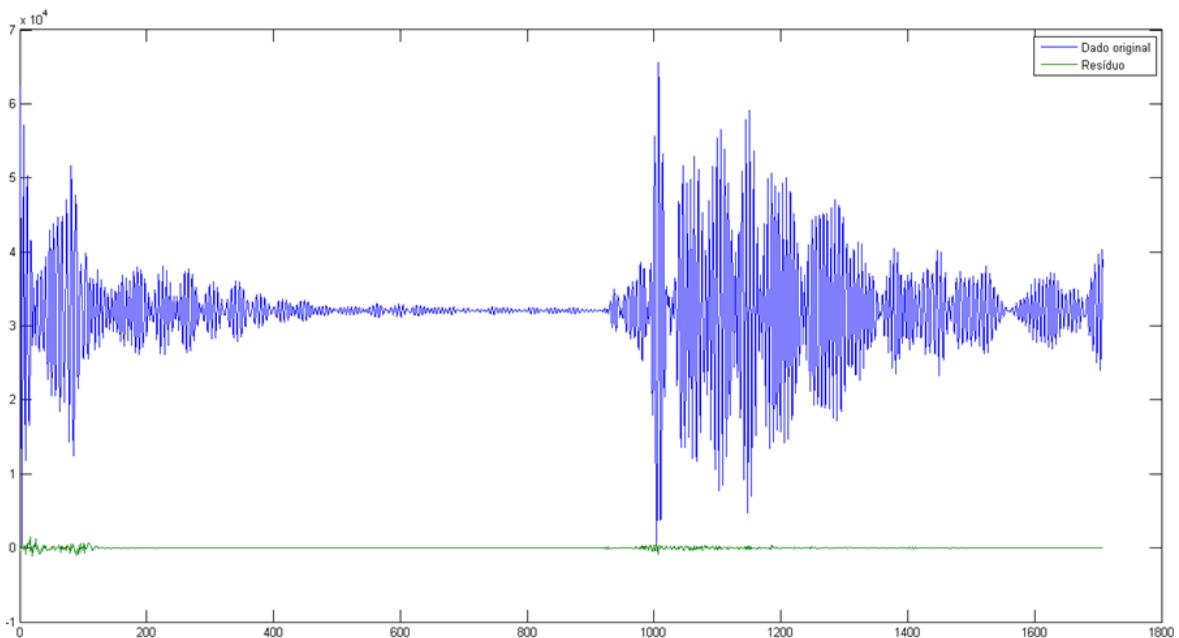


Figura 5.1: A linha azul representa um traço sísmico. A linha verde representa o resíduo calculado a partir desse traço sísmico.

A equação 5.1 apresenta a métrica a ser utilizada nesse trabalho.

$$\text{Razão compressão} = \frac{\text{Tamanho Original}}{\text{Tamanho comprimido}} \quad (5.1)$$

O algoritmo 2 ilustra a solução proposta neste trabalho mais a fundo. Na linha 2, o algoritmo chama a função `quantiza_para_inteiro`. O objetivo dessa função é quantizar os dados para uma representação numérica inteira, ao invés de ponto flutuante, sem perder as características estatísticas do dado. Faz-se isso para evitar problemas de precisão numérica, que poderiam comprometer a característica do algoritmo ser sem perdas. A função `quantiza_para_inteiro` precisa dos dados normalizados no intervalo  $[-1, +1]$ , bem como a precisão, em bits, dos dados. O algoritmo 2 não demonstra a etapa de normalização dos dados porque ela foge do escopo desse trabalho.

A linha 3 do algoritmo indica a criação de um objeto do tipo ARIMA. No seu construtor, são passados o parâmetro autoregressivo, o de média móveis e o número de diferenças a serem calculadas pelo modelo. A linha 4 decide se devemos utilizar um modelo puramente ARIMA ou se desejamos incluir o GARCH formando o modelo ARIMA-GARCH. Tal decisão é feita de acordo com o parâmetro `ARCH` e `GARCH` informados. A linha 5 inicia a variância do modelo ARIMA utilizando GARCH, com seus respectivos parâmetros.

Na linha 7 a estimativa dos parâmetros do modelo é iniciada. Repare que foi informado o parâmetro `dado_quantizado` para o método, não `dado_original`. A linha 8 verifica se o modelo conseguiu convergir. Caso positivo, a linha 9 é executada, a fim de calcular o resíduo (diferença entre o dado real e o calculado pelo modelo). Caso negativo, a linha 11 é executada, e o dado comprimido é o próprio `dado_quantizado`, sem a utilização do ARIMA-GARCH.

A linha 13 chama o algoritmo de Steans (página 16), retornando duas séries

---

**Algoritmo 2:** O algoritmo de compressão SAGE
 

---

**Entrada:**

**dado\_original** Vetor coluna contendo os valores sísmicos a serem comprimidos

**num\_bits** Número inteiro indicando a precisão numérica dos dados a serem comprimidos. Esse parâmetro é importante para quantizar o número para uma representação inteira.

**num\_bin** Número inteiro indicando o quociente a ser utilizado no algoritmo de Stearns.

**n\_ar** Número inteiro indicando o parâmetro autoregressivo do modelo ARIMA-GARCH.

**n\_ma** Número inteiro indicando o parâmetro de médias móveis do modelo ARIMA-GARCH.

**n\_d** Número inteiro indicando o parâmetro de diferenças do modelo ARIMA-GARCH.

**n\_arch** Número inteiro indicando o parâmetro ARCH do modelo ARIMA-GARCH.

**n\_garch** Número inteiro indicando o parâmetro GARCH do modelo ARIMA-GARCH.

**Saída:**

**pacote\_compressao** Um objeto contendo todos os dados necessários para a descompressão do dado sísmico.

```

1 início
2   dado_quantizado ← quantiza_para_inteiro(dado_original, num_bits) ;
3   modelo ← new Arima(n_ar, n_ma, n_d) ;
4   se n_arch ≠ 0 Ou n_garch ≠ 0 então
5     | modelo.Variance ← new Garch(n_arch, n_garch) ;
6   fim se
7   modelo.Estimar(dado_quantizado);
8   se modelo.Convergiu então
9     | residuo ← modelo.Calcular_Residuo(dado_quantizado);
10  senão
11    | residuo ← dado_quantizado;
12  fim se
13  [AO, AB] ← Algoritmo_Stearns(residuo) ;
14  res_comp ← Codificacao_Aritmetica(AB);
15  pacote_compressao ← Monta_Pacote_Comp();
16  retorna pacote_compressao;
17  fim

```

---

numéricas a partir do resíduo calculado,  $A_O$  e  $A_B$ .  $A_B$  é comprimido na linha 14 usando a codificação aritmética. A linha 15 ilustra a criação do pacote de compressão. Esse pacote será enviado ao decodificador para que o dado original seja obtido. Cada uma das metodologias possui um pacote de compressão diferente, e eles serão descritos individualmente.

## 6 TESTES E RESULTADOS

Neste capítulo, os conjuntos utilizados nos testes serão descritos na seção 6.1. As metodologias de testes serão explicadas e os resultados obtidos apresentados na seção 6.2.

Todas as metodologias são testadas com e sem a utilização do modelo GARCH, para fins de comparação. Ao utilizar o modelo GARCH, optou-se sempre o modelo GARCH(1, 1). A escolha dos parâmetros de autoregressão e de médias móveis muda de acordo com a metodologia de teste.

Em cada metodologia, serão analisadas as seguintes métricas:

**Convergência :** dependendo do conjunto de entrada e dos valores, o modelo ARIMA ou ARIMA-GARCH pode não ser capaz de encontrar os parâmetros do modelo. Neste caso, diz-se que o modelo *não convergiu* e a compressão será feita com o próprio dado de entrada.

**Razão de compressão :** o quanto o algoritmo conseguiu comprimir o dado de entrada, de acordo com a equação 5.1.

**Evolução da entropia :** o valor inicial da entropia, o valor da entropia do resíduo gerado pelo modelo e o valor final da entropia depois da compressão.

**Tempo de execução :** o tempo de execução de cada algoritmo.

**Evolução da autocorrelação :** a autocorrelação inicial comparada à autocorrelação do resíduo calculado pelo modelo.

**Dados estatísticos** : maior e menor valor, média e variância do dado original e do resíduo gerado.

## 6.1 Descrição dos conjuntos de dados

### 6.1.1 Conjunto A

O conjunto em questão é composto por um arquivo SEG-Y yr99jd85-0616z.segy, esse arquivo é distribuído com o exemplo do software aberto SIOSEIS, que pode ser encontrado no endereço web: <http://sioseis.ucsd.edu/avon.html>. O arquivo yr99jd85-0616z.segy foi gerado de dados coletados em 1999 e não possui informações sobre sua procedência e nem local da aquisição. O arquivo é composto por 730 traços com 6.000 amostras em cada traço, a frequência de amostragem é de 1 milissegundo. Para poder testar o dado, foram separadas três amostras do mesmo, conjuntos A1, A2 e A3. O conjunto A1 possui os primeiros 40 traços do arquivo, o conjunto A2 possui os 40 traços do meio do arquivo e o conjunto A3 os 40 traços finais. Esses traços podem ser vistos na figura 6.1.

Para se ter um melhor entendimento do conjunto de dados, na figura 6.2 é possível ver os primeiros cinco traços de cada um dos conjuntos A1, A2 e A3.

### 6.1.2 Conjunto B

O conjunto B é composto pelo arquivo f11\_02673\_45Hz.segy e foi obtido na internet no exemplo da biblioteca segyMAT lib que é disponibilizada de modo livre. O arquivo é composto por 47 traços com 2701 amostras cada. Esse dado é um dado pré empilhamento sintético. Os traços podem ser observados na figura abaixo. Para

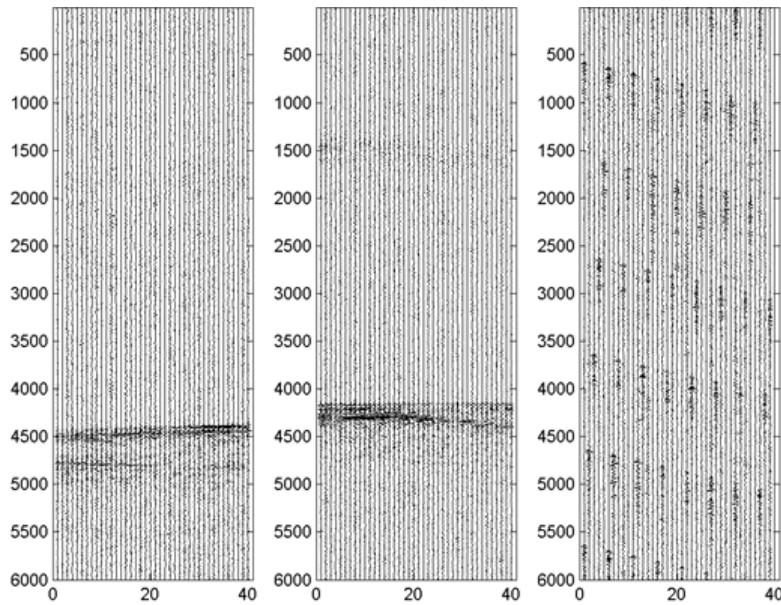


Figura 6.1: A1, A2 e A3

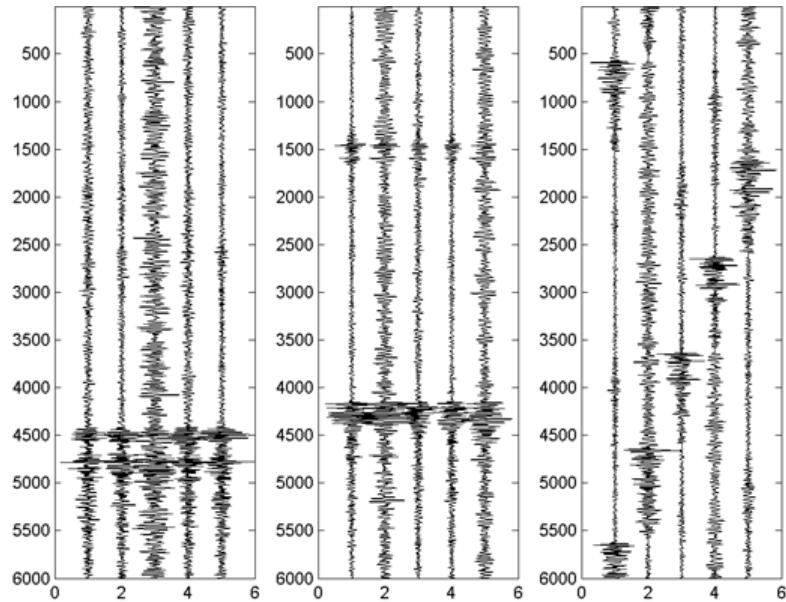


Figura 6.2: A1, A2 e A3 completos

homogenizar os testes com compressão separamos os primeiros 40 traços do arquivo e definimos com eles o conjunto B1.

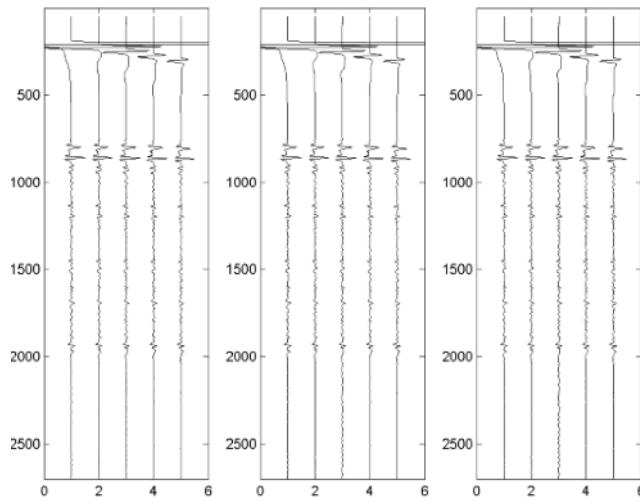


Figura 6.3: Cinco primeiros traços sísmicos formando os arquivos B1, B2 e B3

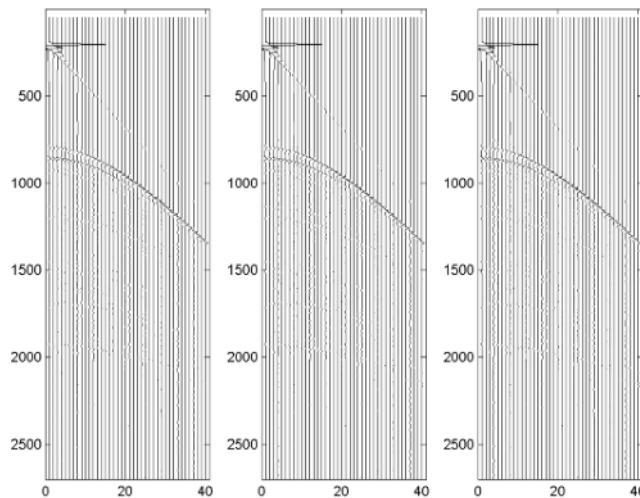


Figura 6.4: Sismogramas B1, B2 e B3 completos

### 6.1.3 Conjunto C

Este conjunto é composto pelo arquivo centralalaska1981LineA.segy. Esse estudo sísmico foi feito no norte do Alasca e um mapa da linha pode ser apreciado na figura 6.5. Note que a linha em questão na imagem é a linha A.



Figura 6.5: Posição do conjunto C. À direita a linha de referência é a linha A.

A aquisição foi realizada em 1981, nas coordenadas N  $70^{\circ} 4' 2''$  / W  $152^{\circ} 46' 30''$ . Ela se encontra na National Petroleum Reserve, Alaska, (NPRA) e faz parte do “Legacy Data Archive” of the U.S. Geological Survey (USGS). Mais informações sobre a aquisição podem ser encontrados em <https://opendtect.org/osr/pmwiki.php/Main/USGSCentralAlaska>.

O arquivo centralalaska1981LineA.segy é composto por 1501 traços com 3282 amostras cada. O intervalo de amostragem é de 2 ms. A figura abaixo mostra os 1501 traços. Esse arquivo já foi processado após a aquisição. Os dados C1, C2 e C3 também são compostos pelos 40 primeiros, do meio e finais traços do sismograma.

#### 6.1.4 Conjunto D

Esse conjunto é composto pelo arquivo laurentian\_basin\_line\_05.sgy. Ele foi obtido no seguinte endereço <https://opendtect.org/osr/pmwiki.php/Main/LaurentianBasinCanada>. Esse arquivo é apenas uma das linhas geradas em um estudo sobre a Bacia Laurentiana que se encontra no Canadá, a localização aproxi-

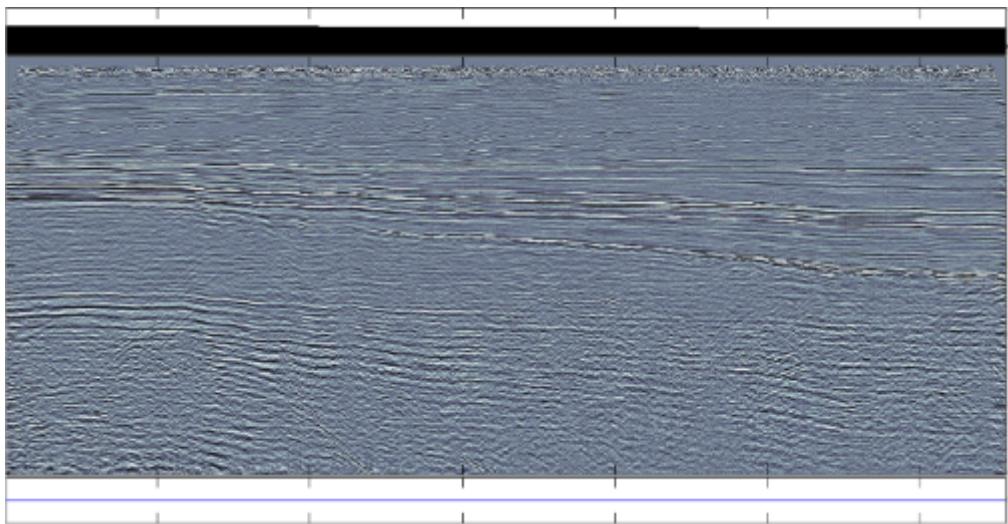


Figura 6.6: Conjunto de dados C.

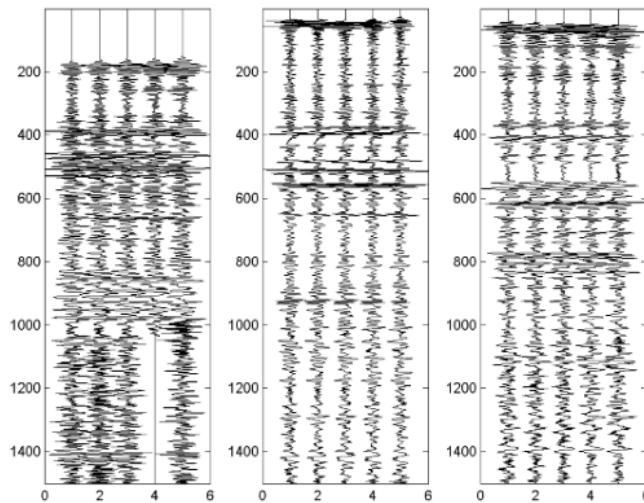


Figura 6.7: Primeiros cinco traços dos conjuntos C1, C2 e C3

mada é mostrada na 6.9.

O arquivo laurentian\_basin\_line\_05.sgy é composto por 1725 traços com 17093 amostras cada. O intervalo de amostragem é de 2 ms. A figura abaixo mostra

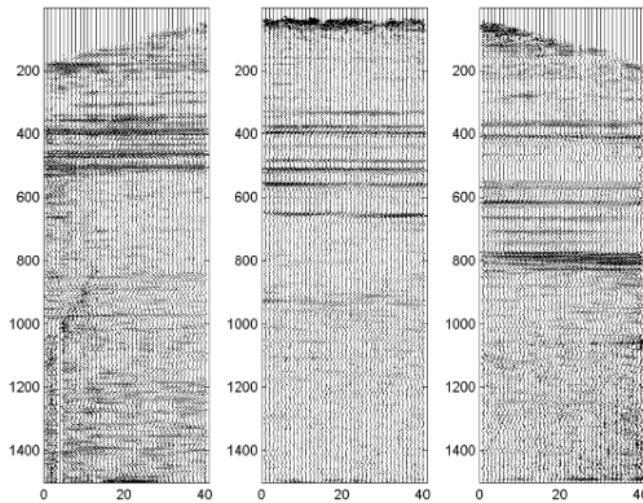


Figura 6.8: C1, C2 e C3

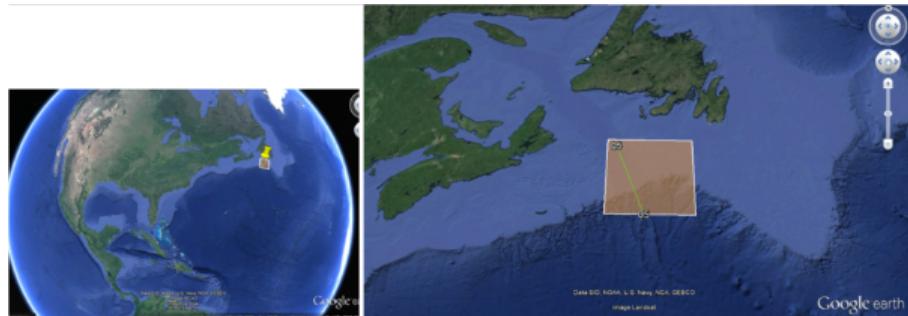


Figura 6.9: Posição geográfica do conjunto D.

os traços. Esse arquivo já é resultado de processamento e se trata de um dado pós stack migrado. Novamente serão analisados apenas porções do dado. Os conjuntos de dados D1, D2 e D3 foram definidos como sendo os 40 primeiros traços, os 40 traços do meio do arquivo e os 40 traços finais. Esses conjuntos são exibidos nas figuras 6.10 e 6.11.

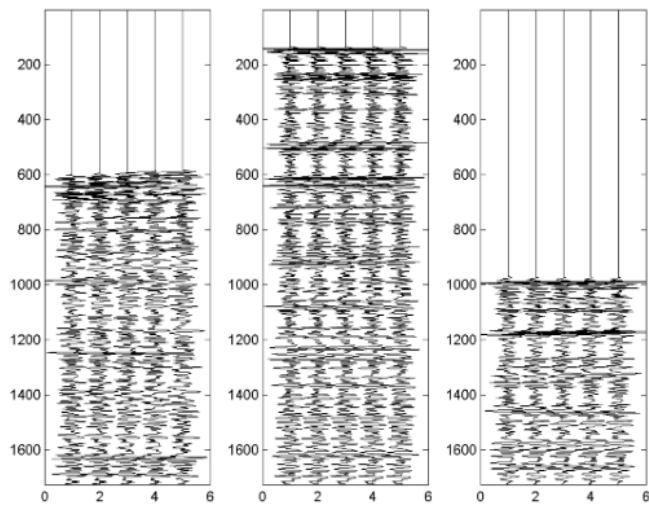


Figura 6.10: Primeiros cinco traços dos conjuntos D1, D2 e D3

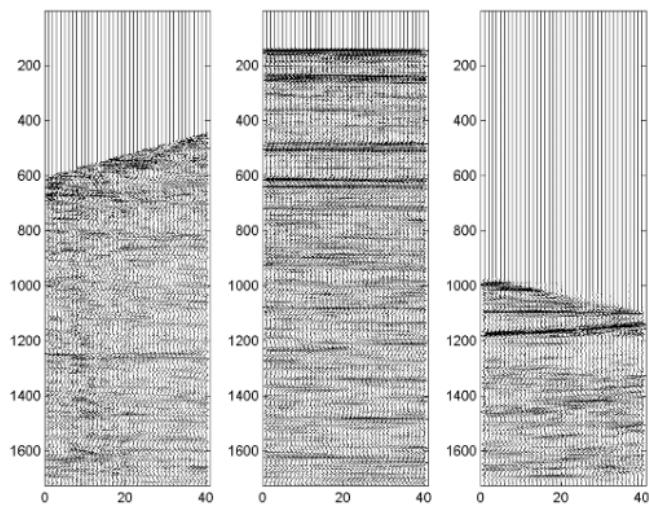


Figura 6.11: D1, D2 e D3

### 6.1.5 Conjunto E

Esse conjunto é composto pelo arquivo Netherlands.segy. Ele possui 56.726 traços com 176 amostras. Esse dado foi coletado em 1987 no atlântico próximo à Holanda. Mais informações sobre esse estudo se encontram no endereço <https://opendtect.org/osr/pmwiki.php/Main/NetherlandsOffshoreF3BlockComplete4GB>. A posição desse estudo é mostrada na figura 6.12.



Figura 6.12: Posição geográfica do conjunto E.

Novamente foram analisadas apenas porções do dado. Os conjuntos de dados E1, E2 e E3 foram definidos como sendo os 40 primeiros traços, os 40 traços do meio do arquivo e os 40 traços finais. Esses conjuntos são exibidos nas figuras 6.13 e 6.14.

### 6.1.6 Conjunto F

Esse conjunto foi fornecido no DVD da empresa EMC2 e é faz parte do conjunto *2007 BP Anisotropic Velocity-Analysis Benchmark dataset*. O conjunto é

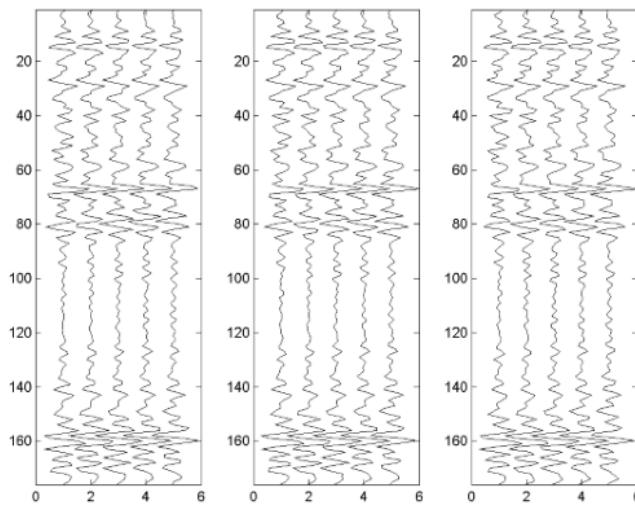


Figura 6.13: Primeiros cinco traços dos conjuntos E1, E2 e E3

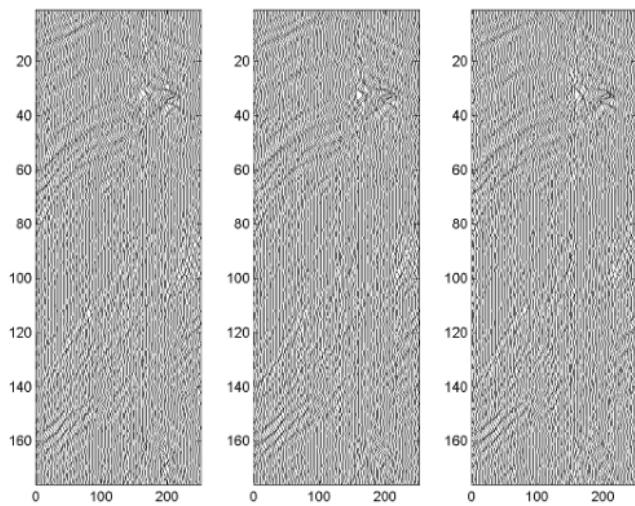


Figura 6.14: Conjunto completo E1, E2 e E3

composto pelo arquivo FD\_Model\_PSTM\_STK.sgy. Esse arquivo é o resultado de uma modelagem sísmica composta por 1.151 traços com 12.596 amostras. Novamente serão analisadas apenas porções do dado. Os conjuntos de dados F1, F2 e F3

foram definidos como sendo os 40 primeiros traços, os 40 traços do meio do arquivo e os 40 traços finais. Esses conjuntos são exibidos nas figuras 6.15 e 6.16.

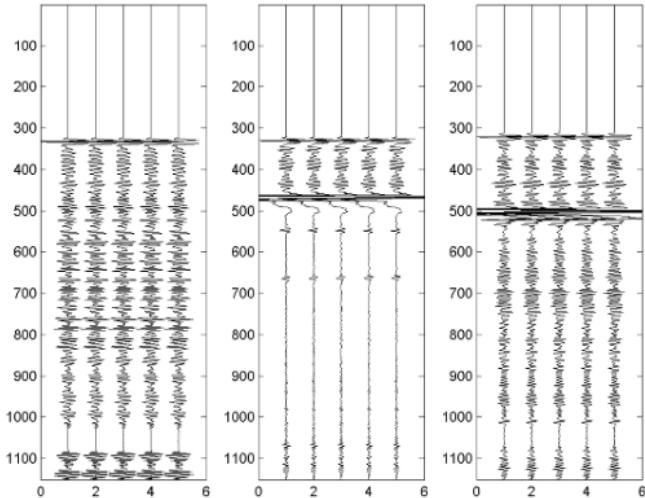


Figura 6.15: Primeiros cinco traços dos conjuntos F1, F2 e F3

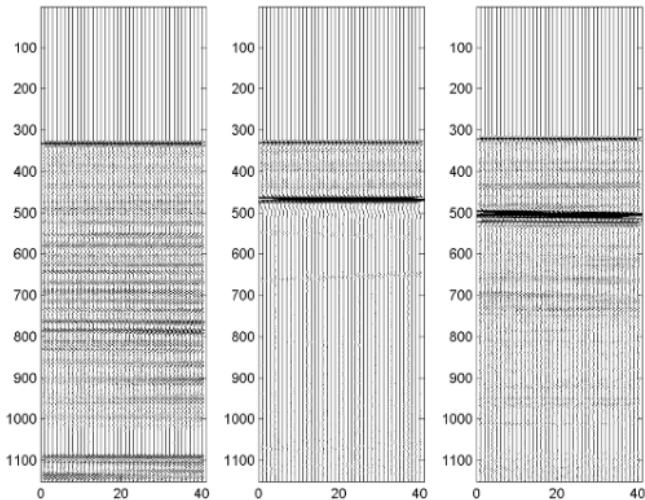


Figura 6.16: Conjunto F1, F2 e F3

### 6.1.7 Conjunto G

Esse conjunto está gravado no arquivo *mimage.mat*, que é o formato do MATLAB. Ele possui 240 traços de 736 amostras cada, esse dado é resultado de uma simulação sobre o modelo Marmousi, comumente utilizado para testes de processamento de dados sísmicos. Para analisar o conjunto, este foi separado em três subconjuntos, G1, correspondendo aos primeiros 40 traços; G2, correspondendo aos 40 traços do meio do arquivo e G3, correspondendo aos 40 traços do final do arquivo. Os primeiros cinco traços de cada conjunto pode ser visto em 6.17. O quarenta traços podem ser vistos em 6.18. O conjunto inteiro pode ser visto na figura 6.19.

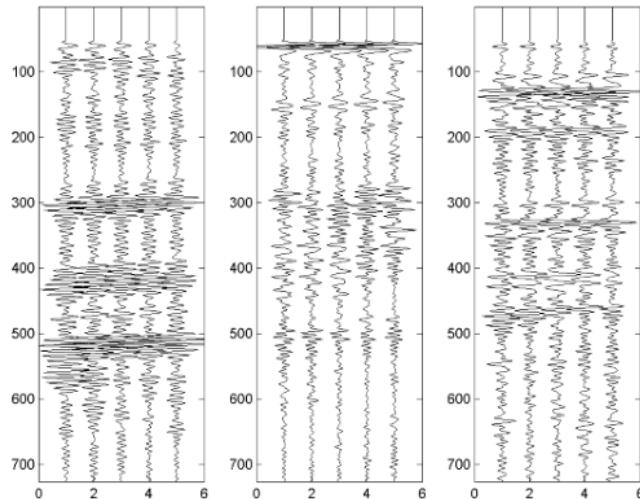


Figura 6.17: Primeiros cinco traços dos conjuntos G1, G2 e G3

### 6.1.8 Conjunto H

Esse conjunto está gravado no arquivo *843\_m.sgy*. Ele possui 5.000 com 1.876 amostras cada. Para analisar o conjunto, este foi separado em três subconjuntos, H1, correspondendo aos primeiros 40 traços; H2, correspondendo aos 40 traços do meio

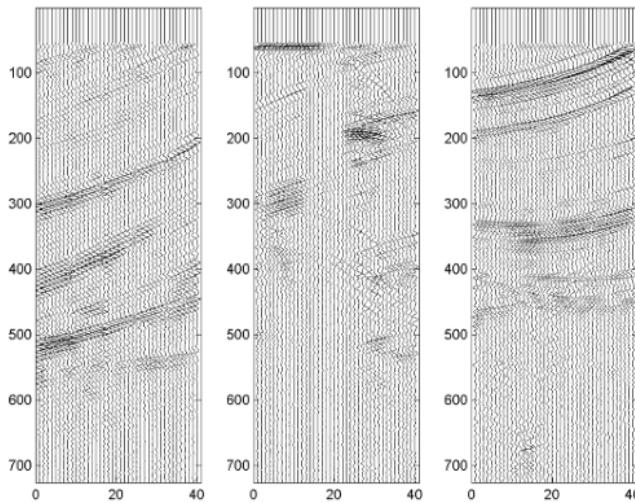


Figura 6.18: Conjunto G1, G2 e G3

do arquivo e H3, correspondendo aos 40 traços do final do arquivo. Os primeiros cinco traços de cada conjunto pode ser visto em 6.20. O quarenta traços podem ser vistos em 6.21. O conjunto inteiro pode ser visto na figura 6.22. A posição geográfica da aquisição sísmica pode ser vista na figura 6.23.

### 6.1.9 Conjunto I

Esse conjunto está no arquivo 7m\_shots\_0201\_0329.segy. O arquivo é sintético e mais informações estão disponíveis no endereço [http://software.seg.org/datasets/2D\\_Statics\\_1994](http://software.seg.org/datasets/2D_Statics_1994). Para analizar os dados os agrupamos em três subconjuntos, I1, correspondendo aos primeiros 40 traços; I2, correspondendo aos 40 traços do meio do arquivo e I3, correspondendo aos 40 traços do final do arquivo. Os primeiros cinco traços de cada conjunto pode ser visto em 6.24. O quarenta traços podem ser vistos em 6.25. O conjunto inteiro pode ser visto na figura 6.26. A posição geográfica da aquisição sísmica pode ser vista na figura 6.30.

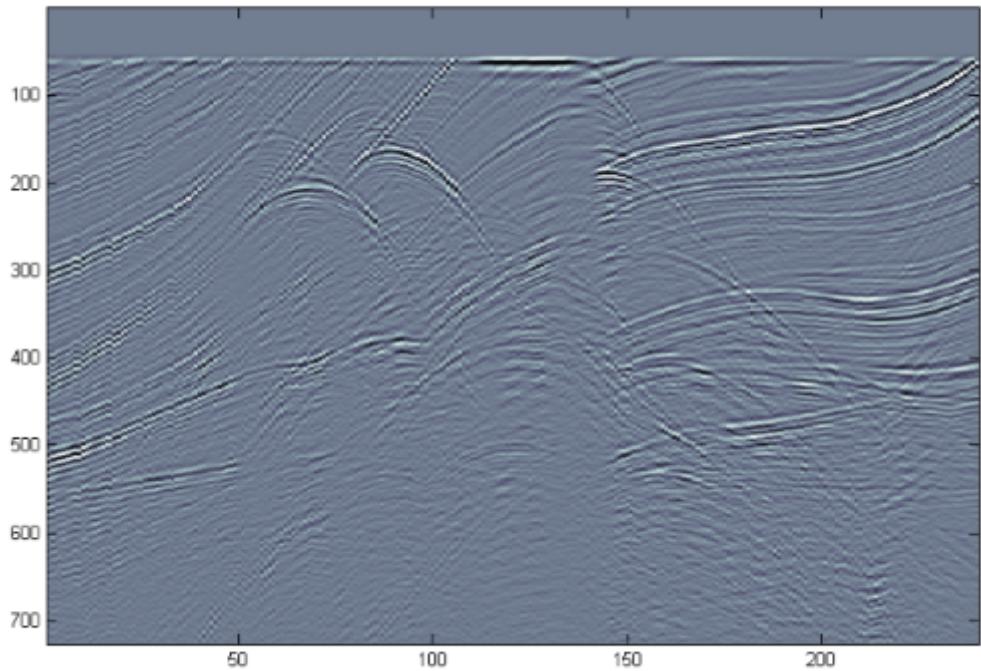


Figura 6.19: Conjunto de dados G.

#### 6.1.10 Conjunto J

Esse conjunto está gravado no arquivo U18\_05.SGY, que contém 12.017 traços com 3.083 amostras cada. Se trata de um dado real, não sintético. Mais informações podem ser encontradas no endereço [http://woodshole.er.usgs.gov/operations/ia/public\\_ds\\_info.php?fa=1978-015-FA](http://woodshole.er.usgs.gov/operations/ia/public_ds_info.php?fa=1978-015-FA). Para ler esse arquivo, foram obtidos os 250 traços correspondentes aos tiros 10, 20 e 30, que foram agrupados nos conjuntos J1, J2 e J3 respectivamente. Os primeiros cinco traços de cada conjunto pode ser visto em 6.27. O quarenta traços podem ser vistos em 6.28. O conjunto inteiro pode ser visto na figura 6.29.

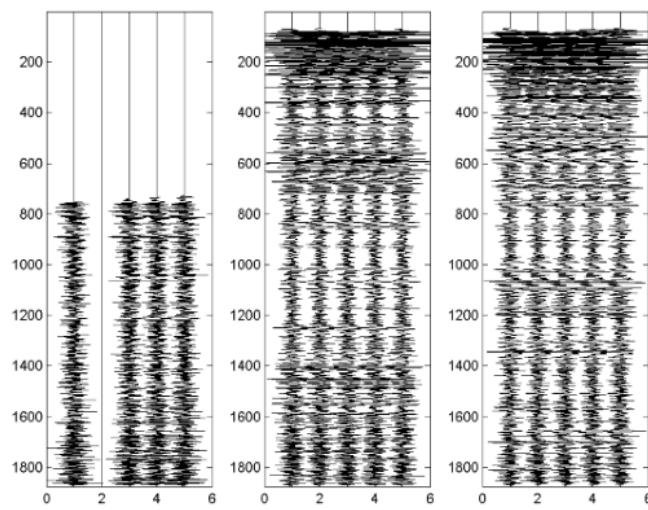


Figura 6.20: Primeiros cinco traços dos conjuntos H1, H2 e H3

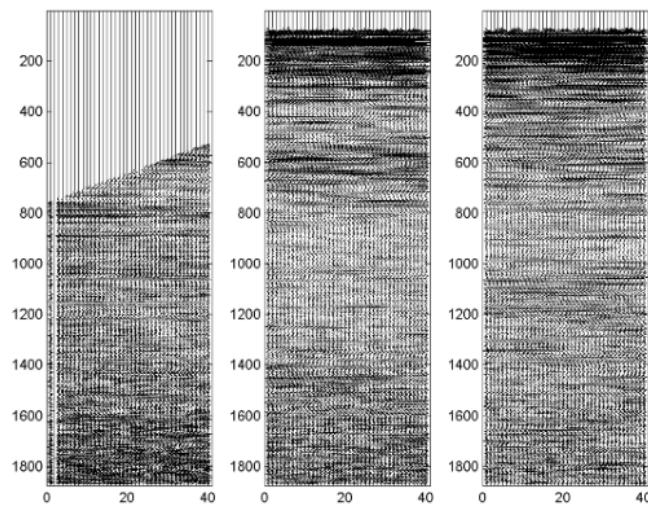


Figura 6.21: Conjunto H1, H2 e H3

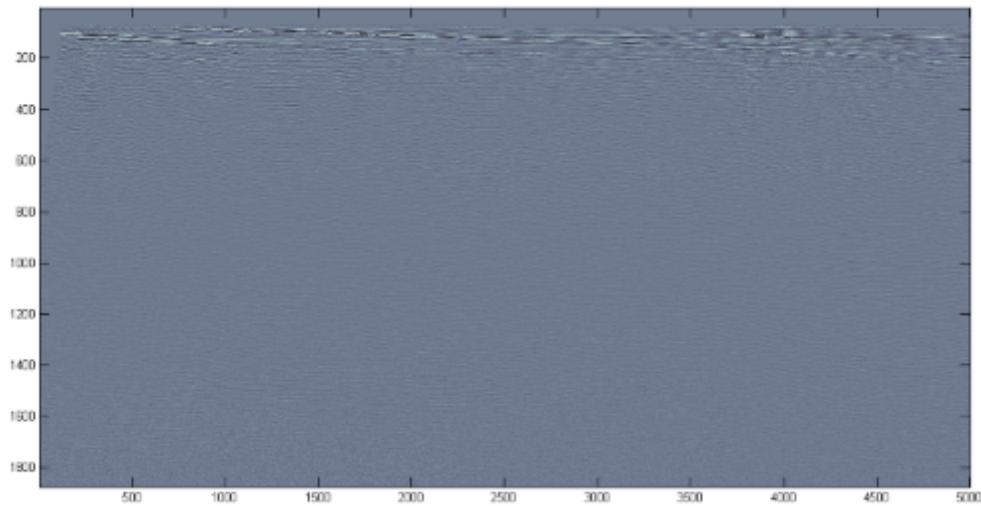


Figura 6.22: Conjunto de dados H.

### 6.1.11 Conjunto K

Esse conjunto está gravado no arquivo `seismic.segy`, que contém 2.000 traços com 1.500 amostras cada. Se trata de um dado real, não sintético. Mais informações podem ser encontradas no endereço [http://s3.amazonaws.com/open.source.geoscience/open\\_data/Mobil\\_Avo\\_Viking\\_Graben\\_Line\\_12/mobil\\_avo.html](http://s3.amazonaws.com/open.source.geoscience/open_data/Mobil_Avo_Viking_Graben_Line_12/mobil_avo.html). Esse arquivo é fornecido como parte do livro *Comparison of Seismic Inversion Methods on a Single Real Data Set*. Para analizar o arquivo, carregamos os traços do tiro 3, 8 e 18 respectivamente nos conjuntos K1, K2 e K3. Os primeiros cinco traços de cada conjunto pode ser visto em 6.31. O quarenta traços podem ser vistos em 6.32. O conjunto inteiro pode ser visto na figura 6.33.

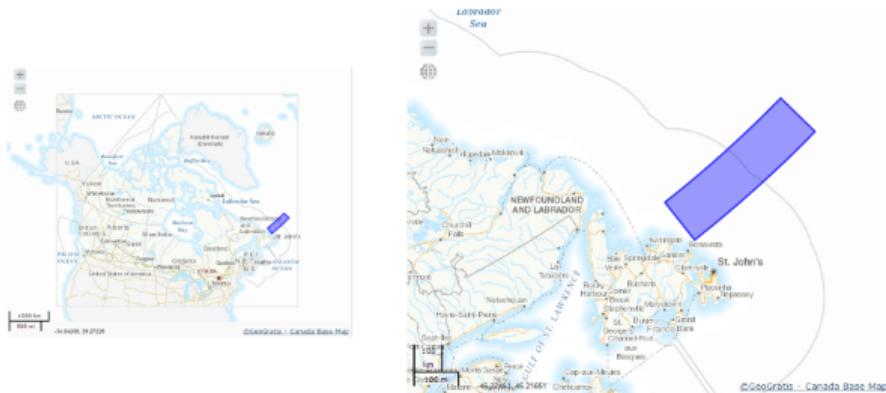


Figura 6.23: Posição geográfica do conjunto H.

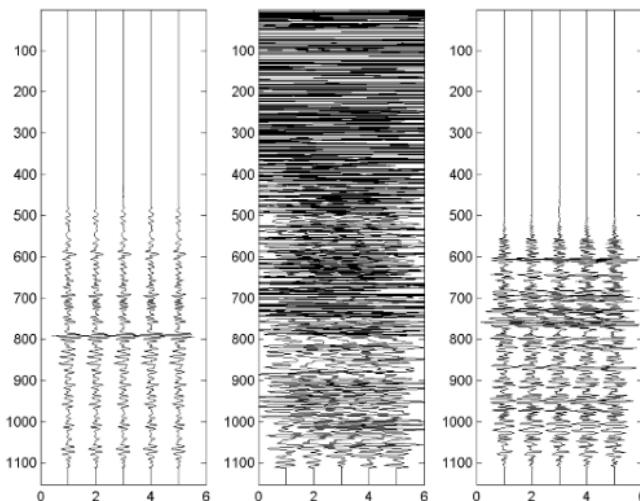


Figura 6.24: Primeiros cinco traços dos conjuntos I1, I2 e I3

### 6.1.12 Conjunto L

Esse conjunto que contém 3.477.329 traços com 2.500 amostras cada. Se trata de um dado real. Os traços estão agrupados por cojuntos de comom shot, ou seja conjuntos de seismogramas. Em geral os sismogramas contém 420 traços cada mas existem sismogramas com menos traços. No total o arquivo tem 8.346 sismogramas.

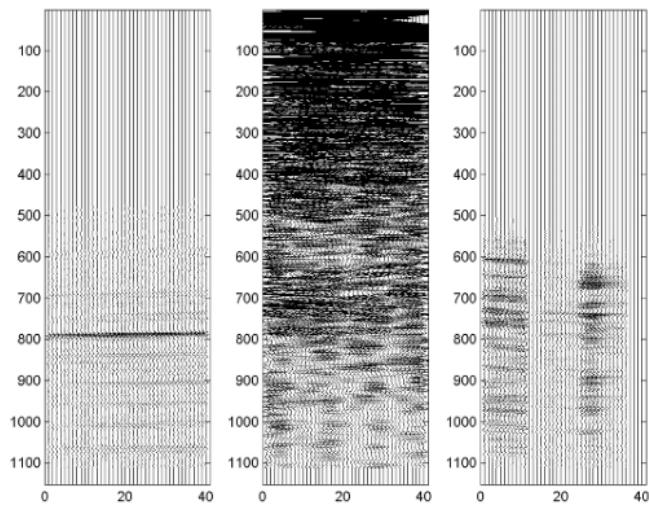


Figura 6.25: Conjunto I1, I2 e I3

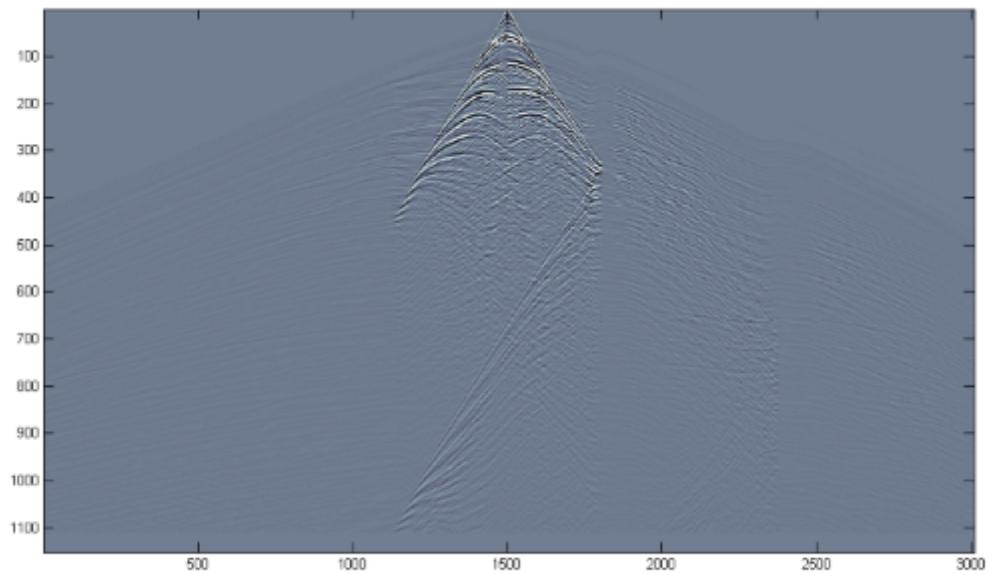


Figura 6.26: Conjunto de dados I.

Para analizar o arquivo, carregamos os traços dos tiros 1.148, 3.279, 4.337, 6.417, 7.473, 8.507 respectivamente nos conjuntos L1, L2, L3, L4, L5, L6.

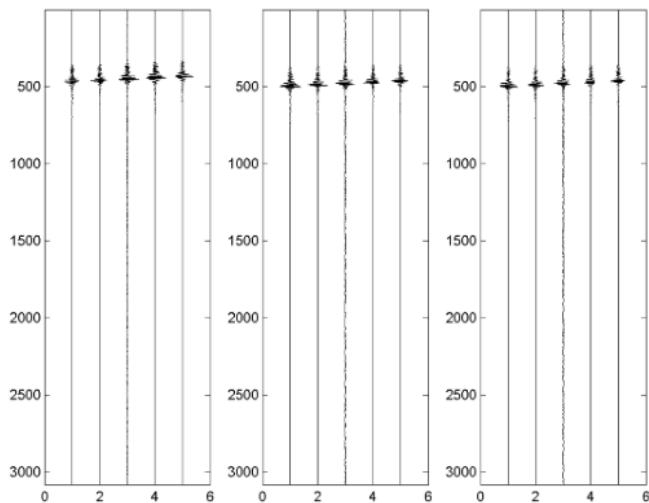


Figura 6.27: Primeiros cinco traços dos conjuntos J1, J2 e J3

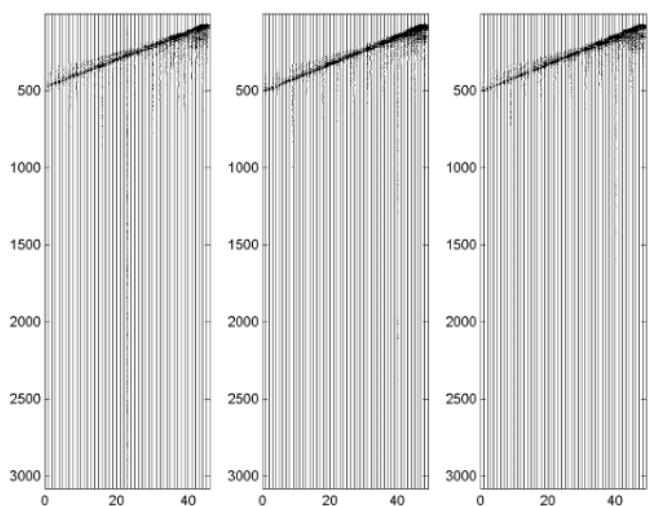


Figura 6.28: Conjunto J1, J2 e J3

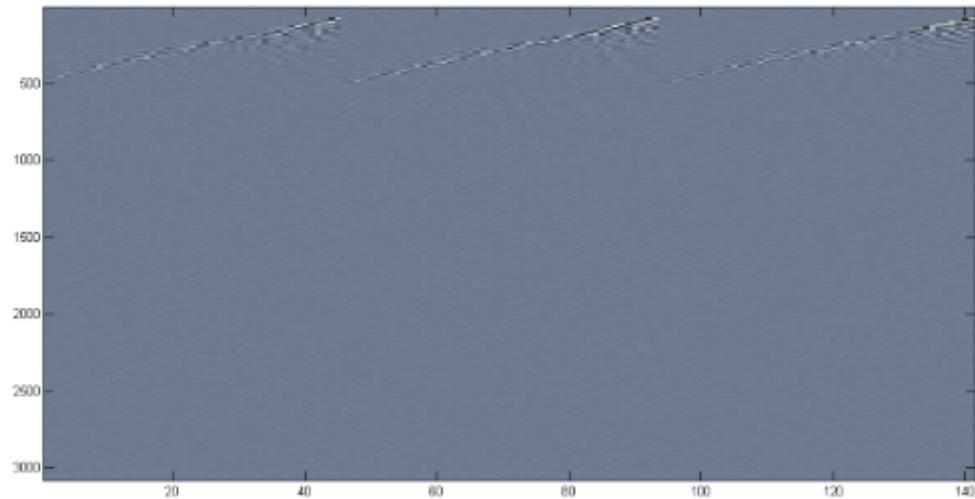


Figura 6.29: Conjunto de dados J.



Figura 6.30: Posição geográfica do conjunto J.

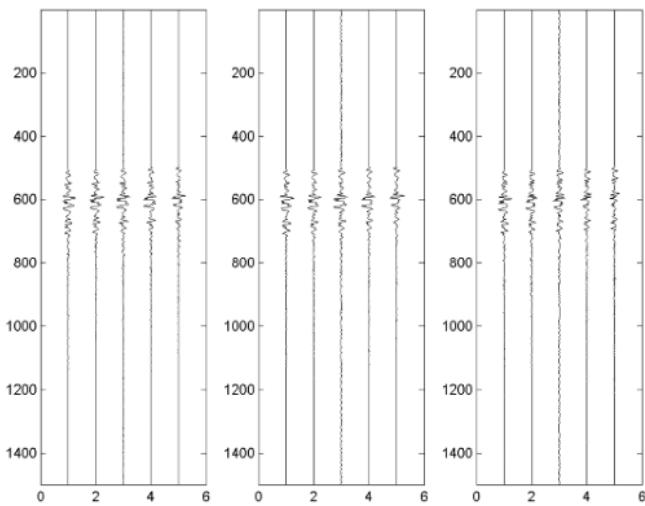


Figura 6.31: Primeiros cinco traços dos conjuntos K1, K2 e K3

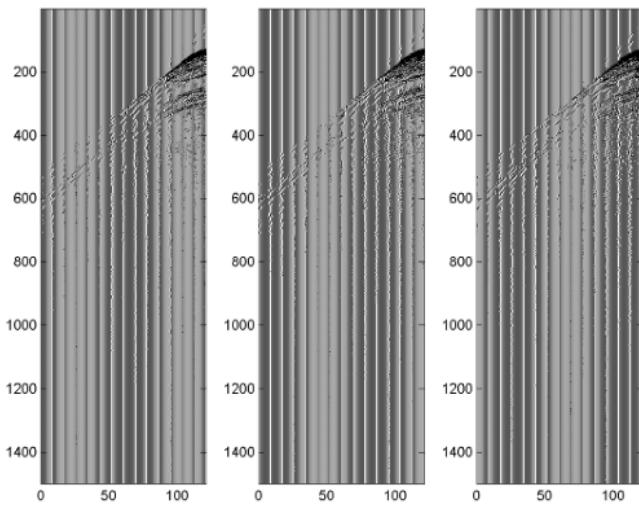


Figura 6.32: Conjunto K1, K2 e K3

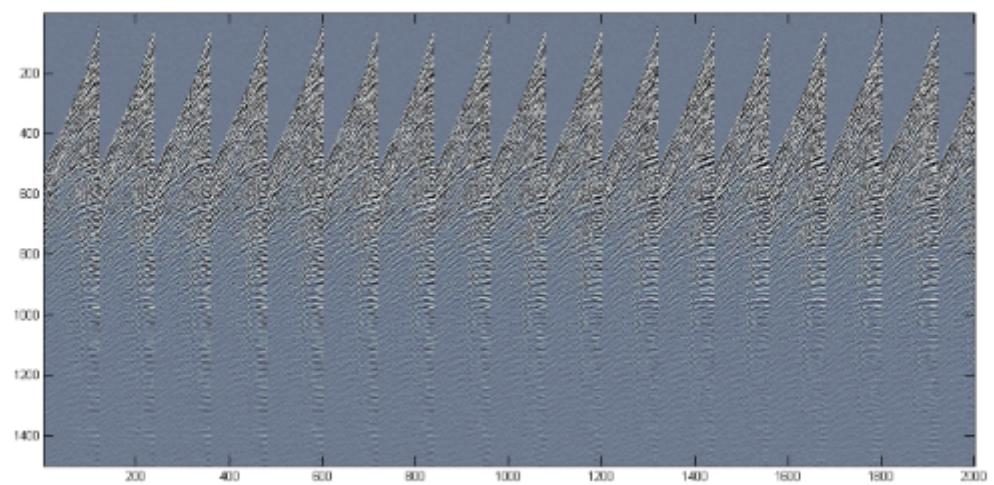


Figura 6.33: Conjunto de dados K.

## 6.2 Metodologias de Testes

### 6.2.1 Metodologia I

Tabela 6.1: Valores de autocorrelação utilizados nos testes

| Conjunto | Valor utilizado | Conjunto | Valor utilizado | Conjunto | Valor utilizado |
|----------|-----------------|----------|-----------------|----------|-----------------|
| A1       | 6               | E2       | 4               | I3       | 1               |
| A2       | 5               | E3       | 4               | J1       | 3               |
| A3       | 6               | F1       | 1               | J2       | 3               |
| B1       | 6               | F2       | 6               | J3       | 8               |
| B2       | 6               | F3       | 6               | K1       | 3               |
| B3       | 6               | G1       | 1               | K2       | 3               |
| C1       | 2               | G2       | 2               | K3       | 2               |
| C2       | 1               | G3       | 6               | L1       | 2               |
| C3       | 2               | H1       | 1               | L2       | 7               |
| D1       | 2               | H2       | 1               | L3       | 11              |
| D2       | 2               | H3       | 1               | L4       | 7               |
| D3       | 2               | I1       | 7               | L5       | 7               |
| E1       | 4               | I2       | 1               | L6       | 6               |

Na Metodologia I, a função de autorrelação será utilizada para escolher o valor do parâmetro autoregressivo ( $p$ , na equação 4.5), uma vez que o objetivo da primeira fase de compressão é descorrelação da entrada. A *autocorrelação* é um indicador que mede a correlação entre valores *sequenciais* no dado, ou seja, o quanto um certo valor sofre a influência dos anteriores (AMARO, 2010).

O parâmetro de médias móveis ( $q$ , na equação 4.5) foi testado sempre com o valor zero, reduzindo a equação a um modelo autoregressivo. Como dito acima,

cada conjunto foi testado duas vezes, uma com e a outra sem a utilização do modelo GARCH(1, 1). A tabela 6.1 apresenta o valor de autocorrelação utilizado em cada conjunto.

Para a descompressão, serão necessários os seguintes itens:

1. **Valor de AR:** 32 bits indicando  $p$  na equação 4.5.
2. **Valor de ARCH:** 32 bits indicando  $\bar{\alpha}$  na equação 4.7.
3. **Valor de GARCH:** 32 bits indicando  $\bar{\beta}$  na equação 4.7.
4. **Parâmetros AR calculados:**  $p \times 32$  bits indicando os parâmetros AR calculados ( $\alpha_1, \dots, p$ , na equação 4.5).
5. **Parâmetros ARCH calculados:**  $\bar{\alpha} \times 32$  bits indicando os parâmetros ARCH calculados ( $\sigma_1, \dots, \bar{p}$ , na equação 4.7).
6. **Parâmetros GARCH calculados:**  $\bar{\beta} \times 32$  bits indicando os parâmetros GARCH calculados ( $h_1, \dots, \bar{q}$ , na equação 4.7).
7. **Resíduo do modelo:** o conjunto de resíduos do modelo, comprimido com a codificação aritmética, também é necessário para a descompressão.

Portanto, o tamanho mínimo do arquivo comprimido dá-se pela equação 6.1. Já o tamanho final do arquivo comprimido é descrito pela equação 6.2, onde  $TRC_{met1}$  é o tamanho do resíduo comprimido.

$$TM_{met1} = 3 \times 32 + 32 \times p + 32 \times \bar{p} + 32 \times \bar{q} \text{ bits} \quad (6.1)$$

$$TF_{met1} = TM_{met1} + TRC_{met1} \text{ bits} \quad (6.2)$$

#### 6.2.1.1 Métricas obtidas

Tabela 6.2: Comparativo de quantidade de experimentos cujas soluções convergiram com e sem a utilização do GARCH na metodologia I

| Cenário   | Total experimentos | Convergiram | Não convergiram | % sucesso |
|-----------|--------------------|-------------|-----------------|-----------|
| Sem GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |
| Com GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |

Tabela 6.3: Razão de compressão dos experimentos sem e com GARCH na Metodologia I. Valores em bytes.

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| A1       | 1.152.000        | 794.154                      | 799.754                      | 1,45                       | 1,44                       |
| A2       | 1.152.000        | 810.837                      | 807.474                      | 1,42                       | 1,43                       |
| A3       | 1.152.000        | 849.166                      | 777.687                      | 1,36                       | 1,48                       |
| B1       | 518.592          | 139.515                      | 139.579                      | 3,72                       | 3,72                       |
| B2       | 518.592          | 139.515                      | 139.579                      | 3,72                       | 3,72                       |
| B3       | 518.592          | 139.515                      | 139.579                      | 3,72                       | 3,72                       |
| C1       | 288.192          | 269.439                      | 268.459                      | 1,07                       | 1,07                       |
| C2       | 288.192          | 252.100                      | 248.683                      | 1,14                       | 1,16                       |
| C3       | 288.192          | 262.120                      | 261.580                      | 1,10                       | 1,10                       |
| D1       | 331.200          | 263.433                      | 262.951                      | 1,26                       | 1,26                       |
| D2       | 331.200          | 269.539                      | 266.710                      | 1,23                       | 1,24                       |
| D3       | 331.200          | 252.766                      | 252.104                      | 1,31                       | 1,31                       |
| E1       | 33.792           | 30.478                       | 30.493                       | 1,11                       | 1,11                       |

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| E2       | 33.792           | 30.727                       | 30.791                       | 1,10                       | 1,10                       |
| E3       | 33.792           | 30.805                       | 30.833                       | 1,10                       | 1,10                       |
| F1       | 220.992          | 196.644                      | 196.550                      | 1,12                       | 1,12                       |
| F2       | 220.992          | 126.723                      | 140.097                      | 1,74                       | 1,58                       |
| F3       | 220.992          | 126.619                      | 121.146                      | 1,75                       | 1,82                       |
| G1       | 139.392          | 125.472                      | 125.441                      | 1,11                       | 1,11                       |
| G2       | 139.392          | 73.085                       | 71.422                       | 1,91                       | 1,95                       |
| G3       | 139.392          | 90.724                       | 91.141                       | 1,54                       | 1,53                       |
| H1       | 360.192          | 329.901                      | 329.972                      | 1,09                       | 1,09                       |
| H2       | 360.192          | 298.070                      | 296.679                      | 1,21                       | 1,21                       |
| H3       | 360.192          | 297.604                      | 297.831                      | 1,21                       | 1,21                       |
| I1       | 221.184          | 162.771                      | 160.984                      | 1,36                       | 1,37                       |
| I2       | 221.184          | 119.041                      | 118.195                      | 1,86                       | 1,87                       |
| I3       | 221.184          | 168.399                      | 167.992                      | 1,31                       | 1,32                       |
| J1       | 591.936          | 315.744                      | 315.808                      | 1,87                       | 1,87                       |
| J2       | 591.936          | 311.716                      | 311.780                      | 1,90                       | 1,90                       |
| J3       | 591.936          | 312.195                      | 312.259                      | 1,90                       | 1,90                       |
| K1       | 288.000          | 191.319                      | 195.897                      | 1,51                       | 1,47                       |
| K2       | 288.000          | 199.646                      | 196.999                      | 1,44                       | 1,46                       |
| K3       | 288.000          | 207.779                      | 190.189                      | 1,39                       | 1,51                       |
| L1       | 480.192          | 394.458                      | 394.713                      | 1,22                       | 1,22                       |
| L2       | 480.192          | 386.879                      | 402.787                      | 1,24                       | 1,19                       |
| L3       | 480.192          | 405.944                      | 401.755                      | 1,18                       | 1,20                       |
| L4       | 480.192          | 384.725                      | 400.005                      | 1,25                       | 1,20                       |
| L5       | 480.192          | 378.388                      | 376.636                      | 1,27                       | 1,27                       |
| L6       | 480.192          | 383.957                      | 383.160                      | 1,25                       | 1,25                       |

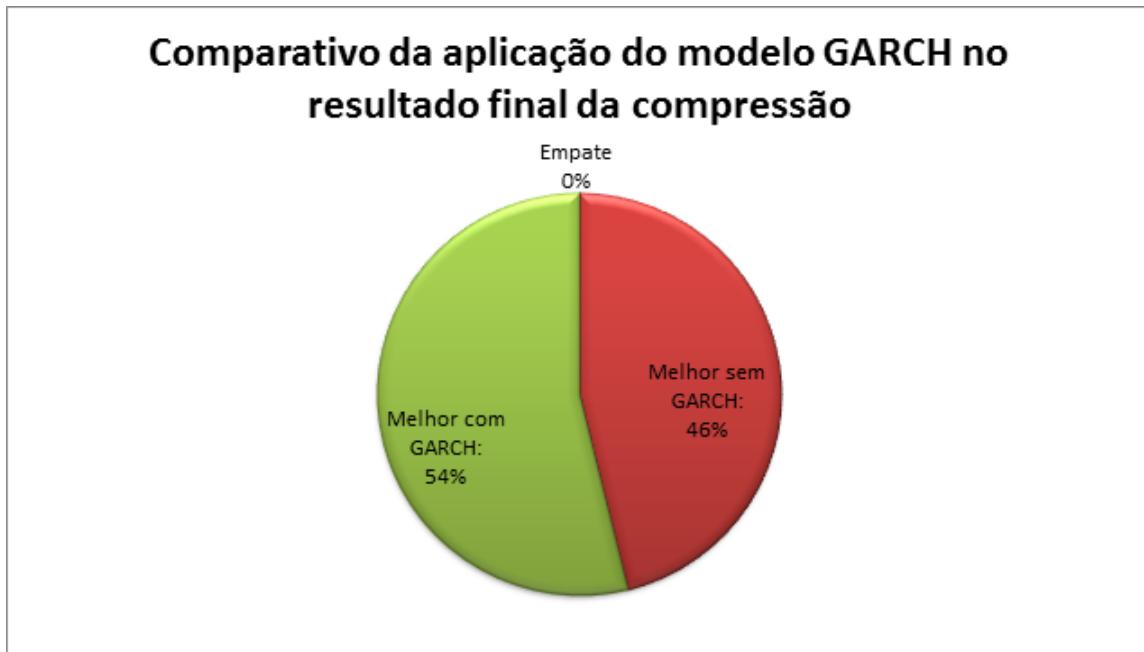


Figura 6.34: Gráfico com comparativo da razão de compressão na Metodologia I

Tabela 6.4: Evolução da entropia do dado original e do resíduo calculado na metodologia I

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| A1       | 11,30            | 10,91                        | 10,89                        |
| A2       | 11,30            | 10,47                        | 10,44                        |
| A3       | 11,27            | 10,58                        | 10,56                        |
| B1       | 7,64             | 3,24                         | 3,24                         |
| B2       | 7,64             | 3,24                         | 3,24                         |
| B3       | 7,64             | 3,24                         | 3,24                         |
| C1       | 12,34            | 12,00                        | 11,99                        |
| C2       | 13,18            | 12,64                        | 12,58                        |
| C3       | 13,17            | 12,64                        | 12,63                        |
| D1       | 9,48             | 9,35                         | 9,35                         |
| D2       | 12,38            | 11,41                        | 11,36                        |
| D3       | 6,45             | 6,20                         | 6,26                         |
| E1       | 10,80            | 10,86                        | 10,84                        |
| E2       | 10,78            | 10,86                        | 10,87                        |
| E3       | 10,80            | 10,86                        | 10,88                        |
| F1       | 10,20            | 10,12                        | 10,16                        |
| F2       | 8,20             | 6,98                         | 7,09                         |
| F3       | 9,27             | 7,20                         | 7,13                         |
| G1       | 12,03            | 11,87                        | 11,90                        |
| G2       | 11,79            | 7,56                         | 7,33                         |
| G3       | 12,06            | 8,86                         | 8,86                         |
| H1       | 8,44             | 8,45                         | 8,44                         |
| H2       | 12,29            | 12,02                        | 12,01                        |
| H3       | 12,33            | 12,09                        | 12,09                        |
| I1       | 8,14             | 7,55                         | 7,54                         |
| I2       | 9,59             | 7,11                         | 6,97                         |
| I3       | 8,15             | 7,76                         | 7,85                         |
| J1       | 8,50             | 6,42                         | 6,42                         |
| J2       | 8,52             | 6,45                         | 6,45                         |
| J3       | 8,53             | 6,44                         | 6,44                         |
| K1       | 10,94            | 9,92                         | 9,91                         |
| K2       | 10,89            | 9,88                         | 9,85                         |
| K3       | 10,87            | 9,87                         | 9,84                         |

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| L1       | 11,27            | 12,10                        | 12,02                        |
| L2       | 11,08            | 12,38                        | 12,27                        |
| L3       | 11,31            | 12,70                        | 12,70                        |
| L4       | 12,80            | 11,97                        | 11,80                        |
| L5       | 10,67            | 11,21                        | 11,21                        |
| L6       | 11,58            | 11,81                        | 11,81                        |

### Evolução de entropia geral na Metodologia I

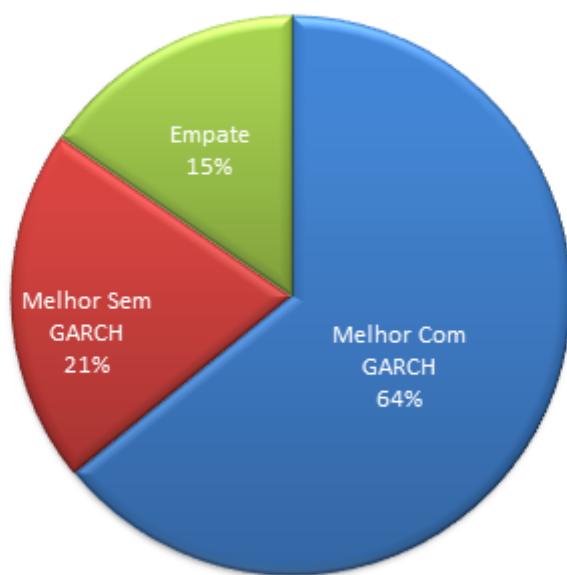


Figura 6.35: Gráfico com comparativo da evolução da entropia na Metodologia I

Tabela 6.5: Tempo de execução (em segundos) dos algoritmos sem e com GARCH na metodologia I. Primeiro é exibido o tempo de execução sem a utilização do modelo GARCH, depois com o modelo. Parâmetros modelo se refere ao tempo gasto pelo algoritmo para o cálculo dos parâmetros do modelo, Resíduo refere-se ao tempo gasto pelo modelo para calcular o resíduo do modelo, Cod. Arit. refere-se ao tempo gasto pela codificação aritmética para comprimir o resíduo.

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| A1   | 70                   | 1       | 4             | 75             | 1.057                | 1       | 3             | 1.061          |
| A2   | 70                   | 1       | 3             | 73             | 1.233                | 1       | 3             | 1.237          |
| A3   | 64                   | 2       | 8             | 74             | 1.499                | 2       | 3             | 1.504          |
| B1   | 30                   | 1       | 3             | 34             | 63                   | < 1     | 1             | 65             |
| B2   | 32                   | 1       | 3             | 37             | 61                   | < 1     | 1             | 63             |
| B3   | 34                   | 1       | 2             | 38             | 60                   | < 1     | 1             | 61             |
| C1   | 16                   | < 1     | 1             | 18             | 311                  | < 1     | 1             | 312            |
| C2   | 14                   | < 1     | 1             | 15             | 160                  | < 1     | 1             | 161            |
| C3   | 14                   | < 1     | 1             | 15             | 271                  | < 1     | 1             | 272            |
| D1   | 15                   | < 1     | 2             | 17             | 152                  | 1       | 2             | 155            |
| D2   | 16                   | 1       | 3             | 20             | 306                  | 1       | 2             | 309            |
| D3   | 18                   | < 1     | 1             | 19             | 295                  | < 1     | 1             | 296            |
| E1   | 9                    | < 1     | 0             | 9              | 66                   | < 1     | 0             | 67             |
| E2   | 11                   | 1       | 1             | 12             | 53                   | 1       | 1             | 54             |
| E3   | 5                    | < 1     | 0             | 5              | 33                   | < 1     | 0             | 34             |
| F1   | 6                    | < 1     | 3             | 9              | 199                  | 1       | 2             | 202            |
| F2   | 15                   | 1       | 1             | 17             | 332                  | < 1     | 0             | 332            |
| F3   | 15                   | < 1     | 1             | 16             | 346                  | 1       | 2             | 349            |
| G1   | 7                    | 1       | 2             | 9              | 136                  | < 1     | 1             | 137            |
| G2   | 14                   | < 1     | 0             | 14             | 351                  | < 1     | 0             | 352            |
| G3   | 13                   | 1       | < 1           | 14             | 204                  | < 1     | 0             | 205            |
| H1   | 17                   | 1       | 4             | 21             | 54                   | 1       | 4             | 59             |
| H2   | 22                   | 1       | 4             | 27             | 506                  | < 1     | 1             | 508            |
| H3   | 17                   | 1       | 4             | 21             | 274                  | 1       | 4             | 279            |
| I1   | 17                   | 1       | 2             | 19             | 176                  | < 1     | 1             | 177            |
| I2   | 85                   | 1       | 1             | 88             | 186                  | < 1     | 0             | 186            |
| I3   | 13                   | 1       | 1             | 15             | 324                  | 1       | 2             | 327            |
| J1   | 39                   | < 1     | 1             | 41             | 77                   | 2       | 2             | 81             |
| J2   | 36                   | 1       | 4             | 41             | 73                   | < 1     | 2             | 76             |

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| J3   | 35                   | < 1     | 3             | 39             | 78                   | < 1     | 1             | 80             |
| K1   | 16                   | < 1     | 1             | 17             | 247                  | < 1     | 1             | 248            |
| K2   | 18                   | 1       | 2             | 21             | 252                  | 1       | 2             | 255            |
| K3   | 16                   | 1       | 2             | 18             | 267                  | 1       | 2             | 270            |
| L1   | 38                   | 1       | 5             | 44             | 1.328                | < 1     | 2             | 1.330          |
| L2   | 166                  | 1       | 5             | 172            | 1.073                | 1       | 4             | 1.079          |
| L3   | 38                   | 1       | 5             | 44             | 853                  | < 1     | 5             | 858            |
| L4   | 293                  | 1       | 4             | 298            | 1.222                | 1       | 2             | 1.225          |
| L5   | 49                   | 1       | 5             | 55             | 1.579                | 1       | 1             | 1.581          |
| L6   | 29                   | < 1     | 2             | 30             | 396                  | 2       | 3             | 401            |

**Tempo relativo de execução da predição dos parâmetros dos modelos no tempo total de execução do algoritmo na Metodologia I**

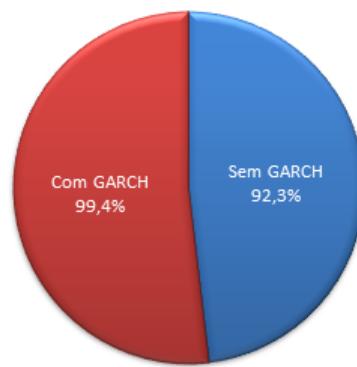


Figura 6.36: Gráfico com comparativo do tempo total relativo de cálculo dos parâmetros dos modelos sem e com GARCH na Metodologia I

Tabela 6.6: Autocorrelação do dado original e dos resíduos gerados sem e com a utilização do modelo GARCH

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| A1       | 6                      | 0                        | 0                        |
| A2       | 5                      | 0                        | 0                        |
| A3       | 6                      | 0                        | 0                        |
| B1       | 6                      | 2                        | 0                        |
| B2       | 6                      | 2                        | 0                        |
| B3       | 6                      | 2                        | 2                        |
| C1       | 2                      | 1                        | 1                        |
| C2       | 1                      | 3                        | 3                        |
| C3       | 2                      | 5                        | 3                        |
| D1       | 2                      | 0                        | 0                        |
| D2       | 2                      | 0                        | 0                        |
| D3       | 2                      | 0                        | 0                        |
| E1       | 4                      | 1                        | 1                        |
| E2       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E3       | 4                      | 0                        | 2                        |
| F1       | 1                      | 1                        | 1                        |
| F2       | 6                      | 0                        | 0                        |
| F3       | 6                      | 3                        | 3                        |
| G1       | 1                      | 0                        | 0                        |
| G2       | 2                      | 0                        | 0                        |
| G3       | 6                      | 4                        | 4                        |
| H1       | 1                      | 0                        | 0                        |
| H2       | 1                      | 0                        | 0                        |
| H3       | 1                      | 0                        | 3                        |
| I1       | 7                      | 2                        | 2                        |
| I2       | 1                      | 2                        | 2                        |
| I3       | 1                      | 2                        | 2                        |
| J1       | 3                      | 2                        | 1                        |
| J2       | 3                      | 2                        | 1                        |
| J3       | 8                      | 2                        | 1                        |
| K1       | 3                      | 0                        | 0                        |
| K2       | 3                      | 0                        | 2                        |
| K3       | 2                      | 0                        | 0                        |

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| L1       | 2                      | 0                        | 1                        |
| L2       | 7                      | 0                        | 0                        |
| L3       | 11                     | 0                        | 0                        |
| L4       | 7                      | 0                        | 1                        |
| L5       | 7                      | 0                        | 0                        |
| L6       | 6                      | 0                        | 0                        |



Figura 6.37: Gráfico com comparativo da redução relativa total da autocorrelação do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia I

Tabela 6.7: Média e variância do dado original comparadas às do resíduo calculado sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia I

| Conjunto | Média Original | Var. Original | Média Sem GARCH | Var. Sem GARCH | Média Com GARCH | Var. Com GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| A1       | 3,0E+04        | 1,8E+07       | 0,5             | 2,9E+05        | -3,3            | 3,0E+05        |
| A2       | 3,2E+04        | 1,1E+07       | 0,5             | 2,3E+05        | -2,9            | 2,4E+05        |
| A3       | 3,1E+04        | 1,4E+07       | 0,5             | 2,5E+05        | -4,0            | 2,6E+05        |
| B1       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,6             | 1,2E+01        | 0,6             | 1,2E+01        |
| B2       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,6             | 1,2E+01        | 0,6             | 1,2E+01        |
| B3       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,6             | 1,2E+01        | 0,6             | 1,2E+01        |
| C1       | 3,3E+04        | 8,1E+07       | 0,5             | 1,8E+07        | -13,0           | 1,8E+07        |
| C2       | 3,3E+04        | 4,0E+07       | 0,5             | 1,2E+07        | 11,3            | 1,3E+07        |
| C3       | 3,3E+04        | 5,7E+07       | 0,5             | 1,1E+07        | -4,5            | 1,2E+07        |
| D1       | 3,7E+04        | 4,1E+07       | 0,4             | 4,9E+06        | -1,8            | 4,9E+06        |
| D2       | 3,3E+04        | 1,2E+07       | 0,5             | 1,9E+06        | -4,8            | 2,1E+06        |
| D3       | 3,1E+04        | 1,0E+07       | 0,3             | 1,6E+06        | -0,2            | 2,3E+06        |
| E1       | 2,9E+04        | 5,8E+07       | 0,3             | 1,4E+07        | -21,6           | 1,4E+07        |
| E2       | 3,0E+04        | 5,8E+07       | 0,1             | 1,4E+07        | 7,9             | 1,4E+07        |
| E3       | 3,0E+04        | 6,0E+07       | 0,4             | 1,5E+07        | -3,9            | 1,5E+07        |
| F1       | 3,8E+04        | 3,9E+07       | 0,6             | 2,1E+07        | 0,8             | 2,3E+07        |
| F2       | 2,3E+04        | 5,4E+06       | 0,6             | 1,6E+05        | 0,9             | 2,0E+05        |
| F3       | 2,6E+04        | 6,0E+06       | 0,4             | 5,4E+04        | -3,1            | 7,9E+04        |
| G1       | 3,3E+04        | 3,3E+07       | 0,5             | 1,5E+07        | 4,3             | 1,5E+07        |
| G2       | 3,8E+04        | 1,9E+07       | 0,5             | 1,3E+04        | 1,4             | 1,7E+04        |
| G3       | 2,9E+04        | 3,6E+07       | 0,5             | 5,3E+04        | -1,2            | 5,4E+04        |
| H1       | 3,1E+04        | 3,6E+07       | 0,4             | 3,5E+07        | 6,6             | 3,5E+07        |
| H2       | 3,4E+04        | 8,1E+06       | 0,5             | 3,5E+06        | 5,9             | 3,7E+06        |
| H3       | 3,2E+04        | 7,3E+06       | 0,5             | 4,6E+06        | 3,7             | 4,6E+06        |
| I1       | 3,6E+04        | 1,2E+07       | 0,7             | 5,8E+05        | 23,1            | 6,1E+05        |
| I2       | 2,9E+04        | 1,2E+06       | 0,8             | 4,8E+04        | 1,8             | 5,0E+04        |
| I3       | 3,1E+04        | 3,3E+07       | 0,3             | 2,1E+06        | -1,5            | 4,8E+06        |
| J1       | 3,7E+04        | 1,2E+06       | 0,5             | 1,4E+04        | 0,5             | 1,4E+04        |
| J2       | 3,5E+04        | 1,5E+06       | 0,5             | 1,9E+04        | 0,5             | 1,9E+04        |
| J3       | 3,3E+04        | 1,3E+06       | 0,5             | 1,5E+04        | 0,5             | 1,5E+04        |
| K1       | 3,9E+04        | 6,9E+06       | 0,5             | 5,4E+05        | 0,6             | 5,7E+05        |
| K2       | 4,0E+04        | 6,7E+06       | 0,5             | 5,2E+05        | 0,3             | 5,5E+05        |

| Conjunto | Média<br>Orig. | Var.<br>Orig. | Média<br>Sem<br>GARCH | Var.<br>Sem<br>GARCH | Média<br>Com<br>GARCH | Var.<br>Com<br>GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| K3       | 3,6E+04        | 5,8E+06       | 0,5                   | 5,3E+05              | 0,7                   | 5,5E+05              |
| L1       | 3,4E+04        | 2,9E+07       | 0,4                   | 2,0E+06              | -5,5                  | 2,9E+06              |
| L2       | 3,1E+04        | 1,5E+07       | 0,0                   | 4,2E+06              | 1,7                   | 5,2E+06              |
| L3       | 3,5E+04        | 1,3E+07       | 0,5                   | 4,7E+06              | -4,7                  | 4,7E+06              |
| L4       | 3,7E+04        | 1,8E+07       | 0,4                   | 2,6E+06              | 4,4                   | 4,1E+06              |
| L5       | 3,1E+04        | 5,1E+07       | 0,3                   | 9,7E+05              | -2,1                  | 9,8E+05              |
| L6       | 3,2E+04        | 2,6E+07       | 0,6                   | 1,0E+06              | -4,3                  | 1,0E+06              |

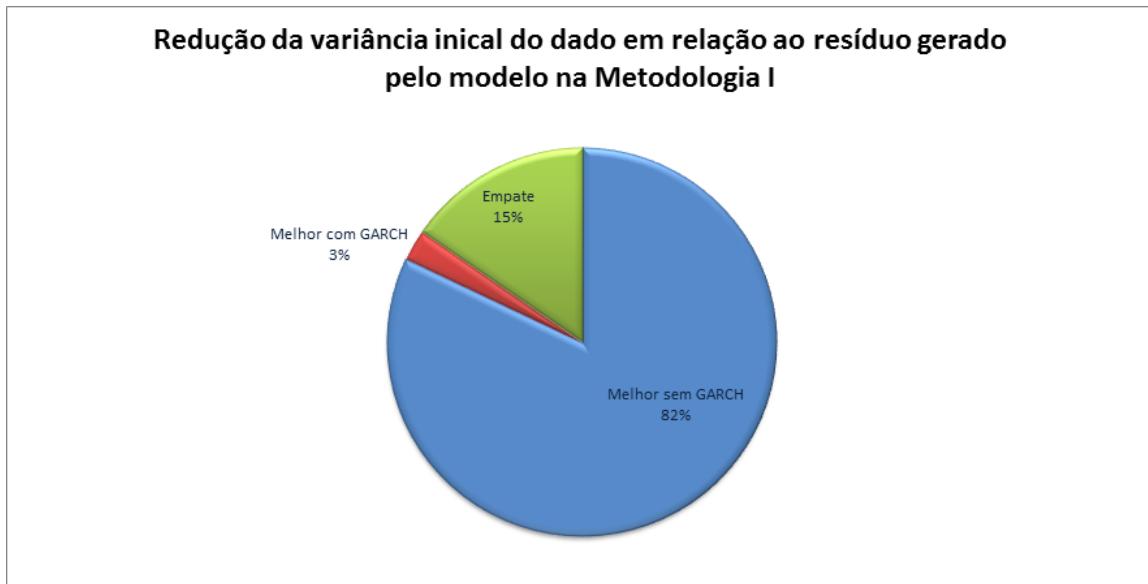


Figura 6.38: Gráfico com comparativo da redução relativa total da variância do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia I

### 6.2.2 Metodologia II

Na Metodologia II, a função de autorrelação utilizada foi a mesma da Metodologia I (tabela: 6.1) para escolher o valor do parâmetro autoregressivo ( $p$ , na equação 4.5). O parâmetro de médias móveis ( $q$ , na equação 4.5) foi testado sempre com o valor um, utilizando, dessa vez, um modelo ARMA. Cada conjunto foi testado duas vezes, uma com e a outra sem a utilização do modelo GARCH(1, 1).

Para a descompressão, serão necessários os seguintes itens:

1. **Valor de AR:** 32 bits indicando  $p$  na equação 4.5.
2. **Valor de MA:** 32 bits indicando  $q$  na equação 4.5.
3. **Valor de ARCH:** 32 bits indicando  $\bar{\alpha}$  na equação 4.7.
4. **Valor de GARCH:** 32 bits indicando  $\bar{\beta}$  na equação 4.7.
5. **Parâmetros AR calculados:**  $p \times 32$  bits indicando os parâmetros AR calculados ( $\alpha_1, \dots, p$ , na equação 4.5).
6. **Parâmetros MA calculados:**  $q \times 32$  bits indicando os parâmetros MA calculados ( $\beta_1, \dots, p$ , na equação 4.5).
7. **Parâmetros ARCH calculados:**  $\bar{\alpha} \times 32$  bits indicando os parâmetros ARCH calculados ( $\sigma_1, \dots, \bar{p}$ , na equação 4.7).
8. **Parâmetros GARCH calculados:**  $\bar{\beta} \times 32$  bits indicando os parâmetros GARCH calculados ( $h_1, \dots, \bar{q}$ , na equação 4.7).
9. **Resíduo do modelo:** o conjunto de resíduos do modelo, comprimido com a codificação aritmética. Tamanho variável, dependendo do resíduo calculado.

Portanto, o tamanho mínimo do arquivo comprimido dá-se pela equação 6.3. Já o tamanho final do arquivo comprimido é descrito pela equação 6.4, onde  $TRC_{met2}$  é o tamanho do resíduo comprimido.

$$TM_{met2} = 5 \times 32 + 32 \times p + 32 \times \bar{\alpha} + 32 \times \bar{\beta} \text{ bits} \quad (6.3)$$

$$TF_{met2} = TM_{met2} + TRC_{met2} \text{ bits} \quad (6.4)$$

#### 6.2.2.1 Métricas obtidas

Tabela 6.8: Comparativo de quantidade de experimentos cujas soluções convergiram com e sem a utilização do GARCH na metodologia II

| Cenário   | Total experimentos | Convergiram | Não convergiram | % sucesso |
|-----------|--------------------|-------------|-----------------|-----------|
| Sem GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |
| Com GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |

Tabela 6.9: Razão de compressão dos experimentos sem e com GARCH na Metodologia II. Valores em bytes.

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| A1       | 1152000          | 859000                       | 791874                       | 1,34                       | 1,45                       |
| A2       | 1152000          | 808066                       | 803043                       | 1,43                       | 1,43                       |
| A3       | 1152000          | 848777                       | 845964                       | 1,36                       | 1,36                       |

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| B1       | 518592           | 147620                       | 148226                       | 3,51                       | 3,50                       |
| B2       | 518592           | 147620                       | 148226                       | 3,51                       | 3,50                       |
| B3       | 518592           | 147620                       | 148226                       | 3,51                       | 3,50                       |
| C1       | 288192           | 260183                       | 250524                       | 1,11                       | 1,15                       |
| C2       | 288192           | 242309                       | 247480                       | 1,19                       | 1,16                       |
| C3       | 288192           | 244185                       | 255731                       | 1,18                       | 1,13                       |
| D1       | 331200           | 253938                       | 255277                       | 1,30                       | 1,30                       |
| D2       | 331200           | 242650                       | 256546                       | 1,36                       | 1,29                       |
| D3       | 331200           | 234514                       | 249981                       | 1,41                       | 1,32                       |
| E1       | 33792            | 30373                        | 30423                        | 1,11                       | 1,11                       |
| E2       | 33792            | 30952                        | 30949                        | 1,09                       | 1,09                       |
| E3       | 33792            | 30546                        | 30596                        | 1,11                       | 1,10                       |
| F1       | 220992           | 184756                       | 182761                       | 1,20                       | 1,21                       |
| F2       | 220992           | 126576                       | 127908                       | 1,75                       | 1,73                       |
| F3       | 220992           | 126942                       | 121629                       | 1,74                       | 1,82                       |
| G1       | 139392           | 116858                       | 116754                       | 1,19                       | 1,19                       |
| G2       | 139392           | 73256                        | 73407                        | 1,90                       | 1,90                       |
| G3       | 139392           | 98424                        | 98965                        | 1,42                       | 1,41                       |
| H1       | 360192           | 330174                       | 330445                       | 1,09                       | 1,09                       |
| H2       | 360192           | 298354                       | 298344                       | 1,21                       | 1,21                       |
| H3       | 360192           | 304109                       | 302680                       | 1,18                       | 1,19                       |
| I1       | 221184           | 162899                       | 160725                       | 1,36                       | 1,38                       |
| I2       | 221184           | 125638                       | 131065                       | 1,76                       | 1,69                       |
| I3       | 221184           | 167665                       | 168431                       | 1,32                       | 1,31                       |
| J1       | 591936           | 310749                       | 293266                       | 1,90                       | 2,02                       |
| J2       | 591936           | 302345                       | 373657                       | 1,96                       | 1,58                       |
| J3       | 591936           | 312386                       | 354066                       | 1,89                       | 1,67                       |
| K1       | 288000           | 198224                       | 197225                       | 1,45                       | 1,46                       |
| K2       | 288000           | 185431                       | 202826                       | 1,55                       | 1,42                       |
| K3       | 288000           | 194719                       | 199407                       | 1,48                       | 1,44                       |
| L1       | 480192           | 393735                       | 398234                       | 1,22                       | 1,21                       |
| L2       | 480192           | 389279                       | 382098                       | 1,23                       | 1,26                       |
| L3       | 480192           | 406539                       | 393244                       | 1,18                       | 1,22                       |
| L4       | 480192           | 386133                       | 397534                       | 1,24                       | 1,21                       |
| L5       | 480192           | 378500                       | 378544                       | 1,27                       | 1,27                       |

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| L6       | 480192           | 375950                       | 368979                       | 1,28                       | 1,30                       |

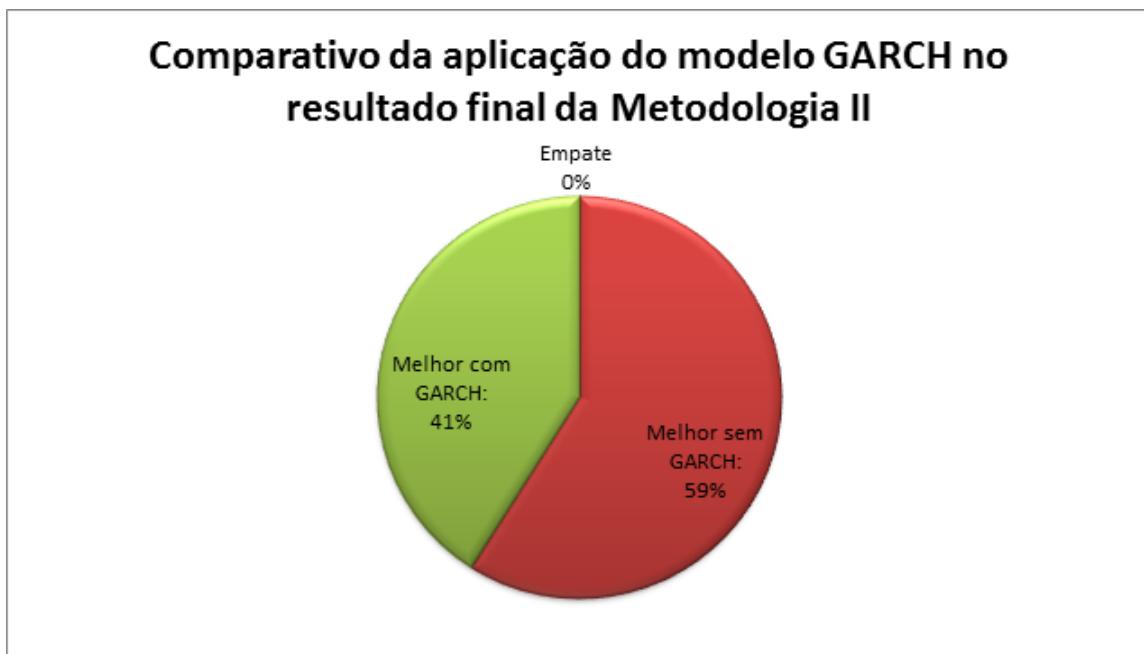


Figura 6.39: Gráfico com comparativo da razão de compressão na Metodologia II

Tabela 6.10: Evolução da entropia do dado original e do resíduo calculado na metodologia II

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| A1       | 11,30            | 10,87                        | 10,86                        |
| A2       | 11,30            | 10,45                        | 10,42                        |
| A3       | 11,27            | 10,57                        | 10,55                        |
| B1       | 7,64             | 3,60                         | 3,61                         |
| B2       | 7,64             | 3,60                         | 3,61                         |
| B3       | 7,64             | 3,60                         | 3,61                         |
| C1       | 12,34            | 12,03                        | 12,10                        |
| C2       | 13,18            | 12,54                        | 12,39                        |
| C3       | 13,17            | 12,55                        | 12,59                        |
| D1       | 9,48             | 9,48                         | 9,28                         |
| D2       | 12,38            | 11,05                        | 10,98                        |
| D3       | 6,45             | 6,45                         | 6,36                         |
| E1       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| E2       | 10,78            | 10,78                        | 10,78                        |
| E3       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| F1       | 10,20            | 10,20                        | 10,20                        |
| F2       | 8,20             | 6,99                         | 7,11                         |
| F3       | 9,27             | 7,30                         | 7,17                         |
| G1       | 12,03            | 11,96                        | 11,91                        |
| G2       | 11,79            | 7,61                         | 6,88                         |
| G3       | 12,06            | 10,11                        | 10,17                        |
| H1       | 8,44             | 8,44                         | 8,44                         |
| H2       | 12,29            | 12,13                        | 12,12                        |
| H3       | 12,33            | 12,07                        | 12,05                        |
| I1       | 8,14             | 7,75                         | 8,14                         |
| I2       | 9,59             | 7,02                         | 6,50                         |
| I3       | 8,15             | 7,80                         | 7,77                         |
| J1       | 8,50             | 7,19                         | 6,47                         |
| J2       | 8,52             | 7,25                         | 6,35                         |
| J3       | 8,53             | 7,18                         | 6,51                         |
| K1       | 10,94            | 9,71                         | 9,71                         |
| K2       | 10,89            | 9,68                         | 9,61                         |
| K3       | 10,87            | 9,67                         | 9,57                         |

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| L1       | 11,27            | 11,27                        | 11,27                        |
| L2       | 11,08            | 11,08                        | 11,08                        |
| L3       | 11,31            | 11,31                        | 11,31                        |
| L4       | 12,80            | 11,90                        | 11,68                        |
| L5       | 10,67            | 10,67                        | 10,67                        |
| L6       | 11,58            | 11,58                        | 11,58                        |

## Evolução de entropia geral na Metodologia II

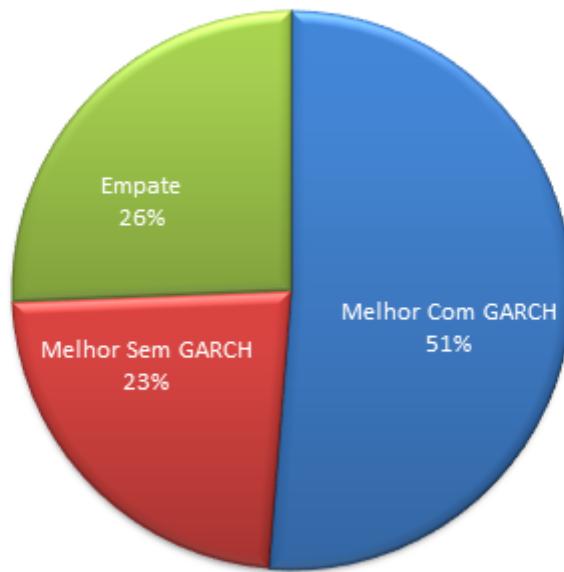


Figura 6.40: Gráfico com comparativo da evolução da entropia na Metodologia II

Tabela 6.11: Tempo de execução (em segundos) dos algoritmos sem e com GARCH na metodologia II. Primeiro é exibido o tempo de execução sem a utilização do modelo GARCH, depois com o modelo. Parâmetros modelo se refere ao tempo gasto pelo algoritmo para o cálculo dos parâmetros do modelo, Resíduo refere-se ao tempo gasto pelo modelo para calcular o resíduo do modelo, Cod. Arit. refere-se ao tempo gasto pela codificação aritmética para comprimir o resíduo.

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| A1   | 633                  | 1       | 10            | 644            | 1.368                | 1       | 3             | 1.371          |
| A2   | 590                  | 1       | 3             | 593            | 1.480                | 1       | 8             | 1.489          |
| A3   | 335                  | < 1     | 3             | 338            | 1.516                | 3       | 2             | 1.521          |
| B1   | 69                   | 1       | 3             | 73             | 91                   | 1       | 1             | 94             |
| B2   | 71                   | < 1     | 1             | 73             | 89                   | 1       | 4             | 94             |
| B3   | 71                   | < 1     | 1             | 72             | 97                   | < 1     | 1             | 98             |
| C1   | 47                   | 1       | 3             | 50             | 271                  | < 1     | 1             | 273            |
| C2   | 39                   | 1       | 2             | 42             | 310                  | 1       | 1             | 312            |
| C3   | 48                   | < 1     | 1             | 49             | 307                  | 1       | 2             | 310            |
| D1   | 64                   | 1       | 3             | 68             | 315                  | 1       | 3             | 320            |
| D2   | 89                   | < 1     | 2             | 91             | 346                  | < 1     | 1             | 347            |
| D3   | 118                  | < 1     | 1             | 119            | 296                  | 1       | 3             | 300            |
| E1   | 12                   | < 1     | < 1           | 13             | 59                   | < 1     | < 1           | 60             |
| E2   | 13                   | < 1     | 1             | 14             | 102                  | < 1     | < 1           | 102            |
| E3   | 13                   | < 1     | < 1           | 14             | 66                   | < 1     | < 1           | 67             |
| F1   | 44                   | < 1     | 1             | 45             | 214                  | < 1     | 2             | 216            |
| F2   | 61                   | < 1     | < 1           | 62             | 420                  | < 1     | 1             | 421            |
| F3   | 65                   | < 1     | < 1           | 65             | 216                  | 1       | 2             | 218            |
| G1   | 27                   | < 1     | 1             | 28             | 149                  | 1       | 2             | 151            |
| G2   | 78                   | < 1     | < 1           | 78             | 250                  | < 1     | < 1           | 251            |
| G3   | 91                   | < 1     | 1             | 93             | 273                  | 1       | 1             | 276            |
| H1   | 41                   | 1       | 1             | 43             | 89                   | < 1     | 1             | 90             |
| H2   | 231                  | 1       | 1             | 233            | 694                  | < 1     | 1             | 696            |
| H3   | 89                   | 1       | 4             | 93             | 171                  | 1       | 4             | 176            |
| I1   | 144                  | < 1     | 1             | 145            | 424                  | 1       | 2             | 427            |
| I2   | 56                   | < 1     | < 1           | 57             | 365                  | < 1     | < 1           | 366            |
| I3   | 42                   | 1       | 1             | 44             | 341                  | < 1     | 1             | 342            |
| J1   | 188                  | 1       | 3             | 192            | 353                  | 2       | 2             | 357            |
| J2   | 459                  | 1       | 2             | 462            | 1.011                | 2       | 3             | 1.016          |

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| J3   | 465                  | 1       | 2             | 468            | 429                  | 2       | 2             | 433            |
| K1   | 101                  | < 1     | 1             | 102            | 358                  | 1       | 2             | 361            |
| K2   | 111                  | 1       | 2             | 114            | 348                  | < 1     | 1             | 349            |
| K3   | 106                  | < 1     | 1             | 107            | 358                  | < 1     | 1             | 359            |
| L1   | 609                  | 1       | 5             | 615            | 1.309                | 2       | 4             | 1.314          |
| L2   | 349                  | 1       | 5             | 355            | 895                  | 1       | 4             | 899            |
| L3   | 477                  | 1       | 5             | 483            | 1.028                | 2       | 4             | 1.034          |
| L4   | 344                  | < 1     | 2             | 346            | 1.198                | < 1     | 1             | 1.200          |
| L5   | 827                  | 1       | 2             | 830            | 995                  | < 1     | 1             | 997            |
| L6   | 248                  | 1       | 2             | 251            | 746                  | 1       | 2             | 749            |

**Tempo relativo de execução da predição dos parâmetros dos modelos no tempo total de execução do algoritmo na Metodologia II**

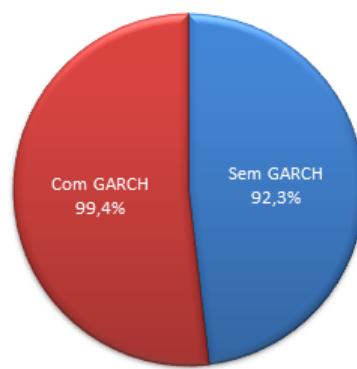


Figura 6.41: Gráfico com comparativo do tempo total relativo de cálculo dos parâmetros dos modelos sem e com GARCH na Metodologia II

Tabela 6.12: Autocorrelação do dado original e dos resíduos gerados sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia II

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| A1       | 6                      | 0                        | 0                        |
| A2       | 5                      | 0                        | 0                        |
| A3       | 6                      | 0                        | 0                        |
| B1       | 6                      | 1                        | 1                        |
| B2       | 6                      | 1                        | 1                        |
| B3       | 6                      | 1                        | 1                        |
| C1       | 2                      | 0                        | 1                        |
| C2       | 1                      | 0                        | 11                       |
| C3       | 2                      | 0                        | 1                        |
| D1       | 2                      | 1                        | 1                        |
| D2       | 2                      | 1                        | 0                        |
| D3       | 2                      | 7                        | 3                        |
| E1       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E2       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E3       | 4                      | 0                        | 0                        |
| F1       | 1                      | 1                        | 1                        |
| F2       | 6                      | 0                        | 1                        |
| F3       | 6                      | 0                        | 0                        |
| G1       | 1                      | 1                        | 1                        |
| G2       | 2                      | 0                        | 1                        |
| G3       | 6                      | 5                        | 5                        |
| H1       | 1                      | 0                        | 0                        |
| H2       | 1                      | 0                        | 0                        |
| H3       | 1                      | 0                        | 0                        |
| I1       | 7                      | 0                        | 0                        |
| I2       | 1                      | 0                        | 0                        |
| I3       | 1                      | 0                        | 3                        |
| J1       | 3                      | 1                        | 2                        |
| J2       | 3                      | 1                        | 7                        |
| J3       | 8                      | 0                        | 7                        |
| K1       | 3                      | 2                        | 2                        |
| K2       | 3                      | 2                        | 1                        |
| K3       | 2                      | 0                        | 1                        |

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| L1       | 2                      | 0                        | 9                        |
| L2       | 7                      | 0                        | 0                        |
| L3       | 11                     | 0                        | 0                        |
| L4       | 7                      | 0                        | 2                        |
| L5       | 7                      | 0                        | 0                        |
| L6       | 6                      | 0                        | 0                        |



Figura 6.42: Gráfico com comparativo da redução relativa total da autocorrelação do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia II

Tabela 6.13: Média e variância do dado original comparadas às do resíduo calculado sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia II

| Conjunto | Média Original | Var. Original | Média Sem GARCH | Var. Sem GARCH | Média Com GARCH | Var. Com GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| A1       | 3,0E+04        | 1,8E+07       | 0,5             | 2,8E+05        | -2,5            | 2,9E+05        |
| A2       | 3,2E+04        | 1,1E+07       | 0,5             | 2,3E+05        | -2,5            | 2,4E+05        |
| A3       | 3,1E+04        | 1,4E+07       | 0,5             | 2,5E+05        | -3,5            | 2,5E+05        |
| B1       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,6             | 1,6E+01        | 0,6             | 1,6E+01        |
| B2       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,6             | 1,6E+01        | 0,6             | 1,6E+01        |
| B3       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,6             | 1,6E+01        | 0,6             | 1,6E+01        |
| C1       | 3,3E+04        | 8,1E+07       | 0,5             | 1,3E+07        | -7,6            | 1,5E+07        |
| C2       | 3,3E+04        | 4,0E+07       | 0,5             | 8,7E+06        | 6,3             | 1,6E+07        |
| C3       | 3,3E+04        | 5,7E+07       | 0,5             | 7,4E+06        | -10,0           | 9,9E+06        |
| D1       | 3,7E+04        | 4,1E+07       | 0,4             | 1,9E+06        | 0,9             | 2,1E+06        |
| D2       | 3,3E+04        | 1,2E+07       | 0,5             | 9,8E+05        | -2,7            | 1,1E+06        |
| D3       | 3,1E+04        | 1,0E+07       | 0,5             | 6,0E+05        | 0,8             | 1,2E+06        |
| E1       | 2,9E+04        | 5,8E+07       | -0,5            | 1,1E+07        | 6,8             | 1,1E+07        |
| E2       | 3,0E+04        | 5,8E+07       | 0,0             | 1,3E+07        | 33,5            | 1,3E+07        |
| E3       | 3,0E+04        | 6,0E+07       | 0,3             | 1,3E+07        | 21,3            | 1,3E+07        |
| F1       | 3,8E+04        | 3,9E+07       | 0,5             | 6,9E+06        | 13,6            | 7,6E+06        |
| F2       | 2,3E+04        | 5,4E+06       | 0,6             | 1,6E+05        | 0,1             | 3,2E+05        |
| F3       | 2,6E+04        | 6,0E+06       | 0,7             | 5,2E+04        | 1,0             | 7,2E+04        |
| G1       | 3,3E+04        | 3,3E+07       | 0,8             | 4,5E+06        | -6,1            | 5,0E+06        |
| G2       | 3,8E+04        | 1,9E+07       | -0,7            | 1,3E+04        | 0,6             | 2,5E+04        |
| G3       | 2,9E+04        | 3,6E+07       | 0,5             | 1,2E+05        | 21,5            | 1,4E+05        |
| H1       | 3,1E+04        | 3,6E+07       | 1,2             | 3,5E+07        | 15,1            | 3,5E+07        |
| H2       | 3,4E+04        | 8,1E+06       | -3,2            | 3,0E+06        | 31,0            | 3,1E+06        |
| H3       | 3,2E+04        | 7,3E+06       | 0,5             | 3,5E+06        | 8,9             | 3,5E+06        |
| I1       | 3,6E+04        | 1,2E+07       | 0,6             | 5,7E+05        | 34,0            | 6,0E+05        |
| I2       | 2,9E+04        | 1,2E+06       | -11,5           | 4,9E+04        | 0,1             | 1,4E+05        |
| I3       | 3,1E+04        | 3,3E+07       | -0,1            | 2,1E+06        | -5,2            | 2,8E+06        |
| J1       | 3,7E+04        | 1,2E+06       | 0,5             | 9,7E+03        | -2,4            | 1,9E+04        |
| J2       | 3,5E+04        | 1,5E+06       | 0,8             | 1,3E+04        | 0,5             | 8,0E+04        |
| J3       | 3,3E+04        | 1,3E+06       | 0,9             | 1,1E+04        | 0,1             | 7,4E+04        |
| K1       | 3,9E+04        | 6,9E+06       | 0,4             | 2,5E+05        | 3,0             | 4,0E+05        |
| K2       | 4,0E+04        | 6,7E+06       | 0,2             | 2,3E+05        | 1,7             | 3,7E+05        |

| Conjunto | Média<br>Orig. | Var.<br>Orig. | Média<br>Sem<br>GARCH | Var.<br>Sem<br>GARCH | Média<br>Com<br>GARCH | Var.<br>Com<br>GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| K3       | 3,6E+04        | 5,8E+06       | 0,7                   | 2,6E+05              | 6,7                   | 3,4E+05              |
| L1       | 3,4E+04        | 2,9E+07       | 0,4                   | 2,0E+06              | -1,8                  | 2,8E+06              |
| L2       | 3,1E+04        | 1,5E+07       | -2,4                  | 3,7E+06              | 2,1                   | 3,9E+06              |
| L3       | 3,5E+04        | 1,3E+07       | 1,4                   | 4,3E+06              | -1,3                  | 4,7E+06              |
| L4       | 3,7E+04        | 1,8E+07       | 0,6                   | 2,4E+06              | 4,8                   | 4,8E+06              |
| L5       | 3,1E+04        | 5,1E+07       | 1,2                   | 9,7E+05              | 0,8                   | 9,7E+05              |
| L6       | 3,2E+04        | 2,6E+07       | 0,7                   | 8,8E+05              | 0,5                   | 9,3E+05              |

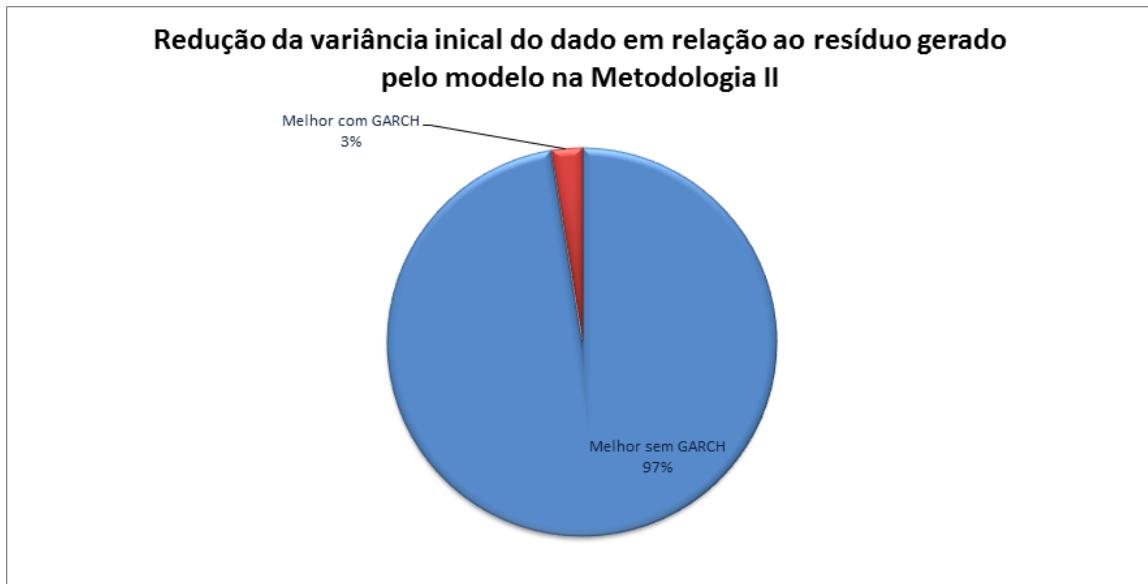


Figura 6.43: Gráfico com comparativo da redução relativa total da variância do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia II

### 6.2.3 Metodologia III

Na Metodologia III, a função de autorrelação utilizada foi a mesma da Metodologia I (tabela: 6.1) para escolher o valor do parâmetro autoregressivo ( $p$ , na equação 4.5) e o de médias móveis ( $q$ , na equação 4.5). Cada conjunto foi testado duas vezes, uma com e a outra sem a utilização do modelo GARCH(1, 1).

Para a descompressão, serão necessários os seguintes itens:

1. **Valor de AR:** 32 bits indicando  $p$  na equação 4.5.
2. **Valor de MA:** 32 bits indicando  $q$  na equação 4.5.
3. **Valor de ARCH:** 32 bits indicando  $\bar{\alpha}$  na equação 4.7.
4. **Valor de GARCH:** 32 bits indicando  $\bar{\beta}$  na equação 4.7.
5. **Parâmetros AR calculados:**  $p \times 32$  bits indicando os parâmetros AR calculados ( $\alpha_1, \dots, p$ , na equação 4.5).
6. **Parâmetros MA calculados:**  $q \times 32$  bits indicando os parâmetros MA calculados ( $\beta_1, \dots, p$ , na equação 4.5).
7. **Parâmetros ARCH calculados:**  $\bar{\alpha} \times 32$  bits indicando os parâmetros ARCH calculados ( $\sigma_1, \dots, \bar{p}$ , na equação 4.7).
8. **Parâmetros GARCH calculados:**  $\bar{\beta} \times 32$  bits indicando os parâmetros GARCH calculados ( $h_1, \dots, \bar{q}$ , na equação 4.7).
9. **Resíduo do modelo:** o conjunto de resíduos do modelo, comprimido com a codificação aritmética. Tamanho variável, dependendo do resíduo calculado.

Portanto, o tamanho mínimo do arquivo comprimido dá-se pela equação 6.5. Já o tamanho final do arquivo comprimido é descrito pela equação 6.6, onde  $TRC_{met3}$  é o tamanho do resíduo comprimido.

$$TM_{met3} = 4 \times 32 + 32 \times p + 32 \times q + 32 \times \bar{\alpha} + 32 \times \bar{\beta} \text{ bits} \quad (6.5)$$

$$TF_{met3} = TM_{met3} + TRC_{met3} \text{ bits} \quad (6.6)$$

#### 6.2.3.1 Métricas obtidas

Tabela 6.14: Comparativo de quantidade de experimentos cujas soluções convergiram com e sem a utilização do GARCH na metodologia III

| Cenário   | Total experimentos | Convergiram | Não convergiram | % sucesso |
|-----------|--------------------|-------------|-----------------|-----------|
| Sem GARCH | 39                 | 35          | 4               | 89,74%    |
| Com GARCH | 39                 | 37          | 2               | 94,87%    |

Tabela 6.15: Razão de compressão dos experimentos sem e com GARCH na Metodologia III. Valores em bytes.

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| A1       | 1152000          | 851115                       | 844403                       | 1,35                       | 1,36                       |
| A2       | 1152000          | 809400                       | 804811                       | 1,42                       | 1,43                       |
| A3       | 1152000          | 846255                       | 843798                       | 1,36                       | 1,37                       |

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| B1       | 518592           | 384373                       | 327399                       | 1,35                       | 1,58                       |
| B2       | 518592           | 384373                       | 327399                       | 1,35                       | 1,58                       |
| B3       | 518592           | 384373                       | 327399                       | 1,35                       | 1,58                       |
| C1       | 288192           | 261154                       | 251010                       | 1,10                       | 1,15                       |
| C2       | 288192           | 255445                       | 246482                       | 1,13                       | 1,17                       |
| C3       | 288192           | 254356                       | 250507                       | 1,13                       | 1,15                       |
| D1       | 331200           | 262487                       | 254264                       | 1,26                       | 1,30                       |
| D2       | 331200           | 257732                       | 246710                       | 1,29                       | 1,34                       |
| D3       | 331200           | 213342                       | 224181                       | 1,55                       | 1,48                       |
| E1       | 33792            | 30643                        | 30712                        | 1,10                       | 1,10                       |
| E2       | 33792            | 30713                        | 30681                        | 1,10                       | 1,10                       |
| E3       | 33792            | 30702                        | 30754                        | 1,10                       | 1,10                       |
| F1       | 220992           | 184756                       | 182761                       | 1,20                       | 1,21                       |
| F2       | 220992           | 131053                       | 127018                       | 1,69                       | 1,74                       |
| F3       | 220992           | 128083                       | 119120                       | 1,73                       | 1,86                       |
| G1       | 139392           | 116858                       | 116754                       | 1,19                       | 1,19                       |
| G2       | 139392           | 75127                        | 74885                        | 1,86                       | 1,86                       |
| G3       | 139392           | 135710                       | 90127                        | 1,03                       | 1,55                       |
| H1       | 360192           | 330174                       | 330445                       | 1,09                       | 1,09                       |
| H2       | 360192           | 300075                       | 297299                       | 1,20                       | 1,21                       |
| H3       | 360192           | 304109                       | 302680                       | 1,18                       | 1,19                       |
| I1       | 221184           | 166002                       | 161908                       | 1,33                       | 1,37                       |
| I2       | 221184           | 121130                       | 164167                       | 1,83                       | 1,35                       |
| I3       | 221184           | 173223                       | 169583                       | 1,28                       | 1,30                       |
| J1       | 591936           | 309803                       | 288618                       | 1,91                       | 2,05                       |
| J2       | 591936           | 289632                       | 288495                       | 2,04                       | 2,05                       |
| J3       | 591936           | 306018                       | 428573                       | 1,93                       | 1,38                       |
| K1       | 288000           | 200086                       | 180226                       | 1,44                       | 1,60                       |
| K2       | 288000           | 190894                       | 185843                       | 1,51                       | 1,55                       |
| K3       | 288000           | 182343                       | 197188                       | 1,58                       | 1,46                       |
| L1       | 480192           | 394011                       | 390460                       | 1,22                       | 1,23                       |
| L2       | 480192           | 392874                       | 383001                       | 1,22                       | 1,25                       |
| L3       | 480192           | 405320                       | 403307                       | 1,18                       | 1,19                       |
| L4       | 480192           | 386877                       | 376811                       | 1,24                       | 1,27                       |
| L5       | 480192           | 379431                       | 379782                       | 1,27                       | 1,26                       |

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| L6       | 480192           | 373749                       | 377220                       | 1,28                       | 1,27                       |

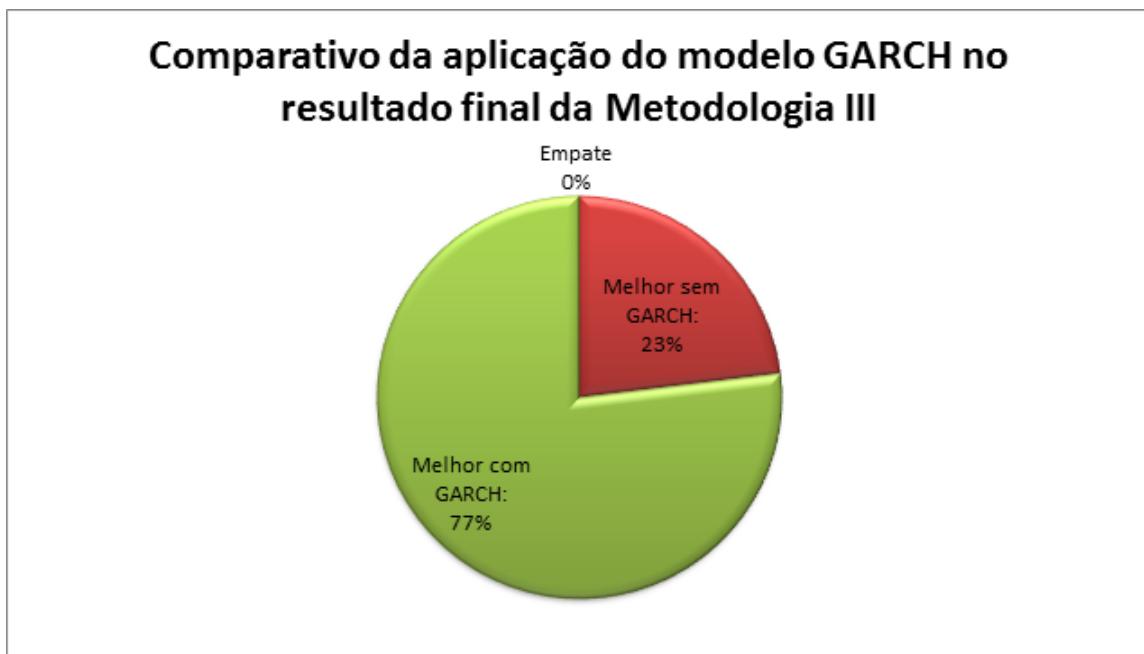


Figura 6.44: Gráfico com comparativo da razão de compressão na Metodologia III

Tabela 6.16: Evolução da entropia do dado original e do resíduo calculado na metodologia III

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| A1       | 11,30            | 10,86                        | 10,75                        |
| A2       | 11,30            | 10,42                        | 10,33                        |
| A3       | 11,27            | 10,60                        | 10,54                        |
| B1       | 7,64             | 7,64                         | 6,83                         |
| B2       | 7,64             | 7,64                         | 6,83                         |
| B3       | 7,64             | 7,64                         | 6,83                         |
| C1       | 12,34            | 12,04                        | 11,95                        |
| C2       | 13,18            | 12,43                        | 12,13                        |
| C3       | 13,17            | 12,47                        | 12,37                        |
| D1       | 9,48             | 9,11                         | 9,01                         |
| D2       | 12,38            | 10,81                        | 10,52                        |
| D3       | 6,45             | 6,45                         | 6,05                         |
| E1       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| E2       | 10,78            | 10,78                        | 10,78                        |
| E3       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| F1       | 10,20            | 10,20                        | 10,20                        |
| F2       | 8,20             | 7,07                         | 7,21                         |
| F3       | 9,27             | 8,04                         | 7,24                         |
| G1       | 12,03            | 11,96                        | 11,91                        |
| G2       | 11,79            | 7,79                         | 7,79                         |
| G3       | 12,06            | 12,06                        | 7,29                         |
| H1       | 8,44             | 8,44                         | 8,44                         |
| H2       | 12,29            | 12,13                        | 12,12                        |
| H3       | 12,33            | 12,07                        | 12,05                        |
| I1       | 8,14             | 8,14                         | 8,14                         |
| I2       | 9,59             | 7,12                         | 9,59                         |
| I3       | 8,15             | 8,15                         | 8,15                         |
| J1       | 8,50             | 6,75                         | 6,69                         |
| J2       | 8,52             | 6,77                         | 6,79                         |
| J3       | 8,53             | 6,66                         | 8,53                         |
| K1       | 10,94            | 9,75                         | 9,58                         |
| K2       | 10,89            | 9,92                         | 9,60                         |
| K3       | 10,87            | 9,71                         | 9,50                         |

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| L1       | 11,27            | 11,27                        | 11,27                        |
| L2       | 11,08            | 11,08                        | 11,08                        |
| L3       | 11,31            | 11,31                        | 11,31                        |
| L4       | 12,80            | 11,89                        | 11,67                        |
| L5       | 10,67            | 10,67                        | 10,67                        |
| L6       | 11,58            | 11,58                        | 11,56                        |

### Evolução de entropia geral na Metodologia III

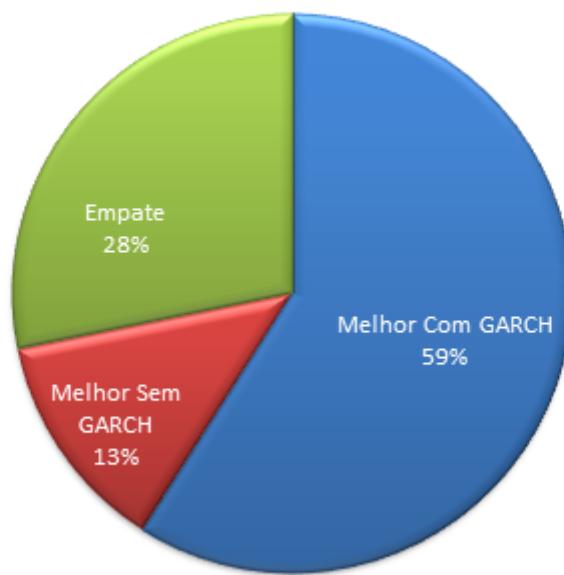


Figura 6.45: Gráfico com comparativo da evolução da entropia na Metodologia III

Tabela 6.17: Tempo de execução (em segundos) dos algoritmos sem e com GARCH na metodologia III. Primeiro é exibido o tempo de execução sem a utilização do modelo GARCH, depois com o modelo. Parâmetros modelo se refere ao tempo gasto pelo algoritmo para o cálculo dos parâmetros do modelo, Resíduo refere-se ao tempo gasto pelo modelo para calcular o resíduo do modelo, Cod. Arit. refere-se ao tempo gasto pela codificação aritmética para comprimir o resíduo.

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| A1   | 1.452                | 1       | 10            | 1.463          | 2.824                | 2       | 9             | 2.835          |
| A2   | 1.288                | 1       | 9             | 1.299          | 1.990                | 1       | 3             | 1.994          |
| A3   | 1.422                | 2       | 2             | 1.426          | 2.828                | 2       | 2             | 2.832          |
| B1   | 294                  | < 1     | < 1           | 294            | 1.443                | < 1     | 1             | 1.445          |
| B2   | 303                  | < 1     | < 1           | 303            | 1.265                | 1       | 1             | 1.266          |
| B3   | 303                  | < 1     | < 1           | 303            | 1.281                | 1       | 1             | 1.282          |
| C1   | 74                   | < 1     | 1             | 75             | 382                  | < 1     | 1             | 383            |
| C2   | 100                  | < 1     | 1             | 101            | 374                  | < 1     | < 1           | 375            |
| C3   | 80                   | 1       | 2             | 82             | 366                  | < 1     | < 1           | 366            |
| D1   | 102                  | < 1     | 1             | 103            | 435                  | < 1     | 1             | 437            |
| D2   | 150                  | < 1     | 1             | 151            | 436                  | 1       | 1             | 438            |
| D3   | 106                  | < 1     | 1             | 107            | 437                  | 1       | 2             | 440            |
| E1   | 28                   | < 1     | < 1           | 29             | 102                  | < 1     | 1             | 103            |
| E2   | 43                   | < 1     | < 1           | 43             | 116                  | < 1     | < 1           | 117            |
| E3   | 38                   | < 1     | < 1           | 39             | 94                   | < 1     | < 1           | 94             |
| F1   | 55                   | < 1     | 2             | 58             | 231                  | 1       | 2             | 233            |
| F2   | 337                  | 1       | 1             | 339            | 687                  | 1       | 1             | 689            |
| F3   | 332                  | < 1     | 1             | 333            | 690                  | 1       | 1             | 692            |
| G1   | 32                   | < 1     | 2             | 34             | 162                  | 1       | 1             | 163            |
| G2   | 465                  | < 1     | < 1           | 466            | 923                  | 1       | 1             | 925            |
| G3   | 482                  | 1       | < 1           | 483            | 254                  | 1       | 1             | 255            |
| H1   | 53                   | < 1     | 1             | 54             | 102                  | < 1     | 1             | 103            |
| H2   | 529                  | < 1     | 1             | 531            | 1.031                | < 1     | 2             | 1.034          |
| H3   | 116                  | < 1     | 2             | 118            | 199                  | < 1     | 1             | 201            |
| I1   | 309                  | < 1     | 1             | 310            | 698                  | < 1     | 1             | 699            |
| I2   | 284                  | < 1     | < 1           | 284            | 600                  | < 1     | < 1           | 600            |
| I3   | 245                  | 1       | 2             | 248            | 538                  | < 1     | 1             | 539            |
| J1   | 731                  | 1       | 4             | 736            | 1.170                | 2       | 3             | 1.176          |
| J2   | 866                  | 1       | 3             | 871            | 1.377                | 1       | 1             | 1.378          |

| Conj | Parâmetros modelo | Resíduo | Cod. Arit. | Tempo total | Parâmetros modelo | Resíduo | Cod. Arit. | Tempo total |
|------|-------------------|---------|------------|-------------|-------------------|---------|------------|-------------|
| J3   | 419               | 1       | 3          | 424         | 1.402             | < 1     | 1          | 1.403       |
| K1   | 210               | < 1     | 1          | 211         | 524               | 1       | 2          | 527         |
| K2   | 220               | 1       | 2          | 223         | 226               | < 1     | 2          | 228         |
| K3   | 140               | < 1     | 1          | 141         | 382               | < 1     | 1          | 383         |
| L1   | 1.345             | < 1     | 1          | 1.347       | 2.406             | 1       | 1          | 2.408       |
| L2   | 1.293             | 1       | 2          | 1.296       | 1.972             | 2       | 4          | 1.978       |
| L3   | 1.346             | < 1     | 2          | 1.349       | 2.419             | 2       | 1          | 2.422       |
| L4   | 1.242             | 1       | 4          | 1.248       | 2.256             | 1       | 1          | 2.258       |
| L5   | 1.907             | 1       | 6          | 1.914       | 2.664             | 1       | 1          | 2.666       |
| L6   | 498               | < 1     | 2          | 501         | 1.030             | 1       | 1          | 1.032       |

**Tempo relativo de execução da predição dos parâmetros dos modelos no tempo total de execução do algoritmo na Metodologia III**

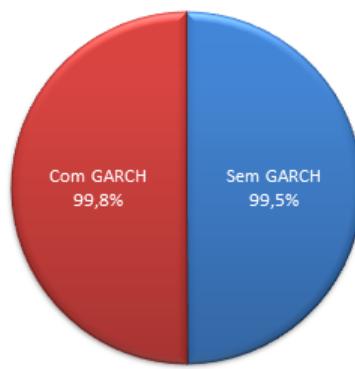


Figura 6.46: Gráfico com comparativo do tempo total relativo de cálculo dos parâmetros dos modelos sem e com GARCH na Metodologia III

Tabela 6.18: Autocorrelação do dado original e dos resíduos gerados sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia III

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| A1       | 6                      | 0                        | 0                        |
| A2       | 5                      | 0                        | 0                        |
| A3       | 6                      | 0                        | 0                        |
| B1       | 6                      | 6                        | 5                        |
| B2       | 6                      | 6                        | 5                        |
| B3       | 6                      | 6                        | 5                        |
| C1       | 2                      | 0                        | 5                        |
| C2       | 1                      | 0                        | 6                        |
| C3       | 2                      | 0                        | 6                        |
| D1       | 2                      | 1                        | 4                        |
| D2       | 2                      | 0                        | 4                        |
| D3       | 2                      | 4                        | 5                        |
| E1       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E2       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E3       | 4                      | 0                        | 0                        |
| F1       | 1                      | 1                        | 1                        |
| F2       | 6                      | 0                        | 0                        |
| F3       | 6                      | 1                        | 3                        |
| G1       | 1                      | 1                        | 1                        |
| G2       | 2                      | 0                        | 0                        |
| G3       | 6                      | 6                        | 3                        |
| H1       | 1                      | 0                        | 0                        |
| H2       | 1                      | 0                        | 0                        |
| H3       | 1                      | 0                        | 0                        |
| I1       | 7                      | 0                        | 0                        |
| I2       | 1                      | 0                        | 1                        |
| I3       | 1                      | 0                        | 0                        |
| J1       | 3                      | 1                        | 1                        |
| J2       | 3                      | 1                        | 1                        |
| J3       | 8                      | 1                        | 8                        |
| K1       | 3                      | 0                        | 0                        |
| K2       | 3                      | 0                        | 1                        |
| K3       | 2                      | 0                        | 1                        |

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| L1       | 2                      | 0                        | 9                        |
| L2       | 7                      | 0                        | 1                        |
| L3       | 11                     | 0                        | 10                       |
| L4       | 7                      | 0                        | 13                       |
| L5       | 7                      | 0                        | 0                        |
| L6       | 6                      | 0                        | 4                        |

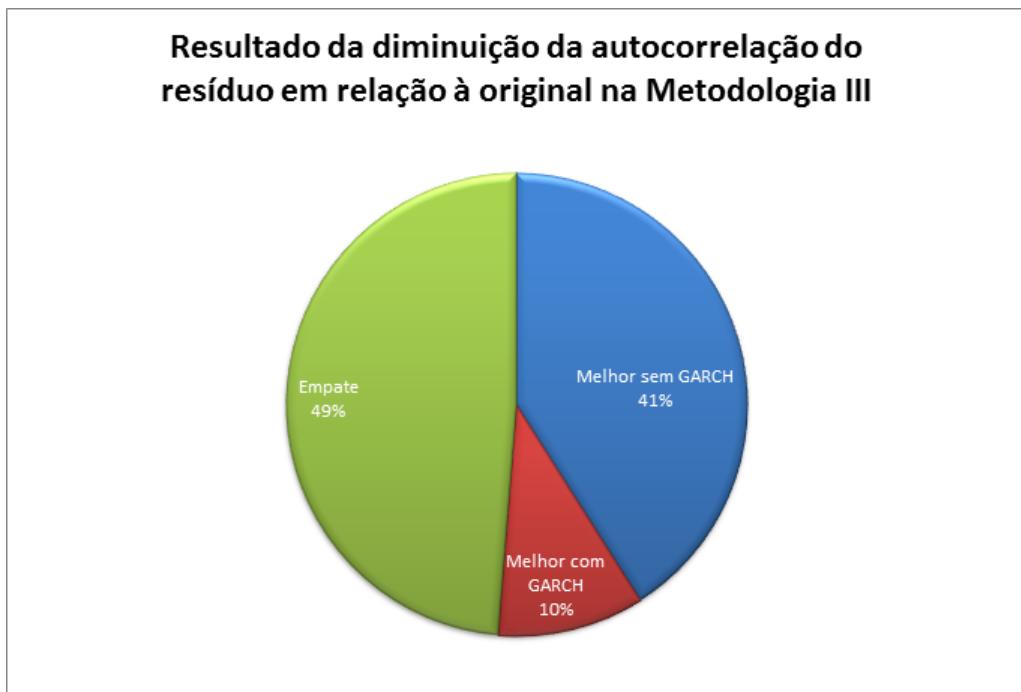


Figura 6.47: Gráfico com comparativo da redução relativa total da autocorrelação do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia III

Tabela 6.19: Média e variância do dado original comparadas às do resíduo calculado sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia III

| Conjunto | Média Original | Var. Original | Média Sem GARCH | Var. Sem GARCH | Média Com GARCH | Var. Com GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| A1       | 3,0E+04        | 1,8E+07       | -15,0           | 2,7E+05        | 1,8             | 2,4E+05        |
| A2       | 3,2E+04        | 1,1E+07       | -4,0            | 2,2E+05        | -6,9            | 2,3E+05        |
| A3       | 3,1E+04        | 1,4E+07       | -49,7           | 2,6E+05        | 0,9             | 2,5E+05        |
| B1       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 2,8E+04         | 4,5E+05        | 5,1             | 9,8E+04        |
| B2       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 2,8E+04         | 4,5E+05        | 5,1             | 9,8E+04        |
| B3       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 2,8E+04         | 4,5E+05        | 5,1             | 9,8E+04        |
| C1       | 3,3E+04        | 8,1E+07       | 30,3            | 1,3E+07        | -3,2            | 2,7E+07        |
| C2       | 3,3E+04        | 4,0E+07       | 175,8           | 8,8E+06        | 6,8             | 5,7E+07        |
| C3       | 3,3E+04        | 5,7E+07       | 111,0           | 6,8E+06        | -0,3            | 2,3E+07        |
| D1       | 3,7E+04        | 4,1E+07       | 0,4             | 1,1E+06        | 0,3             | 1,7E+06        |
| D2       | 3,3E+04        | 1,2E+07       | 0,5             | 8,3E+05        | -2,3            | 2,6E+06        |
| D3       | 3,1E+04        | 1,0E+07       | -0,1            | 2,7E+05        | 0,1             | 5,8E+05        |
| E1       | 2,9E+04        | 5,8E+07       | 3,2             | 9,6E+06        | 66,8            | 9,6E+06        |
| E2       | 3,0E+04        | 5,8E+07       | 2,0             | 1,0E+07        | 146,1           | 1,0E+07        |
| E3       | 3,0E+04        | 6,0E+07       | 5,3             | 1,0E+07        | 97,5            | 1,0E+07        |
| F1       | 3,8E+04        | 3,9E+07       | 0,5             | 6,9E+06        | 13,6            | 7,6E+06        |
| F2       | 2,3E+04        | 5,4E+06       | -0,3            | 1,6E+05        | 3,7             | 1,7E+05        |
| F3       | 2,6E+04        | 6,0E+06       | -2,6            | 5,6E+04        | -11,5           | 1,0E+05        |
| G1       | 3,3E+04        | 3,3E+07       | 0,8             | 4,5E+06        | -6,1            | 5,0E+06        |
| G2       | 3,8E+04        | 1,9E+07       | 0,3             | 1,3E+04        | 0,0             | 1,3E+04        |
| G3       | 2,9E+04        | 3,6E+07       | 2,9E+04         | 3,6E+07        | 0,0             | 4,8E+05        |
| H1       | 3,1E+04        | 3,6E+07       | 1,2             | 3,5E+07        | 15,1            | 3,5E+07        |
| H2       | 3,4E+04        | 8,1E+06       | 0,1             | 3,0E+06        | -1,6            | 3,1E+06        |
| H3       | 3,2E+04        | 7,3E+06       | 0,5             | 3,5E+06        | 8,9             | 3,5E+06        |
| I1       | 3,6E+04        | 1,2E+07       | 0,3             | 5,1E+05        | 18,3            | 5,3E+05        |
| I2       | 2,9E+04        | 1,2E+06       | 2,9E+04         | 1,2E+06        | 2,9E+04         | 1,2E+06        |
| I3       | 3,1E+04        | 3,3E+07       | -26,0           | 1,7E+06        | -11,6           | 1,7E+06        |
| J1       | 3,7E+04        | 1,2E+06       | -1,3            | 9,0E+03        | -2,1            | 9,2E+03        |
| J2       | 3,5E+04        | 1,5E+06       | -5,0            | 9,9E+03        | -0,5            | 1,1E+04        |
| J3       | 3,3E+04        | 1,3E+06       | 3,3E+04         | 1,3E+06        | 3,3E+04         | 1,3E+06        |
| K1       | 3,9E+04        | 6,9E+06       | -0,8            | 1,9E+05        | 15,6            | 1,8E+05        |
| K2       | 4,0E+04        | 6,7E+06       | 8,8             | 1,8E+05        | -7,1            | 2,0E+05        |

| Conjunto | Média<br>Orig. | Var.<br>Orig. | Média<br>Sem<br>GARCH | Var.<br>Sem<br>GARCH | Média<br>Com<br>GARCH | Var.<br>Com<br>GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| K3       | 3,6E+04        | 5,8E+06       | -0,5                  | 1,9E+05              | 3,9                   | 1,8E+05              |
| L1       | 3,4E+04        | 2,9E+07       | -2,4                  | 1,8E+06              | 1,3                   | 3,0E+06              |
| L2       | 3,1E+04        | 1,5E+07       | -6,4                  | 3,5E+06              | -7,2                  | 4,0E+06              |
| L3       | 3,5E+04        | 1,3E+07       | -3,0                  | 4,2E+06              | 2,2                   | 5,5E+06              |
| L4       | 3,7E+04        | 1,8E+07       | 5,6                   | 2,4E+06              | 10,7                  | 7,1E+06              |
| L5       | 3,1E+04        | 5,1E+07       | 5,7                   | 9,6E+05              | -4,8                  | 9,6E+05              |
| L6       | 3,2E+04        | 2,6E+07       | 0,6                   | 8,5E+05              | -3,7                  | 1,0E+06              |



Figura 6.48: Gráfico com comparativo da redução relativa total da variância do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia III

#### 6.2.4 Metodologia IV

Na Metodologia IV, tanto o valor do parâmetro autoregressivo ( $p$ , na equação 4.5) quanto o de médias móveis ( $q$ , na equação 4.5) foi testado sempre com o valor 1 (um). Cada conjunto foi testado duas vezes, uma com e a outra sem a utilização do modelo GARCH(1, 1).

Para a descompressão, serão necessários os seguintes itens:

1. **Valor de ARCH:** 32 bits indicando  $\bar{\alpha}$  na equação 4.7.
2. **Valor de GARCH:** 32 bits indicando  $\bar{\beta}$  na equação 4.7.
3. **Parâmetros AR calculados:**  $p \times 32$  bits indicando os parâmetros AR calculados ( $\alpha_1, \dots, p$ , na equação 4.5).
4. **Parâmetros MA calculados:**  $q \times 32$  bits indicando os parâmetros MA calculados ( $\beta_1, \dots, p$ , na equação 4.5).
5. **Parâmetros ARCH calculados:**  $\bar{\alpha} \times 32$  bits indicando os parâmetros ARCH calculados ( $\sigma_1, \dots, \bar{p}$ , na equação 4.7).
6. **Parâmetros GARCH calculados:**  $\bar{\beta} \times 32$  bits indicando os parâmetros GARCH calculados ( $h_1, \dots, \bar{q}$ , na equação 4.7).
7. **Resíduo do modelo:** o conjunto de resíduos do modelo, comprimido com a codificação aritmética. Tamanho variável, dependendo do resíduo calculado.

Portanto, o tamanho mínimo do arquivo comprimido dá-se pela equação 6.7. Já o tamanho final do arquivo comprimido é descrito pela equação 6.8, onde  $TRC_{met4}$  é o tamanho do resíduo comprimido.

$$TM_{met4} = 2 \times 32 + 32 \times p + 32 \times q + 32 \times \bar{\alpha} + 32 \times \bar{\beta} \text{ bits} \quad (6.7)$$

$$TF_{met4} = TM_{met4} + TRC_{met4} \text{ bits} \quad (6.8)$$

#### 6.2.4.1 Métricas obtidas

Tabela 6.20: Comparativo de quantidade de experimentos cujas soluções convergiram com e sem a utilização do GARCH na metodologia IV

| Cenário   | Total experimentos | Convergiram | Não convergiram | % sucesso |
|-----------|--------------------|-------------|-----------------|-----------|
| Sem GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |
| Com GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |

Tabela 6.21: Razão de compressão dos experimentos sem e com GARCH na Metodologia IV. Valores em bytes.

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| A1       | 1152000          | 824682                       | 826138                       | 1,40                       | 1,39                       |
| A2       | 1152000          | 836006                       | 836054                       | 1,38                       | 1,38                       |
| A3       | 1152000          | 809436                       | 809536                       | 1,42                       | 1,42                       |
| B1       | 518592           | 294565                       | 265315                       | 1,76                       | 1,95                       |
| B2       | 518592           | 294565                       | 265315                       | 1,76                       | 1,95                       |
| B3       | 518592           | 294565                       | 265315                       | 1,76                       | 1,95                       |
| C1       | 288192           | 266474                       | 261648                       | 1,08                       | 1,10                       |
| C2       | 288192           | 246798                       | 258406                       | 1,17                       | 1,12                       |

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| C3       | 288192           | 252161                       | 249776                       | 1,14                       | 1,15                       |
| D1       | 331200           | 265075                       | 264450                       | 1,25                       | 1,25                       |
| D2       | 331200           | 267761                       | 266333                       | 1,24                       | 1,24                       |
| D3       | 331200           | 254258                       | 275611                       | 1,30                       | 1,20                       |
| E1       | 33792            | 31976                        | 31997                        | 1,06                       | 1,06                       |
| E2       | 33792            | 32201                        | 32243                        | 1,05                       | 1,05                       |
| E3       | 33792            | 32433                        | 32469                        | 1,04                       | 1,04                       |
| F1       | 220992           | 184756                       | 182761                       | 1,20                       | 1,21                       |
| F2       | 220992           | 140480                       | 138572                       | 1,57                       | 1,59                       |
| F3       | 220992           | 153521                       | 152466                       | 1,44                       | 1,45                       |
| G1       | 139392           | 116858                       | 116754                       | 1,19                       | 1,19                       |
| G2       | 139392           | 114014                       | 114047                       | 1,22                       | 1,22                       |
| G3       | 139392           | 117945                       | 117971                       | 1,18                       | 1,18                       |
| H1       | 360192           | 330174                       | 330445                       | 1,09                       | 1,09                       |
| H2       | 360192           | 296669                       | 297548                       | 1,21                       | 1,21                       |
| H3       | 360192           | 304109                       | 302680                       | 1,18                       | 1,19                       |
| I1       | 221184           | 176451                       | 174296                       | 1,25                       | 1,27                       |
| I2       | 221184           | 135856                       | 140827                       | 1,63                       | 1,57                       |
| I3       | 221184           | 181087                       | 181547                       | 1,22                       | 1,22                       |
| J1       | 591936           | 388594                       | 387020                       | 1,52                       | 1,53                       |
| J2       | 591936           | 388612                       | 387376                       | 1,52                       | 1,53                       |
| J3       | 591936           | 396775                       | 390003                       | 1,49                       | 1,52                       |
| K1       | 288000           | 201247                       | 202148                       | 1,43                       | 1,42                       |
| K2       | 288000           | 200084                       | 202906                       | 1,44                       | 1,42                       |
| K3       | 288000           | 202301                       | 198598                       | 1,42                       | 1,45                       |
| L1       | 480192           | 408360                       | 405024                       | 1,18                       | 1,19                       |
| L2       | 480192           | 386571                       | 407838                       | 1,24                       | 1,18                       |
| L3       | 480192           | 425706                       | 422955                       | 1,13                       | 1,14                       |
| L4       | 480192           | 412103                       | 395322                       | 1,17                       | 1,21                       |
| L5       | 480192           | 382912                       | 382831                       | 1,25                       | 1,25                       |
| L6       | 480192           | 377472                       | 375675                       | 1,27                       | 1,28                       |

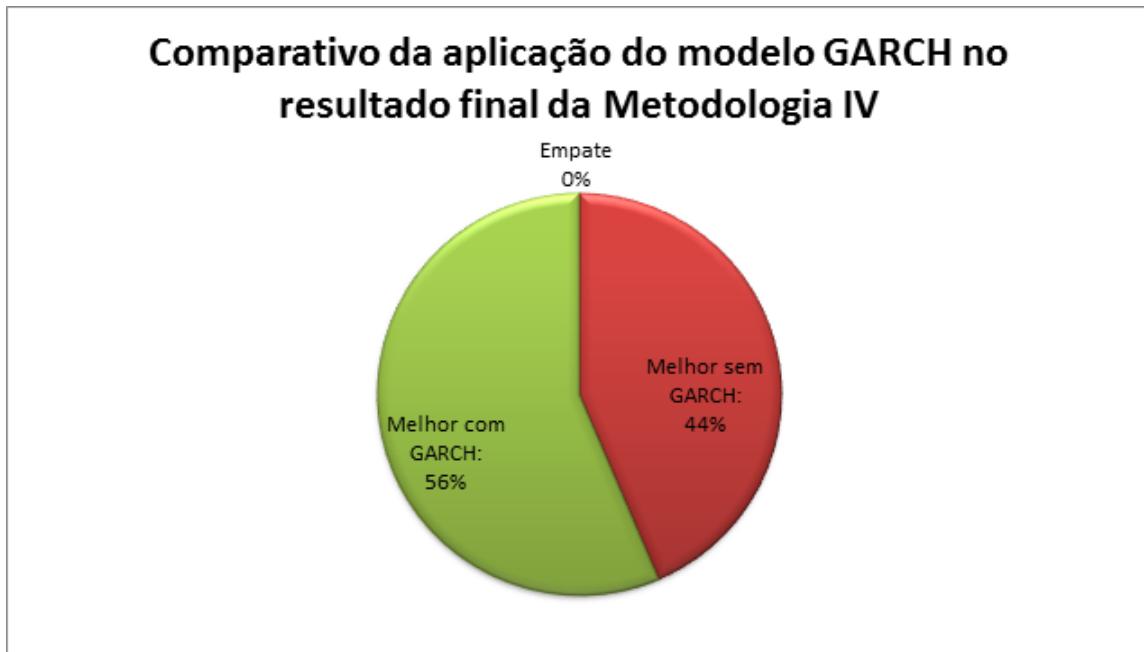


Figura 6.49: Gráfico com comparativo da razão de compressão na Metodologia IV

Tabela 6.22: Evolução da entropia do dado original e do resíduo calculado na metodologia IV

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| A1       | 11,30            | 11,26                        | 11,26                        |
| A2       | 11,30            | 10,77                        | 10,77                        |
| A3       | 11,27            | 10,98                        | 10,98                        |
| B1       | 7,64             | 5,41                         | 4,81                         |
| B2       | 7,64             | 5,41                         | 4,81                         |
| B3       | 7,64             | 5,41                         | 4,81                         |
| C1       | 12,34            | 12,34                        | 12,34                        |
| C2       | 13,18            | 12,65                        | 12,60                        |
| C3       | 13,17            | 12,77                        | 12,77                        |
| D1       | 9,48             | 9,48                         | 9,48                         |
| D2       | 12,38            | 11,66                        | 11,56                        |
| D3       | 6,45             | 6,45                         | 6,45                         |
| E1       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| E2       | 10,78            | 10,78                        | 10,78                        |
| E3       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| F1       | 10,20            | 10,20                        | 10,20                        |
| F2       | 8,20             | 7,95                         | 7,60                         |
| F3       | 9,27             | 9,27                         | 8,78                         |
| G1       | 12,03            | 11,96                        | 11,91                        |
| G2       | 11,79            | 11,47                        | 11,47                        |
| G3       | 12,06            | 12,01                        | 12,01                        |
| H1       | 8,44             | 8,44                         | 8,44                         |
| H2       | 12,29            | 12,10                        | 12,09                        |
| H3       | 12,33            | 12,07                        | 12,05                        |
| I1       | 8,14             | 8,14                         | 8,00                         |
| I2       | 9,59             | 8,17                         | 8,11                         |
| I3       | 8,15             | 8,15                         | 8,13                         |
| J1       | 8,50             | 7,91                         | 7,24                         |
| J2       | 8,52             | 7,98                         | 7,34                         |
| J3       | 8,53             | 7,57                         | 7,49                         |
| K1       | 10,94            | 10,03                        | 9,95                         |
| K2       | 10,89            | 10,01                        | 9,91                         |
| K3       | 10,87            | 10,01                        | 9,91                         |

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| L1       | 11,27            | 11,27                        | 11,27                        |
| L2       | 11,08            | 11,08                        | 11,08                        |
| L3       | 11,31            | 11,31                        | 11,31                        |
| L4       | 12,80            | 12,31                        | 11,92                        |
| L5       | 10,67            | 10,67                        | 10,67                        |
| L6       | 11,58            | 11,58                        | 11,58                        |

### Evolução de entropia geral na Metodologia IV

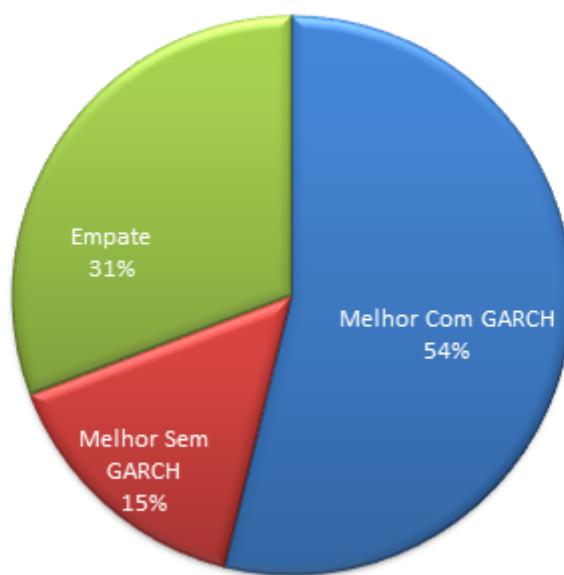


Figura 6.50: Gráfico com comparativo da evolução da entropia na Metodologia IV

Tabela 6.23: Tempo de execução (em segundos) dos algoritmos sem e com GARCH na metodologia IV. Primeiro é exibido o tempo de execução sem a utilização do modelo GARCH, depois com o modelo. Parâmetros modelo se refere ao tempo gasto pelo algoritmo para o cálculo dos parâmetros do modelo, Resíduo refere-se ao tempo gasto pelo modelo para calcular o resíduo do modelo, Cod. Arit. refere-se ao tempo gasto pela codificação aritmética para comprimir o resíduo.

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| A1   | 110                  | < 1     | 3             | 113            | 342                  | 1       | 3             | 346            |
| A2   | 298                  | 1       | 3             | 302            | 528                  | 1       | 2             | 531            |
| A3   | 638                  | 2       | 14            | 654            | 1.221                | 1       | 7             | 1.229          |
| B1   | 199                  | 1       | 3             | 203            | 586                  | 2       | 3             | 591            |
| B2   | 185                  | 1       | 1             | 187            | 450                  | < 1     | < 1           | 451            |
| B3   | 180                  | 1       | 2             | 183            | 396                  | 1       | 2             | 399            |
| C1   | 93                   | 1       | 4             | 97             | 319                  | 1       | 3             | 323            |
| C2   | 57                   | < 1     | 1             | 58             | 422                  | 2       | 3             | 427            |
| C3   | 57                   | < 1     | 1             | 59             | 188                  | 1       | 2             | 190            |
| D1   | 68                   | 1       | 4             | 73             | 395                  | 1       | 4             | 400            |
| D2   | 130                  | < 1     | 1             | 131            | 326                  | < 1     | 1             | 328            |
| D3   | 131                  | 1       | 2             | 134            | 345                  | < 1     | 2             | 347            |
| E1   | 8                    | < 1     | < 1           | 9              | 48                   | < 1     | < 1           | 49             |
| E2   | 16                   | < 1     | 1             | 17             | 65                   | < 1     | < 1           | 66             |
| E3   | 12                   | < 1     | < 1           | 12             | 36                   | < 1     | < 1           | 37             |
| F1   | 79                   | < 1     | 2             | 81             | 270                  | < 1     | 1             | 271            |
| F2   | 88                   | < 1     | 1             | 90             | 241                  | < 1     | < 1           | 242            |
| F3   | 85                   | < 1     | 2             | 87             | 250                  | < 1     | < 1           | 251            |
| G1   | 31                   | < 1     | < 1           | 32             | 176                  | < 1     | 1             | 177            |
| G2   | 30                   | < 1     | 2             | 33             | 178                  | 1       | 2             | 180            |
| G3   | 62                   | < 1     | 1             | 62             | 188                  | < 1     | 1             | 188            |
| H1   | 53                   | < 1     | 1             | 54             | 137                  | < 1     | 4             | 141            |
| H2   | 62                   | < 1     | 1             | 64             | 203                  | < 1     | 1             | 204            |
| H3   | 121                  | < 1     | 1             | 122            | 204                  | < 1     | 3             | 207            |
| I1   | 38                   | < 1     | 2             | 40             | 224                  | < 1     | 1             | 225            |
| I2   | 115                  | < 1     | < 1           | 116            | 249                  | 1       | 1             | 251            |
| I3   | 30                   | < 1     | 1             | 30             | 90                   | < 1     | 1             | 91             |
| J1   | 220                  | < 1     | 1             | 221            | 561                  | 1       | 1             | 562            |
| J2   | 478                  | 1       | 3             | 483            | 1.069                | 1       | 1             | 1.070          |

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| J3   | 167                  | 1       | 1             | 169            | 758                  | 2       | 4             | 764            |
| K1   | 204                  | 1       | 3             | 207            | 462                  | 2       | 3             | 467            |
| K2   | 228                  | 1       | 3             | 232            | 659                  | < 1     | 2             | 662            |
| K3   | 130                  | < 1     | 1             | 131            | 435                  | 1       | 3             | 439            |
| L1   | 182                  | 1       | 7             | 191            | 575                  | 2       | 4             | 580            |
| L2   | 163                  | < 1     | 5             | 168            | 895                  | 2       | 6             | 903            |
| L3   | 72                   | 1       | 4             | 77             | 343                  | 2       | 4             | 349            |
| L4   | 37                   | < 1     | 2             | 38             | 442                  | 1       | 1             | 444            |
| L5   | 72                   | 1       | 2             | 75             | 208                  | 1       | 2             | 210            |
| L6   | 110                  | < 1     | 2             | 112            | 282                  | < 1     | 1             | 284            |

**Tempo relativo de execução da predição dos  
parâmetros dos modelos no tempo total de execução  
do algoritmo na Metodologia IV**

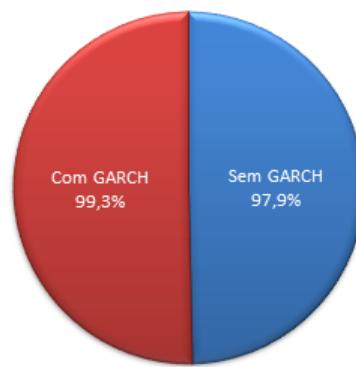


Figura 6.51: Gráfico com comparativo do tempo total relativo de cálculo dos parâmetros dos modelos sem e com GARCH na Metodologia IV

Tabela 6.24: Autocorrelação do dado original e dos resíduos gerados sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia IV

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| A1       | 6                      | 3                        | 3                        |
| A2       | 5                      | 4                        | 4                        |
| A3       | 6                      | 3                        | 3                        |
| B1       | 6                      | 4                        | 4                        |
| B2       | 6                      | 4                        | 4                        |
| B3       | 6                      | 4                        | 4                        |
| C1       | 2                      | 1                        | 0                        |
| C2       | 1                      | 0                        | 0                        |
| C3       | 2                      | 1                        | 0                        |
| D1       | 2                      | 1                        | 1                        |
| D2       | 2                      | 1                        | 4                        |
| D3       | 2                      | 3                        | 1                        |
| E1       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E2       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E3       | 4                      | 0                        | 0                        |
| F1       | 1                      | 1                        | 1                        |
| F2       | 6                      | 1                        | 1                        |
| F3       | 6                      | 1                        | 1                        |
| G1       | 1                      | 1                        | 1                        |
| G2       | 2                      | 1                        | 1                        |
| G3       | 6                      | 1                        | 1                        |
| H1       | 1                      | 0                        | 0                        |
| H2       | 1                      | 0                        | 0                        |
| H3       | 1                      | 0                        | 0                        |
| I1       | 7                      | 1                        | 1                        |
| I2       | 1                      | 1                        | 1                        |
| I3       | 1                      | 1                        | 1                        |
| J1       | 3                      | 7                        | 7                        |
| J2       | 3                      | 7                        | 7                        |
| J3       | 8                      | 7                        | 7                        |
| K1       | 3                      | 1                        | 1                        |
| K2       | 3                      | 1                        | 1                        |
| K3       | 2                      | 1                        | 1                        |

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| L1       | 2                      | 1                        | 5                        |
| L2       | 7                      | 0                        | 2                        |
| L3       | 11                     | 0                        | 1                        |
| L4       | 7                      | 0                        | 1                        |
| L5       | 7                      | 0                        | 0                        |
| L6       | 6                      | 0                        | 0                        |

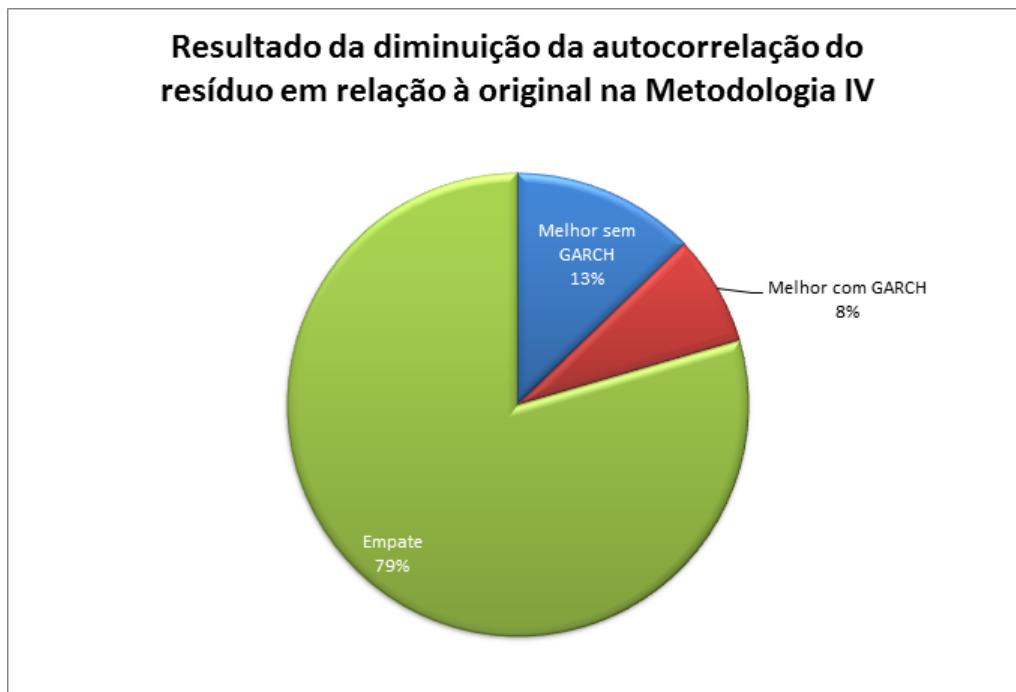


Figura 6.52: Gráfico com comparativo da redução relativa total da autocorrelação do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia IV

Tabela 6.25: Média e variância do dado original comparadas às do resíduo calculado sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia IV

| Conjunto | Média Original | Var. Original | Média Sem GARCH | Var. Sem GARCH | Média Com GARCH | Var. Com GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| A1       | 3,0E+04        | 1,8E+07       | 0,5             | 4,9E+05        | -1,1            | 4,9E+05        |
| A2       | 3,2E+04        | 1,1E+07       | 0,5             | 3,5E+05        | -1,6            | 3,5E+05        |
| A3       | 3,1E+04        | 1,4E+07       | 0,5             | 4,1E+05        | -1,4            | 4,1E+05        |
| B1       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,4             | 6,4E+03        | 0,6             | 6,8E+03        |
| B2       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,4             | 6,4E+03        | 0,6             | 6,8E+03        |
| B3       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,4             | 6,4E+03        | 0,6             | 6,8E+03        |
| C1       | 3,3E+04        | 8,1E+07       | 0,5             | 1,7E+07        | -18,7           | 1,8E+07        |
| C2       | 3,3E+04        | 4,0E+07       | 0,5             | 1,1E+07        | 2,9             | 1,2E+07        |
| C3       | 3,3E+04        | 5,7E+07       | 0,5             | 1,0E+07        | -26,4           | 1,0E+07        |
| D1       | 3,7E+04        | 4,1E+07       | 0,4             | 4,8E+06        | 1,8             | 5,2E+06        |
| D2       | 3,3E+04        | 1,2E+07       | 0,5             | 1,8E+06        | -1,5            | 1,9E+06        |
| D3       | 3,1E+04        | 1,0E+07       | 0,5             | 1,3E+06        | 5,2             | 5,5E+06        |
| E1       | 2,9E+04        | 5,8E+07       | -5,2            | 2,8E+07        | -23,6           | 2,8E+07        |
| E2       | 3,0E+04        | 5,8E+07       | -5,3            | 2,9E+07        | -17,1           | 2,9E+07        |
| E3       | 3,0E+04        | 6,0E+07       | -7,5            | 3,0E+07        | -52,8           | 3,0E+07        |
| F1       | 3,8E+04        | 3,9E+07       | 0,5             | 6,9E+06        | 13,6            | 7,6E+06        |
| F2       | 2,3E+04        | 5,4E+06       | 0,5             | 6,9E+05        | 1,1             | 7,9E+05        |
| F3       | 2,6E+04        | 6,0E+06       | 0,5             | 6,7E+05        | -3,4            | 8,9E+05        |
| G1       | 3,3E+04        | 3,3E+07       | 0,8             | 4,5E+06        | -6,1            | 5,0E+06        |
| G2       | 3,8E+04        | 1,9E+07       | 1,1             | 2,1E+06        | -10,4           | 2,1E+06        |
| G3       | 2,9E+04        | 3,6E+07       | 0,8             | 4,4E+06        | -95,1           | 4,6E+06        |
| H1       | 3,1E+04        | 3,6E+07       | 1,2             | 3,5E+07        | 15,1            | 3,5E+07        |
| H2       | 3,4E+04        | 8,1E+06       | 0,5             | 4,3E+06        | -9,0            | 4,4E+06        |
| H3       | 3,2E+04        | 7,3E+06       | 0,5             | 3,5E+06        | 8,9             | 3,5E+06        |
| I1       | 3,6E+04        | 1,2E+07       | 0,7             | 1,6E+06        | 8,6             | 1,9E+06        |
| I2       | 2,9E+04        | 1,2E+06       | 2,5             | 2,0E+05        | 0,7             | 2,1E+05        |
| I3       | 3,1E+04        | 3,3E+07       | 0,3             | 6,9E+06        | 1,9             | 7,2E+06        |
| J1       | 3,7E+04        | 1,2E+06       | 0,0             | 3,5E+05        | 0,4             | 4,1E+05        |
| J2       | 3,5E+04        | 1,5E+06       | 35,4            | 9,9E+05        | -0,1            | 5,0E+05        |
| J3       | 3,3E+04        | 1,3E+06       | 0,6             | 3,7E+05        | -36,2           | 3,9E+05        |
| K1       | 3,9E+04        | 6,9E+06       | -0,2            | 5,6E+05        | 0,6             | 6,4E+05        |
| K2       | 4,0E+04        | 6,7E+06       | -0,6            | 5,4E+05        | -1,6            | 6,1E+05        |

| Conjunto | Média<br>Orig. | Var.<br>Orig. | Média<br>Sem<br>GARCH | Var.<br>Sem<br>GARCH | Média<br>Com<br>GARCH | Var.<br>Com<br>GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| K3       | 3,6E+04        | 5,8E+06       | 0,1                   | 5,3E+05              | 0,5                   | 6,0E+05              |
| L1       | 3,4E+04        | 2,9E+07       | 2,1                   | 4,9E+06              | -9,8                  | 5,2E+06              |
| L2       | 3,1E+04        | 1,5E+07       | -5,2                  | 4,2E+06              | 0,5                   | 4,7E+06              |
| L3       | 3,5E+04        | 1,3E+07       | 5,5                   | 7,6E+06              | 52,2                  | 7,6E+06              |
| L4       | 3,7E+04        | 1,8E+07       | 0,5                   | 4,8E+06              | 6,4                   | 6,1E+06              |
| L5       | 3,1E+04        | 5,1E+07       | 0,9                   | 1,5E+06              | 2,4                   | 1,5E+06              |
| L6       | 3,2E+04        | 2,6E+07       | 1,1                   | 1,1E+06              | 0,3                   | 1,1E+06              |



Figura 6.53: Gráfico com comparativo da redução relativa total da variância do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia IV

### 6.2.5 Metodologia V

Na Metodologia V, o valor do parâmetro autoregressivo ( $p$ , na equação 4.5) foi testado sempre com o valor 1 (um), já o de médias móveis ( $q$ , na equação 4.5) com o valor zero, novamente reduzindo o modelo a um autoregressivo.

A solução proposta em (IVES; MAGOTRA; STEARNS, 2002) em que o resíduo, quando ainda correlacionado, é novamente dado como entrada para o cálculo de um novo modelo foi adotada nessa metodologia. Esse processo é repetido até que se gere um resíduo descorrelacionado. Neste trabalho, o número limite tentativas para descorrelacionar o resíduo é de cinco. Portanto, podem-se gerar, no máximo, seis modelos. Cada conjunto foi testado duas vezes, uma com e a outra sem a utilização do modelo GARCH(1, 1).

Para a descompressão, serão necessários os seguintes itens:

1.  $QMod_{Met5}$ : 32 bits indicando quantos modelos foram calculados.
2. **Valor de ARCH**:  $QMod_{Met5} \times 32$  bits indicando  $\bar{\alpha}$  na equação 4.7.
3. **Valor de GARCH**:  $QMod_{Met5} \times 32$  bits indicando  $\bar{\beta}$  na equação 4.7.
4. **Parâmetros AR calculados**:  $QMod_{Met5} \times 32$  bits indicando os parâmetros AR calculados ( $\alpha_1, \dots, p$ , na equação 4.5).
5. **Parâmetros ARCH calculados**:  $QMod_{Met5} \times \bar{\alpha} \times 32$  bits indicando os parâmetros ARCH calculados ( $\sigma_1, \dots, \bar{p}$ , na equação 4.7).
6. **Parâmetros GARCH calculados**:  $QMod_{Met5} \times \bar{\beta} \times 32$  bits indicando os parâmetros GARCH calculados ( $h_1, \dots, \bar{q}$ , na equação 4.7).

**7. Resíduo do modelo:**  $QMod_{Met5}$  conjuntos de resíduos dos modelos calculados e comprimidos com a codificação aritmética. Tamanho variável, dependendo do resíduo calculado.

Portanto, o tamanho mínimo do arquivo comprimido dá-se pela equação 6.9. Já o tamanho final do arquivo comprimido é descrito pela equação 6.10, onde  $TRC_{met5}$  é o tamanho do resíduo comprimido.

$$TM_{met5} = 4 \times 32 + 32 \times ARCH + 32 \times GARCH \text{ bits} \quad (6.9)$$

$$TF_{met5} = \sum_{QMod_{Met5}}^6 TM_{met5} + TRC_{met5} \text{ bits} \quad (6.10)$$

#### 6.2.5.1 Métricas obtidas

---

Tabela 6.26: Comparativo de quantidade de experimentos cujas soluções convergiram com e sem a utilização do GARCH na metodologia V

| Cenário   | Total experimentos | Convergiram | Não convergiram | % sucesso |
|-----------|--------------------|-------------|-----------------|-----------|
| Sem GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |
| Com GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |

Tabela 6.27: Razão de compressão dos experimentos sem e com GARCH na Metodologia V. Valores em bytes.

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| A1       | 1152000          | 883534                       | 818888                       | 1,30                       | 1,41                       |
| A2       | 1152000          | 813162                       | 814074                       | 1,42                       | 1,42                       |
| A3       | 1152000          | 860768                       | 862693                       | 1,34                       | 1,34                       |
| B1       | 518592           | 163583                       | 170287                       | 3,17                       | 3,05                       |
| B2       | 518592           | 163583                       | 170287                       | 3,17                       | 3,05                       |
| B3       | 518592           | 163583                       | 170287                       | 3,17                       | 3,05                       |
| C1       | 288192           | 267119                       | 266604                       | 1,08                       | 1,08                       |
| C2       | 288192           | 247944                       | 247128                       | 1,16                       | 1,17                       |
| C3       | 288192           | 256383                       | 256002                       | 1,12                       | 1,13                       |
| D1       | 331200           | 262320                       | 279005                       | 1,26                       | 1,19                       |
| D2       | 331200           | 261916                       | 253990                       | 1,26                       | 1,30                       |
| D3       | 331200           | 245806                       | 241938                       | 1,35                       | 1,37                       |
| E1       | 33792            | 34724                        | 35107                        | 0,97                       | 0,96                       |
| E2       | 33792            | 32954                        | 33342                        | 1,03                       | 1,01                       |
| E3       | 33792            | 33210                        | 33561                        | 1,02                       | 1,01                       |
| F1       | 220992           | 185723                       | 185004                       | 1,19                       | 1,19                       |
| F2       | 220992           | 141936                       | 142281                       | 1,56                       | 1,55                       |
| F3       | 220992           | 142703                       | 142400                       | 1,55                       | 1,55                       |
| G1       | 139392           | 108344                       | 108777                       | 1,29                       | 1,28                       |
| G2       | 139392           | 106722                       | 107108                       | 1,31                       | 1,30                       |
| G3       | 139392           | 106216                       | 106610                       | 1,31                       | 1,31                       |
| H1       | 360192           | 329901                       | 329972                       | 1,09                       | 1,09                       |
| H2       | 360192           | 295414                       | 297154                       | 1,22                       | 1,21                       |
| H3       | 360192           | 301449                       | 301247                       | 1,19                       | 1,20                       |
| I1       | 221184           | 173026                       | 159416                       | 1,28                       | 1,39                       |
| I2       | 221184           | 146069                       | 154376                       | 1,51                       | 1,43                       |
| I3       | 221184           | 180294                       | 181423                       | 1,23                       | 1,22                       |
| J1       | 591936           | 386963                       | 391050                       | 1,53                       | 1,51                       |
| J2       | 591936           | 389190                       | 386881                       | 1,52                       | 1,53                       |
| J3       | 591936           | 396836                       | 425112                       | 1,49                       | 1,39                       |
| K1       | 288000           | 210898                       | 213245                       | 1,37                       | 1,35                       |
| K2       | 288000           | 197087                       | 195566                       | 1,46                       | 1,47                       |

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| K3       | 288000           | 205224                       | 208172                       | 1,40                       | 1,38                       |
| L1       | 480192           | 409009                       | 409383                       | 1,17                       | 1,17                       |
| L2       | 480192           | 409129                       | 405765                       | 1,17                       | 1,18                       |
| L3       | 480192           | 423439                       | 421743                       | 1,13                       | 1,14                       |
| L4       | 480192           | 412053                       | 408178                       | 1,17                       | 1,18                       |
| L5       | 480192           | 377506                       | 376196                       | 1,27                       | 1,28                       |
| L6       | 480192           | 389897                       | 388676                       | 1,23                       | 1,24                       |

**Comparativo da aplicação do modelo GARCH no resultado final da Metodologia V**

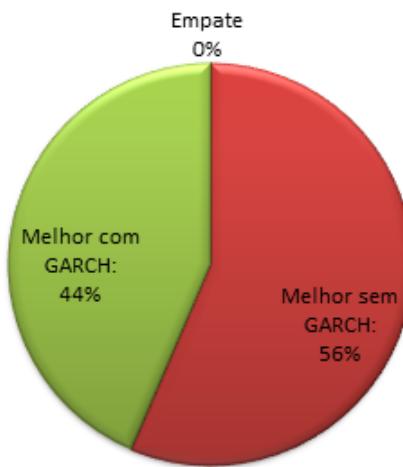


Figura 6.54: Gráfico com comparativo da razão de compressão na Metodologia V

Tabela 6.28: Evolução da entropia do dado original e do resíduo calculado na metodologia V

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| A1       | 11,16            | 11,16                        | 11,14                        |
| A2       | 10,66            | 10,66                        | 10,66                        |
| A3       | 10,79            | 10,79                        | 10,79                        |
| B1       | 3,30             | 3,30                         | 3,25                         |
| B2       | 3,30             | 3,30                         | 3,25                         |
| B3       | 3,30             | 3,30                         | 3,25                         |
| C1       | 12,09            | 12,08                        | 12,09                        |
| C2       | 12,61            | 12,61                        | 12,66                        |
| C3       | 12,68            | 12,68                        | 12,70                        |
| D1       | 9,19             | 9,11                         | 9,13                         |
| D2       | 11,22            | 11,15                        | 11,19                        |
| D3       | 6,08             | 6,05                         | 6,05                         |
| E1       | 10,92            | 10,92                        | 10,94                        |
| E2       | 10,94            | 10,93                        | 10,94                        |
| E3       | 10,96            | 10,94                        | 10,95                        |
| F1       | 9,76             | 9,69                         | 9,75                         |
| F2       | 7,38             | 7,36                         | 7,33                         |
| F3       | 8,30             | 8,21                         | 8,16                         |
| G1       | 10,91            | 10,61                        | 10,62                        |
| G2       | 10,71            | 10,51                        | 10,51                        |
| G3       | 11,19            | 10,97                        | 10,98                        |
| H1       | 8,44             | 8,44                         | 8,44                         |
| H2       | 12,08            | 12,08                        | 12,08                        |
| H3       | 12,05            | 12,05                        | 12,05                        |
| I1       | 7,67             | 7,67                         | 7,67                         |
| I2       | 7,12             | 6,96                         | 6,99                         |
| I3       | 7,88             | 7,87                         | 7,91                         |
| J1       | 7,38             | 7,31                         | 7,46                         |
| J2       | 7,46             | 7,38                         | 7,54                         |
| J3       | 7,42             | 7,34                         | 7,49                         |
| K1       | 10,17            | 10,17                        | 10,10                        |
| K2       | 10,14            | 10,14                        | 10,05                        |
| K3       | 10,14            | 10,13                        | 10,07                        |

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| L1       | 12,43            | 12,43                        | 12,46                        |
| L2       | 12,47            | 12,46                        | 12,48                        |
| L3       | 11,31            | 11,31                        | 11,31                        |
| L4       | 12,80            | 12,32                        | 12,25                        |
| L5       | 11,86            | 11,49                        | 11,50                        |
| L6       | 11,96            | 11,96                        | 11,95                        |

### Evolução de entropia geral na Metodologia V

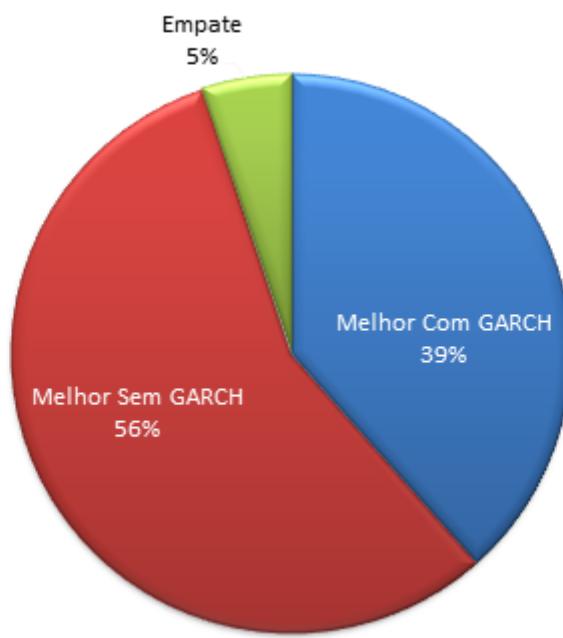


Figura 6.55: Gráfico com comparativo da evolução da entropia na Metodologia V

Tabela 6.29: Tempo de execução (em segundos) dos algoritmos sem e com GARCH na Metodologia V. Primeiro é exibido o tempo de execução sem a utilização do modelo GARCH, depois com o modelo. Parâmetros modelo se refere ao tempo gasto pelo algoritmo para o cálculo dos parâmetros do modelo, Resíduo refere-se ao tempo gasto pelo modelo para calcular o resíduo do modelo, Cod. Arit. refere-se ao tempo gasto pela codificação aritmética para comprimir o resíduo.

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| A1   | 101                  | 2       | 11            | 113            | 949                  | 4       | 17            | 970            |
| A2   | 372                  | 10      | 41            | 423            | 786                  | 4       | 13            | 803            |
| A3   | 132                  | 2       | 8             | 142            | 2.564                | 11      | 48            | 2.623          |
| B1   | 197                  | 1       | 3             | 201            | 852                  | 2       | 2             | 856            |
| B2   | 137                  | 1       | 3             | 141            | 892                  | 7       | 8             | 907            |
| B3   | 137                  | 1       | 3             | 141            | 898                  | 2       | 2             | 902            |
| C1   | 71                   | 1       | 5             | 77             | 172                  | 1       | 3             | 176            |
| C2   | 49                   | 3       | 14            | 66             | 167                  | 3       | 8             | 178            |
| C3   | 69                   | 4       | 10            | 82             | 195                  | 4       | 12            | 211            |
| D1   | 73                   | 1       | 4             | 78             | 297                  | 1       | 4             | 302            |
| D2   | 49                   | 1       | 4             | 54             | 780                  | 1       | 4             | 785            |
| D3   | 30                   | 1       | 3             | 34             | 273                  | 1       | 6             | 281            |
| E1   | 7                    | < 1     | 1             | 8              | 47                   | < 1     | 1             | 48             |
| E2   | 7                    | < 1     | 1             | 8              | 48                   | < 1     | 1             | 49             |
| E3   | 19                   | 1       | 2             | 22             | 31                   | < 1     | 1             | 32             |
| F1   | 26                   | 2       | 11            | 39             | 305                  | 1       | 3             | 309            |
| F2   | 45                   | 2       | 6             | 53             | 496                  | 3       | 6             | 505            |
| F3   | 56                   | 1       | 2             | 59             | 620                  | 3       | 5             | 629            |
| G1   | 14                   | < 1     | 2             | 17             | 279                  | 1       | 2             | 282            |
| G2   | 33                   | 2       | 8             | 42             | 189                  | 1       | 2             | 192            |
| G3   | 14                   | 1       | 2             | 17             | 432                  | 1       | 2             | 435            |
| H1   | 12                   | < 1     | 1             | 13             | 40                   | < 1     | 1             | 41             |
| H2   | 18                   | < 1     | 3             | 21             | 376                  | 2       | 18            | 395            |
| H3   | 23                   | 1       | 4             | 27             | 336                  | 1       | 5             | 343            |
| I1   | 47                   | 2       | 9             | 58             | 158                  | 1       | 3             | 161            |
| I2   | 29                   | 1       | 1             | 31             | 522                  | 1       | 2             | 525            |
| I3   | 18                   | 1       | 3             | 21             | 707                  | 1       | 3             | 711            |
| J1   | 51                   | 1       | 3             | 56             | 1.158                | 7       | 3             | 1.169          |
| J2   | 236                  | 6       | 12            | 255            | 1.324                | 2       | 3             | 1.329          |

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| J3   | 107                  | 1       | 4             | 112            | 2.363                | 10      | 12            | 2.385          |
| K1   | 28                   | 1       | 3             | 31             | 551                  | 1       | 3             | 555            |
| K2   | 24                   | 1       | 3             | 28             | 429                  | 1       | 3             | 433            |
| K3   | 26                   | 1       | 2             | 29             | 515                  | 1       | 2             | 518            |
| L1   | 44                   | 1       | 7             | 53             | 350                  | 2       | 7             | 359            |
| L2   | 93                   | 1       | 12            | 106            | 160                  | 1       | 2             | 163            |
| L3   | 8                    | < 1     | 1             | 9              | 141                  | < 1     | 1             | 142            |
| L4   | 9                    | < 1     | 1             | 10             | 152                  | < 1     | 1             | 153            |
| L5   | 25                   | < 1     | 2             | 28             | 383                  | 1       | 2             | 386            |
| L6   | 39                   | 1       | 4             | 44             | 110                  | 1       | 2             | 113            |

**Tempo relativo de execução da predição dos parâmetros dos modelos no tempo total de execução do algoritmo na Metodologia V**

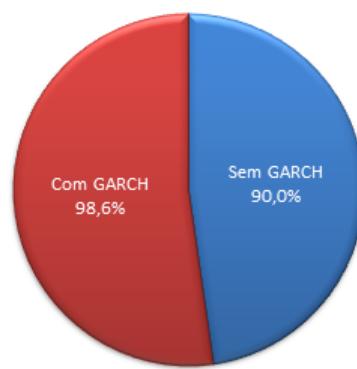


Figura 6.56: Gráfico com comparativo do tempo total relativo de cálculo dos parâmetros dos modelos sem e com GARCH na Metodologia V

Tabela 6.30: Autocorrelação do dado original e dos resíduos gerados sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia V

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| A1       | 6                      | 0                        | 0                        |
| A2       | 5                      | 0                        | 0                        |
| A3       | 6                      | 0                        | 0                        |
| B1       | 6                      | 0                        | 3                        |
| B2       | 6                      | 0                        | 3                        |
| B3       | 6                      | 0                        | 3                        |
| C1       | 2                      | 0                        | 0                        |
| C2       | 1                      | 0                        | 0                        |
| C3       | 2                      | 0                        | 0                        |
| D1       | 2                      | 3                        | 3                        |
| D2       | 2                      | 0                        | 0                        |
| D3       | 2                      | 7                        | 0                        |
| E1       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E2       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E3       | 4                      | 0                        | 0                        |
| F1       | 1                      | 6                        | 3                        |
| F2       | 6                      | 0                        | 3                        |
| F3       | 6                      | 6                        | 6                        |
| G1       | 1                      | 1                        | 1                        |
| G2       | 2                      | 4                        | 4                        |
| G3       | 6                      | 4                        | 4                        |
| H1       | 1                      | 0                        | 0                        |
| H2       | 1                      | 0                        | 0                        |
| H3       | 1                      | 0                        | 0                        |
| I1       | 7                      | 0                        | 0                        |
| I2       | 1                      | 0                        | 0                        |
| I3       | 1                      | 0                        | 3                        |
| J1       | 3                      | 0                        | 0                        |
| J2       | 3                      | 0                        | 0                        |
| J3       | 8                      | 0                        | 0                        |
| K1       | 3                      | 0                        | 3                        |
| K2       | 3                      | 0                        | 3                        |
| K3       | 2                      | 0                        | 0                        |

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| L1       | 2                      | 0                        | 0                        |
| L2       | 7                      | 0                        | 0                        |
| L3       | 11                     | 0                        | 0                        |
| L4       | 7                      | 0                        | 0                        |
| L5       | 7                      | 0                        | 0                        |
| L6       | 6                      | 0                        | 0                        |



Figura 6.57: Gráfico com comparativo da redução relativa total da autocorrelação do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia V

Tabela 6.31: Média e variância do dado original comparadas às do resíduo calculado sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia V

| Conjunto | Média Original | Var. Original | Média Sem GARCH | Var. Sem GARCH | Média Com GARCH | Var. Com GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| A1       | 3,0E+04        | 1,8E+07       | 0,5             | 4,0E+05        | 0,9             | 4,0E+05        |
| A2       | 3,2E+04        | 1,1E+07       | 0,5             | 3,3E+05        | -0,1            | 3,3E+05        |
| A3       | 3,1E+04        | 1,4E+07       | 0,5             | 3,3E+05        | -0,9            | 3,3E+05        |
| B1       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,5             | 2,9E+01        | 1,4             | 2,4E+02        |
| B2       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,5             | 2,9E+01        | 1,4             | 2,4E+02        |
| B3       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,5             | 2,9E+01        | 1,4             | 2,4E+02        |
| C1       | 3,3E+04        | 8,1E+07       | 0,5             | 2,3E+07        | -0,7            | 2,4E+07        |
| C2       | 3,3E+04        | 4,0E+07       | 0,5             | 1,4E+07        | 0,6             | 1,8E+07        |
| C3       | 3,3E+04        | 5,7E+07       | 0,5             | 1,3E+07        | 0,5             | 1,4E+07        |
| D1       | 3,7E+04        | 4,1E+07       | 0,4             | 2,9E+06        | 0,9             | 3,4E+06        |
| D2       | 3,3E+04        | 1,2E+07       | 0,5             | 2,0E+06        | 0,5             | 3,2E+06        |
| D3       | 3,1E+04        | 1,0E+07       | 0,6             | 1,4E+06        | 1,3             | 2,1E+06        |
| E1       | 2,9E+04        | 5,8E+07       | 1,7             | 5,1E+07        | -85,0           | 5,1E+07        |
| E2       | 3,0E+04        | 5,8E+07       | 1,4             | 5,1E+07        | -56,5           | 5,2E+07        |
| E3       | 3,0E+04        | 6,0E+07       | 2,0             | 5,3E+07        | -48,9           | 5,4E+07        |
| F1       | 3,8E+04        | 3,9E+07       | 0,4             | 3,5E+06        | -9,8            | 4,3E+06        |
| F2       | 2,3E+04        | 5,4E+06       | 0,5             | 4,5E+05        | 1,2             | 4,4E+05        |
| F3       | 2,6E+04        | 6,0E+06       | 0,6             | 2,2E+05        | 0,3             | 2,0E+05        |
| G1       | 3,3E+04        | 3,3E+07       | 0,5             | 5,6E+05        | 2,8             | 5,6E+05        |
| G2       | 3,8E+04        | 1,9E+07       | 0,5             | 5,3E+05        | 1,9             | 5,3E+05        |
| G3       | 2,9E+04        | 3,6E+07       | 0,5             | 9,0E+05        | 1,3             | 9,1E+05        |
| H1       | 3,1E+04        | 3,6E+07       | 0,4             | 3,5E+07        | 6,6             | 3,5E+07        |
| H2       | 3,4E+04        | 8,1E+06       | 0,5             | 4,6E+06        | 0,8             | 4,6E+06        |
| H3       | 3,2E+04        | 7,3E+06       | 0,5             | 3,9E+06        | 1,2             | 4,0E+06        |
| I1       | 3,6E+04        | 1,2E+07       | 0,4             | 1,2E+06        | 5,4             | 1,2E+06        |
| I2       | 2,9E+04        | 1,2E+06       | 0,5             | 1,7E+05        | 0,5             | 2,7E+05        |
| I3       | 3,1E+04        | 3,3E+07       | 0,6             | 5,9E+06        | -0,6            | 6,4E+06        |
| J1       | 3,7E+04        | 1,2E+06       | 0,5             | 6,3E+05        | 0,5             | 9,5E+05        |
| J2       | 3,5E+04        | 1,5E+06       | 0,5             | 8,0E+05        | 0,5             | 1,2E+06        |
| J3       | 3,3E+04        | 1,3E+06       | 0,5             | 6,9E+05        | 0,5             | 1,1E+06        |
| K1       | 3,9E+04        | 6,9E+06       | 0,5             | 6,7E+05        | 0,6             | 6,2E+05        |
| K2       | 4,0E+04        | 6,7E+06       | 0,5             | 6,4E+05        | 0,5             | 5,8E+05        |

| Conjunto | Média<br>Orig. | Var.<br>Orig. | Média<br>Sem<br>GARCH | Var.<br>Sem<br>GARCH | Média<br>Com<br>GARCH | Var.<br>Com<br>GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| K3       | 3,6E+04        | 5,8E+06       | 0,5                   | 6,9E+05              | 0,6                   | 6,2E+05              |
| L1       | 3,4E+04        | 2,9E+07       | 0,5                   | 7,0E+06              | -1,1                  | 8,2E+06              |
| L2       | 3,1E+04        | 1,5E+07       | 0,7                   | 6,4E+06              | 1,7                   | 7,5E+06              |
| L3       | 3,5E+04        | 1,3E+07       | 0,5                   | 7,6E+06              | 3,4                   | 7,7E+06              |
| L4       | 3,7E+04        | 1,8E+07       | 0,5                   | 4,8E+06              | 0,4                   | 5,0E+06              |
| L5       | 3,1E+04        | 5,1E+07       | 0,5                   | 1,6E+06              | 2,1                   | 1,6E+06              |
| L6       | 3,2E+04        | 2,6E+07       | 0,5                   | 1,3E+06              | 0,8                   | 1,3E+06              |



Figura 6.58: Gráfico com comparativo da redução relativa total da variância do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia V

### 6.2.6 Metodologia VI

A Metodologia VI também utiliza a solução proposta em (IVES; MAGOTRA; STEARNS, 2002) para uma melhor descorrelação do resíduo. O valor do parâmetro autoregressivo ( $p$ , na equação 4.5) foi testado sempre com o valor 1 (um), assim como o valor do de médias móveis ( $q$ , na equação 4.5). Cada conjunto foi testado duas vezes, uma com e a outra sem a utilização do modelo GARCH(1, 1).

Para a descompressão, serão necessários os seguintes itens:

1.  $QMod_{Met6}$ : 32 bits indicando quantos modelos foram calculados.
2. **Valor de ARCH**:  $QMod_{Met6} \times 32$  bits indicando  $\bar{\alpha}$  na equação 4.7.
3. **Valor de GARCH**:  $QMod_{Met6} \times 32$  bits indicando  $\bar{\beta}$  na equação 4.7.
4. **Parâmetros AR calculados**:  $QMod_{Met6} \times 32$  bits indicando os parâmetros AR calculados ( $\alpha_1, \dots, p$ , na equação 4.5).
5. **Parâmetros MA calculados**:  $QMod_{Met6} \times 32$  bits indicando os parâmetros AR calculados ( $\alpha_1, \dots, p$ , na equação 4.5).
6. **Parâmetros ARCH calculados**:  $QMod_{Met6} \times \bar{\alpha} \times 32$  bits indicando os parâmetros ARCH calculados ( $\sigma_1, \dots, \bar{p}$ , na equação 4.7).
7. **Parâmetros GARCH calculados**:  $QMod_{Met6} \times \bar{\beta} \times 32$  bits indicando os parâmetros GARCH calculados ( $h_1, \dots, \bar{q}$ , na equação 4.7).
8. **Resíduo do modelo**:  $QMod_{Met6}$  conjuntos de resíduos dos modelos calculados e comprimidos com a codificação aritmética. Tamanho variável, dependendo do resíduo calculado.

Portanto, o tamanho mínimo do arquivo comprimido dá-se pela equação 6.11. Já o tamanho final do arquivo comprimido é descrito pela equação 6.12, onde  $TRC_{met6}$  é o tamanho do resíduo comprimido.

$$TM_{Met6} = 4 \times 32 + 32 \times ARCH + 32 \times GARCH \text{ bits} \quad (6.11)$$

$$TF_{met5} = \sum_{QMod_{Met6}}^6 TM_{met5} + TRC_{Met6} \text{ bits} \quad (6.12)$$

#### 6.2.6.1 Métricas obtidas

Tabela 6.32: Comparativo de quantidade de experimentos cujas soluções convergiram com e sem a utilização do GARCH na metodologia VI

| Cenário   | Total experimentos | Convergiram | Não convergiram | % sucesso |
|-----------|--------------------|-------------|-----------------|-----------|
| Sem GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |
| Com GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |

Tabela 6.33: Razão de compressão dos experimentos sem e com GARCH na Metodologia VI. Valores em bytes.

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| A1       | 1152000          | 866131                       | 875916                       | 1,33                       | 1,32                       |
| A2       | 1152000          | 809424                       | 809458                       | 1,42                       | 1,42                       |

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| A3       | 1152000          | 849151                       | 848896                       | 1,36                       | 1,36                       |
| B1       | 518592           | 218094                       | 210747                       | 2,38                       | 2,46                       |
| B2       | 518592           | 218094                       | 210747                       | 2,38                       | 2,46                       |
| B3       | 518592           | 218094                       | 210747                       | 2,38                       | 2,46                       |
| C1       | 288192           | 259386                       | 255072                       | 1,11                       | 1,13                       |
| C2       | 288192           | 258173                       | 258406                       | 1,12                       | 1,12                       |
| C3       | 288192           | 243209                       | 263653                       | 1,18                       | 1,09                       |
| D1       | 331200           | 275800                       | 259987                       | 1,20                       | 1,27                       |
| D2       | 331200           | 255446                       | 259243                       | 1,30                       | 1,28                       |
| D3       | 331200           | 238981                       | 225548                       | 1,39                       | 1,47                       |
| E1       | 33792            | 32269                        | 32364                        | 1,05                       | 1,04                       |
| E2       | 33792            | 32619                        | 32674                        | 1,04                       | 1,03                       |
| E3       | 33792            | 32433                        | 32880                        | 1,04                       | 1,03                       |
| F1       | 220992           | 182103                       | 172809                       | 1,21                       | 1,28                       |
| F2       | 220992           | 147314                       | 139206                       | 1,50                       | 1,59                       |
| F3       | 220992           | 149251                       | 142826                       | 1,48                       | 1,55                       |
| G1       | 139392           | 112629                       | 101933                       | 1,24                       | 1,37                       |
| G2       | 139392           | 108095                       | 99924                        | 1,29                       | 1,39                       |
| G3       | 139392           | 107969                       | 110292                       | 1,29                       | 1,26                       |
| H1       | 360192           | 330174                       | 330445                       | 1,09                       | 1,09                       |
| H2       | 360192           | 296908                       | 298240                       | 1,21                       | 1,21                       |
| H3       | 360192           | 305001                       | 304780                       | 1,18                       | 1,18                       |
| I1       | 221184           | 173787                       | 172210                       | 1,27                       | 1,28                       |
| I2       | 221184           | 139967                       | 139636                       | 1,58                       | 1,58                       |
| I3       | 221184           | 181732                       | 181308                       | 1,22                       | 1,22                       |
| J1       | 591936           | 397259                       | 352954                       | 1,49                       | 1,68                       |
| J2       | 591936           | 396313                       | 350570                       | 1,49                       | 1,69                       |
| J3       | 591936           | 385680                       | 350647                       | 1,53                       | 1,69                       |
| K1       | 288000           | 201396                       | 185094                       | 1,43                       | 1,56                       |
| K2       | 288000           | 192611                       | 184298                       | 1,50                       | 1,56                       |
| K3       | 288000           | 202666                       | 199538                       | 1,42                       | 1,44                       |
| L1       | 480192           | 394856                       | 409301                       | 1,22                       | 1,17                       |
| L2       | 480192           | 386571                       | 407838                       | 1,24                       | 1,18                       |
| L3       | 480192           | 425706                       | 422955                       | 1,13                       | 1,14                       |
| L4       | 480192           | 412103                       | 395322                       | 1,17                       | 1,21                       |

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| L5       | 480192           | 378487                       | 382831                       | 1,27                       | 1,25                       |
| L6       | 480192           | 373209                       | 375675                       | 1,29                       | 1,28                       |

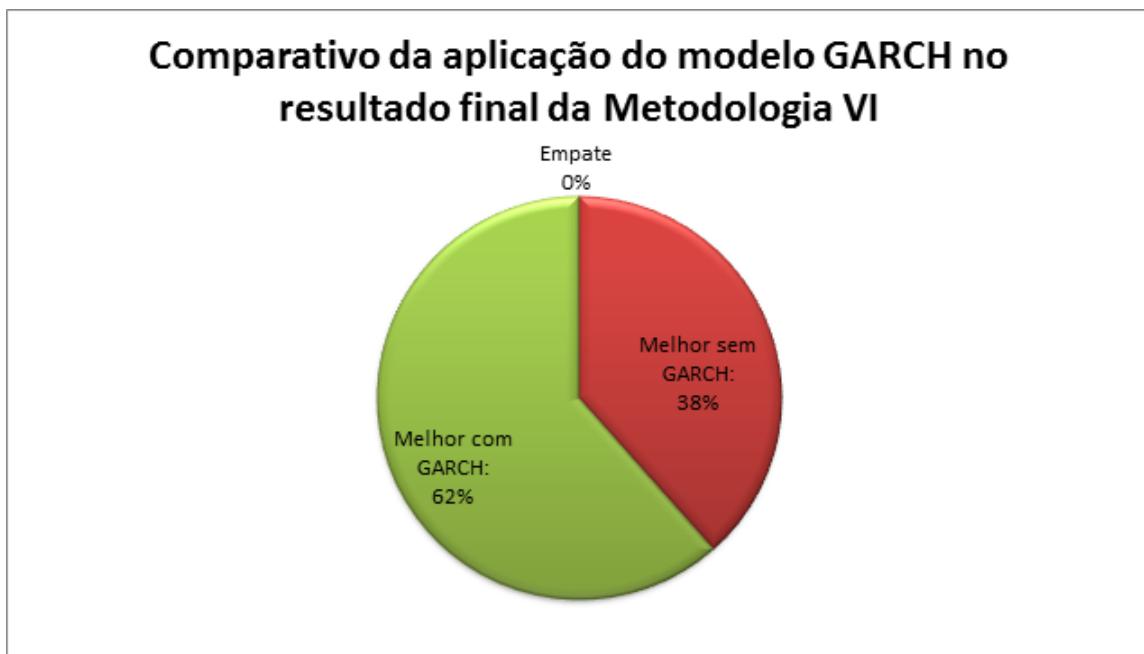


Figura 6.59: Gráfico com comparativo da razão de compressão na Metodologia VI

Tabela 6.34: Evolução da entropia do dado original e do resíduo calculado na metodologia VI

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| A1       | 11,26            | 11,09                        | 11,04                        |
| A2       | 10,77            | 10,57                        | 10,57                        |
| A3       | 10,98            | 10,74                        | 10,74                        |
| B1       | 5,96             | 5,96                         | 3,35                         |
| B2       | 5,96             | 5,96                         | 3,35                         |
| B3       | 5,96             | 5,96                         | 3,35                         |
| C1       | 12,34            | 12,26                        | 12,45                        |
| C2       | 12,65            | 12,55                        | 12,60                        |
| C3       | 12,77            | 12,64                        | 12,52                        |
| D1       | 10,50            | 10,46                        | 9,36                         |
| D2       | 11,29            | 11,13                        | 10,91                        |
| D3       | 9,51             | 9,51                         | 6,84                         |
| E1       | 10,92            | 10,92                        | 10,91                        |
| E2       | 10,93            | 10,91                        | 10,90                        |
| E3       | 10,80            | 10,80                        | 10,92                        |
| F1       | 11,75            | 11,65                        | 10,06                        |
| F2       | 7,99             | 7,99                         | 7,38                         |
| F3       | 9,94             | 9,94                         | 8,10                         |
| G1       | 11,52            | 11,52                        | 10,59                        |
| G2       | 11,00            | 10,98                        | 10,85                        |
| G3       | 11,56            | 11,45                        | 11,40                        |
| H1       | 8,44             | 8,44                         | 8,44                         |
| H2       | 12,22            | 12,20                        | 12,18                        |
| H3       | 12,07            | 12,07                        | 12,15                        |
| I1       | 8,44             | 8,44                         | 7,86                         |
| I2       | 7,73             | 7,55                         | 7,34                         |
| I3       | 8,37             | 8,36                         | 8,09                         |
| J1       | 9,39             | 9,39                         | 6,63                         |
| J2       | 9,25             | 9,25                         | 6,71                         |
| J3       | 8,99             | 8,99                         | 6,87                         |
| K1       | 10,06            | 10,06                        | 9,57                         |
| K2       | 10,18            | 10,18                        | 9,53                         |
| K3       | 10,20            | 10,20                        | 9,50                         |

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| L1       | 12,37            | 12,27                        | 12,30                        |
| L2       | 11,08            | 11,08                        | 11,08                        |
| L3       | 11,31            | 11,31                        | 11,31                        |
| L4       | 12,80            | 12,31                        | 11,92                        |
| L5       | 11,52            | 11,45                        | 10,67                        |
| L6       | 11,85            | 11,81                        | 11,58                        |

### Evolução de entropia geral na Metodologia VI

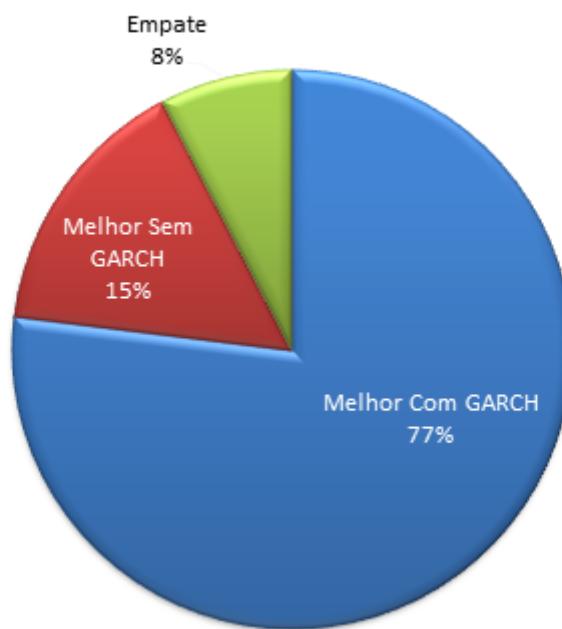


Figura 6.60: Gráfico com comparativo da evolução da entropia na Metodologia VI

Tabela 6.35: Tempo de execução (em segundos) dos algoritmos sem e com GARCH na Metodologia VI. Primeiro é exibido o tempo de execução sem a utilização do modelo GARCH, depois com o modelo. Parâmetros modelo se refere ao tempo gasto pelo algoritmo para o cálculo dos parâmetros do modelo, Resíduo refere-se ao tempo gasto pelo modelo para calcular o resíduo do modelo, Cod. Arit. refere-se ao tempo gasto pela codificação aritmética para comprimir o resíduo.

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| A1   | 124                  | 1       | 6             | 130            | 815                  | 4       | 17            | 836            |
| A2   | 311                  | 4       | 13            | 329            | 1.932                | 1       | 5             | 1.938          |
| A3   | 199                  | 1       | 13            | 213            | 835                  | 7       | 9             | 851            |
| B1   | 326                  | 1       | 3             | 330            | 1.472                | 3       | 3             | 1.478          |
| B2   | 182                  | 3       | 11            | 197            | 3.050                | 13      | 13            | 3.077          |
| B3   | 411                  | 4       | 16            | 431            | 1.339                | 2       | 10            | 1.351          |
| C1   | 49                   | 1       | 4             | 54             | 448                  | 1       | 7             | 456            |
| C2   | 58                   | 1       | 5             | 63             | 296                  | 1       | 3             | 300            |
| C3   | 50                   | 1       | 3             | 54             | 313                  | 1       | 1             | 315            |
| D1   | 69                   | 2       | 10            | 81             | 202                  | 1       | 6             | 208            |
| D2   | 114                  | 1       | 11            | 126            | 642                  | 1       | 2             | 645            |
| D3   | 189                  | 3       | 11            | 204            | 1.449                | 6       | 8             | 1.464          |
| E1   | 10                   | < 1     | < 1           | 10             | 87                   | 1       | 2             | 90             |
| E2   | 5                    | < 1     | < 1           | 5              | 111                  | < 1     | < 1           | 111            |
| E3   | 11                   | < 1     | < 1           | 11             | 64                   | < 1     | < 1           | 64             |
| F1   | 120                  | 2       | 11            | 133            | 248                  | 1       | 2             | 250            |
| F2   | 80                   | < 1     | 2             | 82             | 1.198                | 4       | 3             | 1.205          |
| F3   | 57                   | 1       | 6             | 64             | 562                  | 1       | 1             | 564            |
| G1   | 75                   | 2       | 6             | 82             | 182                  | 2       | 3             | 187            |
| G2   | 82                   | 2       | 8             | 92             | 772                  | 3       | 9             | 783            |
| G3   | 39                   | 1       | 3             | 43             | 417                  | 2       | 5             | 424            |
| H1   | 47                   | 1       | 3             | 50             | 102                  | 1       | 4             | 106            |
| H2   | 115                  | 2       | 8             | 125            | 869                  | 2       | 10            | 881            |
| H3   | 60                   | 1       | 7             | 69             | 822                  | 2       | 7             | 831            |
| I1   | 172                  | 2       | 8             | 182            | 303                  | < 1     | 1             | 304            |
| I2   | 116                  | 2       | 5             | 123            | 807                  | 1       | 4             | 812            |
| I3   | 41                   | < 1     | 2             | 43             | 174                  | 1       | 2             | 177            |
| J1   | 222                  | 1       | 4             | 227            | 1.914                | 2       | 3             | 1.919          |
| J2   | 298                  | 2       | 11            | 310            | 4.078                | 9       | 15            | 4.102          |

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| J3   | 173                  | 1       | 3             | 177            | 3.370                | 3       | 5             | 3.377          |
| K1   | 80                   | 2       | 6             | 88             | 1.370                | 8       | 21            | 1.399          |
| K2   | 66                   | 2       | 8             | 76             | 1.570                | 1       | 3             | 1.575          |
| K3   | 132                  | 1       | 3             | 135            | 1.225                | 7       | 4             | 1.235          |
| L1   | 226                  | 3       | 13            | 242            | 543                  | 1       | 3             | 547            |
| L2   | 81                   | 1       | 2             | 84             | 764                  | 2       | 7             | 772            |
| L3   | 67                   | 1       | 7             | 75             | 356                  | 2       | 3             | 361            |
| L4   | 38                   | < 1     | 1             | 40             | 476                  | 2       | 4             | 482            |
| L5   | 177                  | 1       | 3             | 182            | 222                  | < 1     | 2             | 224            |
| L6   | 133                  | 1       | 3             | 137            | 445                  | 1       | 5             | 451            |

**Tempo relativo de execução da predição dos parâmetros dos modelos no tempo total de execução do algoritmo na Metodologia VI**

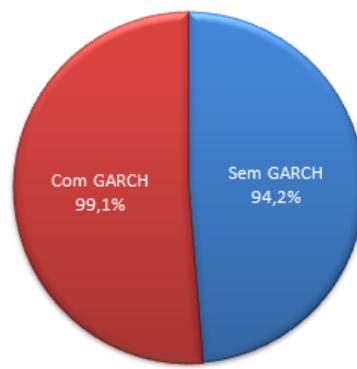


Figura 6.61: Gráfico com comparativo do tempo total relativo de cálculo dos parâmetros dos modelos sem e com GARCH na Metodologia VI

Tabela 6.36: Autocorrelação do dado original e dos resíduos gerados sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia VI

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| A1       | 6                      | 0                        | 0                        |
| A2       | 5                      | 0                        | 0                        |
| A3       | 6                      | 0                        | 0                        |
| B1       | 6                      | 0                        | 3                        |
| B2       | 6                      | 0                        | 3                        |
| B3       | 6                      | 0                        | 3                        |
| C1       | 2                      | 0                        | 28                       |
| C2       | 1                      | 0                        | 0                        |
| C3       | 2                      | 0                        | 27                       |
| D1       | 2                      | 0                        | 7                        |
| D2       | 2                      | 0                        | 17                       |
| D3       | 2                      | 0                        | 0                        |
| E1       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E2       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E3       | 4                      | 0                        | 0                        |
| F1       | 1                      | 0                        | 11                       |
| F2       | 6                      | 0                        | 1                        |
| F3       | 6                      | 0                        | 3                        |
| G1       | 1                      | 0                        | 22                       |
| G2       | 2                      | 0                        | 0                        |
| G3       | 6                      | 0                        | 0                        |
| H1       | 1                      | 0                        | 0                        |
| H2       | 1                      | 0                        | 0                        |
| H3       | 1                      | 0                        | 0                        |
| I1       | 7                      | 0                        | 0                        |
| I2       | 1                      | 0                        | 12                       |
| I3       | 1                      | 0                        | 0                        |
| J1       | 3                      | 0                        | 0                        |
| J2       | 3                      | 0                        | 0                        |
| J3       | 8                      | 0                        | 0                        |
| K1       | 3                      | 0                        | 1                        |
| K2       | 3                      | 0                        | 2                        |
| K3       | 2                      | 0                        | 1                        |

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| L1       | 2                      | 0                        | 3                        |
| L2       | 7                      | 0                        | 2                        |
| L3       | 11                     | 0                        | 1                        |
| L4       | 7                      | 0                        | 1                        |
| L5       | 7                      | 2                        | 0                        |
| L6       | 6                      | 0                        | 0                        |

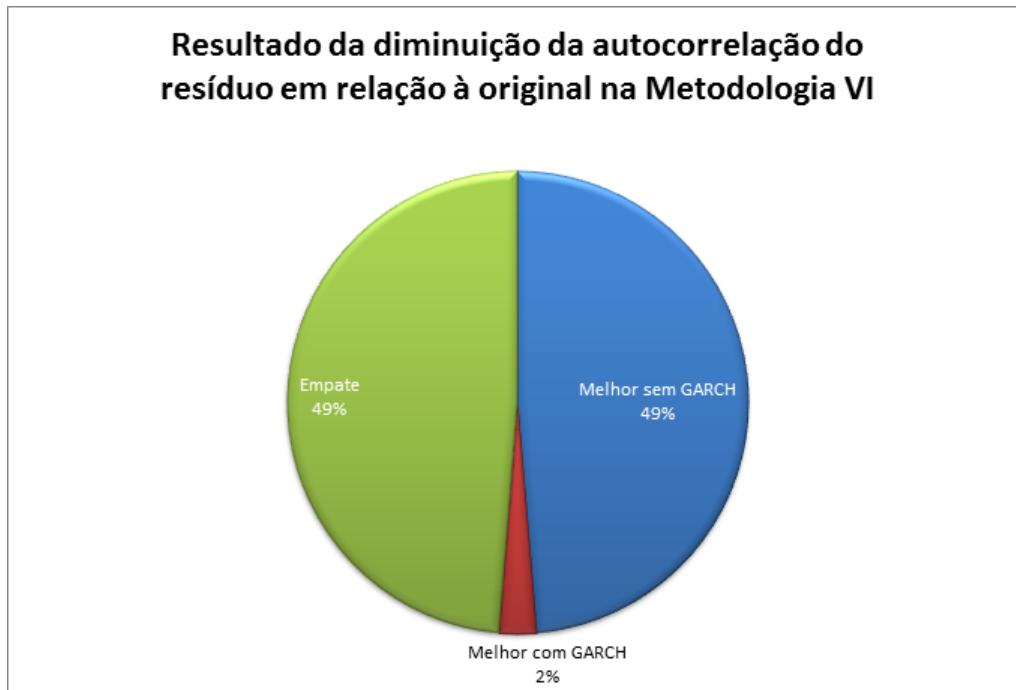


Figura 6.62: Gráfico com comparativo da redução relativa total da autocorrelação do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia VI

Tabela 6.37: Média e variância do dado original comparadas às do resíduo calculado sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia VI

| Conjunto | Média Original | Var. Original | Média Sem GARCH | Var. Sem GARCH | Média Com GARCH | Var. Com GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| A1       | 3,0E+04        | 1,8E+07       | 0,3             | 3,6E+05        | 0,8             | 3,5E+05        |
| A2       | 3,2E+04        | 1,1E+07       | 0,4             | 2,8E+05        | -1,2            | 2,8E+05        |
| A3       | 3,1E+04        | 1,4E+07       | 0,4             | 3,1E+05        | -1,4            | 3,1E+05        |
| B1       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,5             | 4,9E+02        | 0,7             | 3,2E+02        |
| B2       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,5             | 4,9E+02        | 0,7             | 3,2E+02        |
| B3       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,5             | 4,9E+02        | 0,7             | 3,2E+02        |
| C1       | 3,3E+04        | 8,1E+07       | 0,2             | 1,5E+07        | -7,5            | 5,5E+07        |
| C2       | 3,3E+04        | 4,0E+07       | 0,8             | 1,0E+07        | 2,9             | 1,2E+07        |
| C3       | 3,3E+04        | 5,7E+07       | 0,5             | 8,8E+06        | -1,6            | 4,1E+07        |
| D1       | 3,7E+04        | 4,1E+07       | 1,8             | 2,6E+06        | 0,0             | 2,6E+06        |
| D2       | 3,3E+04        | 1,2E+07       | -0,1            | 1,2E+06        | -5,3            | 4,5E+06        |
| D3       | 3,1E+04        | 1,0E+07       | 0,6             | 6,0E+05        | 0,8             | 5,7E+05        |
| E1       | 2,9E+04        | 5,8E+07       | -0,5            | 2,5E+07        | -24,8           | 2,5E+07        |
| E2       | 3,0E+04        | 5,8E+07       | -0,6            | 2,6E+07        | -2,9            | 2,6E+07        |
| E3       | 3,0E+04        | 6,0E+07       | -7,5            | 3,0E+07        | -48,9           | 2,7E+07        |
| F1       | 3,8E+04        | 3,9E+07       | 0,5             | 2,8E+06        | -1,0            | 4,9E+06        |
| F2       | 2,3E+04        | 5,4E+06       | 0,4             | 4,2E+05        | 2,1             | 2,9E+05        |
| F3       | 2,6E+04        | 6,0E+06       | 0,5             | 3,0E+05        | -0,2            | 1,7E+05        |
| G1       | 3,3E+04        | 3,3E+07       | -0,3            | 1,1E+06        | 1,5             | 1,3E+06        |
| G2       | 3,8E+04        | 1,9E+07       | 0,5             | 5,4E+05        | 1,7             | 4,6E+05        |
| G3       | 2,9E+04        | 3,6E+07       | 0,7             | 1,4E+06        | 1,2             | 1,4E+06        |
| H1       | 3,1E+04        | 3,6E+07       | 1,2             | 3,5E+07        | 15,1            | 3,5E+07        |
| H2       | 3,4E+04        | 8,1E+06       | 0,6             | 3,6E+06        | 22,5            | 3,6E+06        |
| H3       | 3,2E+04        | 7,3E+06       | 0,4             | 3,5E+06        | 5,7             | 3,0E+06        |
| I1       | 3,6E+04        | 1,2E+07       | 0,2             | 1,2E+06        | 7,0             | 1,1E+06        |
| I2       | 2,9E+04        | 1,2E+06       | 0,6             | 1,1E+05        | 0,5             | 1,8E+05        |
| I3       | 3,1E+04        | 3,3E+07       | -0,5            | 5,6E+06        | 1,9             | 4,6E+06        |
| J1       | 3,7E+04        | 1,2E+06       | 0,5             | 1,8E+05        | 0,4             | 1,9E+05        |
| J2       | 3,5E+04        | 1,5E+06       | 0,5             | 1,8E+05        | 0,4             | 2,4E+05        |
| J3       | 3,3E+04        | 1,3E+06       | 0,5             | 1,6E+05        | 0,4             | 2,5E+05        |
| K1       | 3,9E+04        | 6,9E+06       | 0,5             | 3,0E+05        | 1,8             | 2,7E+05        |
| K2       | 4,0E+04        | 6,7E+06       | 0,5             | 2,6E+05        | 3,0             | 3,1E+05        |

| Conjunto | Média<br>Orig. | Var.<br>Orig. | Média<br>Sem<br>GARCH | Var.<br>Sem<br>GARCH | Média<br>Com<br>GARCH | Var.<br>Com<br>GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| K3       | 3,6E+04        | 5,8E+06       | 0,5                   | 2,9E+05              | 0,4                   | 2,5E+05              |
| L1       | 3,4E+04        | 2,9E+07       | 0,2                   | 4,0E+06              | -0,1                  | 5,4E+06              |
| L2       | 3,1E+04        | 1,5E+07       | -5,2                  | 4,2E+06              | 0,5                   | 4,7E+06              |
| L3       | 3,5E+04        | 1,3E+07       | 5,5                   | 7,6E+06              | 52,2                  | 7,6E+06              |
| L4       | 3,7E+04        | 1,8E+07       | 0,5                   | 4,8E+06              | 6,4                   | 6,1E+06              |
| L5       | 3,1E+04        | 5,1E+07       | 0,8                   | 1,4E+06              | 2,4                   | 1,5E+06              |
| L6       | 3,2E+04        | 2,6E+07       | 0,4                   | 1,1E+06              | 0,3                   | 1,1E+06              |



Figura 6.63: Gráfico com comparativo da redução relativa total da variância do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia VI

### 6.2.7 Metodologia VII

Percebeu-se que trabalhar com o valor absoluto do traço sísmico (ou seja, assumindo todos os valores como positivos) aumenta a autocorrelação do dado em alguns casos de forma acentuada. A 6.38 ilustra a autocorrelação do dado original e a autocorrelação considerando o valor absoluto nos conjuntos.

---

Tabela 6.38: Valores de autocorrelação inicial e considerando todos os valores positivos nos conjuntos de teste

| Conj | Autocor.<br>inicial | Autocor.<br>abs | Conj | Autocor.<br>inicial | Autocor.<br>abs | Conj | Autocor.<br>inicial | Autocor.<br>abs |
|------|---------------------|-----------------|------|---------------------|-----------------|------|---------------------|-----------------|
| A1   | 6                   | 1               | E2   | 4                   | 4               | I3   | 1                   | 192             |
| A2   | 5                   | 1               | E3   | 4                   | 4               | J1   | 3                   | 74              |
| A3   | 6                   | 1               | F1   | 1                   | 10              | J2   | 3                   | 68              |
| B1   | 6                   | 19              | F2   | 6                   | 10              | J3   | 8                   | 78              |
| B2   | 6                   | 19              | F3   | 6                   | 13              | K1   | 3                   | 110             |
| B3   | 6                   | 19              | G1   | 1                   | 17              | K2   | 3                   | 110             |
| C1   | 2                   | 15              | G2   | 2                   | 14              | K3   | 2                   | 111             |
| C2   | 1                   | 8               | G3   | 6                   | 11              | L1   | 2                   | 1               |
| C3   | 2                   | 11              | H1   | 1                   | 208             | L2   | 7                   | 1               |
| D1   | 2                   | 142             | H2   | 1                   | 16              | L3   | 11                  | 8               |
| D2   | 2                   | 6               | H3   | 1                   | 13              | L4   | 7                   | 21              |
| D3   | 2                   | 203             | I1   | 7                   | 138             | L5   | 7                   | 1               |
| E1   | 4                   | 4               | I2   | 1                   | 6               | L6   | 6                   | 1               |

Pensou-se em utilizar o valor absoluto dos traços sísmicos como número de parâmetros do modelo. Entretanto, resolver um problema de otimização com 203 variáveis, no caso do conjunto D3, pode levar muito tempo. Além disso, trafegar  $203 \times 32 = 6.496$  bits referentes aos parâmetros autoregressivos do modelo

pode inviabilizar a compressão.

Na Metodologia VII, escolheu-se utilizar o valor absoluto do dado a ser comprimido. Para contornar o problema acima, o valor do parâmetro autoregressivo ( $p$ , na equação 4.5) foi testado sempre com o número de valores com autocorrelação superior a 0,6. O valor do parâmetro de médias móveis ( $q$ , na equação 4.5) foi sempre igual a zero, reduzindo o modelo a um AR. Cada conjunto foi testado duas vezes, uma com e a outra sem a utilização do modelo GARCH(1, 1). A Tabela 6.39 ilustra o valor utilizado como parâmetro autoregressivo nos testes.

Tabela 6.39: Valores de autocorrelação utilizados nos testes

| Conjunto | Valor<br>utilizado | Conjunto | Valor<br>utilizado | Conjunto | Valor<br>utilizado |
|----------|--------------------|----------|--------------------|----------|--------------------|
| A1       | 1                  | E2       | 1                  | I3       | 1                  |
| A2       | 1                  | E3       | 1                  | J1       | 9                  |
| A3       | 1                  | F1       | 1                  | J2       | 5                  |
| B1       | 6                  | F2       | 2                  | J3       | 12                 |
| B2       | 6                  | F3       | 5                  | K1       | 3                  |
| B3       | 6                  | G1       | 1                  | K2       | 9                  |
| C1       | 1                  | G2       | 1                  | K3       | 2                  |
| C2       | 1                  | G3       | 1                  | L1       | 1                  |
| C3       | 1                  | H1       | 1                  | L2       | 1                  |
| D1       | 1                  | H2       | 1                  | L3       | 1                  |
| D2       | 1                  | H3       | 1                  | L4       | 2                  |
| D3       | 1                  | I1       | 1                  | L5       | 1                  |
| E1       | 1                  | I2       | 2                  | L6       | 1                  |

Para a descompressão, serão necessários os seguintes itens:

1. **Valor de AR:** 32 bits indicando  $p$  na equação 4.5.
2. **Valor de ARCH:** 32 bits indicando  $\bar{\alpha}$  na equação 4.7.
3. **Valor de GARCH:** 32 bits indicando  $\bar{\beta}$  na equação 4.7.
4. **Parâmetros AR calculados:**  $p \times 32$  bits indicando os parâmetros AR calculados ( $\alpha_1, \dots, p$ , na equação 4.5).
5. **Parâmetros ARCH calculados:**  $\bar{\alpha} \times 32$  bits indicando os parâmetros ARCH calculados ( $\sigma_1, \dots, \bar{p}$ , na equação 4.7).
6. **Parâmetros GARCH calculados:**  $\bar{\beta} \times 32$  bits indicando os parâmetros GARCH calculados ( $h_1, \dots, \bar{q}$ , na equação 4.7).
7. **Sinais:** é necessário enviar o conjunto de sinais do dado original, uma vez que assumimos que todos os valores são positivos. Como cada sinal ocupa 1 bit (0 ou 1), o tamanho necessário para o envio, em bits, corresponde à cardinalidade do dado inicial.
8. **Resíduo do modelo:** o conjunto de resíduos do modelo, comprimido com a codificação aritmética, também é necessário para a descompressão.

Portanto, o tamanho mínimo do arquivo comprimido dá-se pela equação 6.13. Já o tamanho final do arquivo comprimido é descrito pela equação 6.14, onde  $TRC_{met7}$  é o tamanho do resíduo comprimido e  $|X|$  o número de elementos do dado de entrada.

$$TM_{met7} = 3 \times 32 + 32 \times p + 32 \times \bar{\alpha} + 32 \times \bar{\beta} \text{ bits} \quad (6.13)$$

$$TF_{met7} = TM_{met7} + TRC_{met7} + |X| \text{ bits} \quad (6.14)$$

#### 6.2.7.1 Métricas obtidas

Tabela 6.40: Comparativo de quantidade de experimentos cujas soluções convergiram com e sem a utilização do GARCH na metodologia VII

| Cenário   | Total experimentos | Convergiram | Não convergiram | % sucesso |
|-----------|--------------------|-------------|-----------------|-----------|
| Sem GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |
| Com GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |

Tabela 6.41: Razão de compressão dos experimentos sem e com GARCH na Metodologia VII. Valores em bytes.

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| A1       | 1152000          | 885269                       | 885744                       | 1,30                       | 1,30                       |
| A2       | 1152000          | 888539                       | 885606                       | 1,30                       | 1,30                       |
| A3       | 1152000          | 862568                       | 863281                       | 1,34                       | 1,33                       |
| B1       | 518592           | 171927                       | 171991                       | 3,02                       | 3,02                       |
| B2       | 518592           | 171927                       | 171991                       | 3,02                       | 3,02                       |
| B3       | 518592           | 171927                       | 171991                       | 3,02                       | 3,02                       |
| C1       | 288192           | 292443                       | 292798                       | 0,99                       | 0,98                       |
| C2       | 288192           | 275156                       | 273898                       | 1,05                       | 1,05                       |
| C3       | 288192           | 282897                       | 282600                       | 1,02                       | 1,02                       |
| D1       | 331200           | 308738                       | 308963                       | 1,07                       | 1,07                       |
| D2       | 331200           | 294281                       | 294358                       | 1,13                       | 1,13                       |
| D3       | 331200           | 274436                       | 274323                       | 1,21                       | 1,21                       |
| E1       | 33792            | 36227                        | 36288                        | 0,93                       | 0,93                       |
| E2       | 33792            | 36289                        | 36352                        | 0,93                       | 0,93                       |
| E3       | 33792            | 34297                        | 34347                        | 0,99                       | 0,98                       |
| F1       | 220992           | 210456                       | 210362                       | 1,05                       | 1,05                       |
| F2       | 220992           | 157768                       | 152991                       | 1,40                       | 1,44                       |
| F3       | 220992           | 140826                       | 151823                       | 1,57                       | 1,46                       |

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| G1       | 139392           | 134184                       | 134153                       | 1,04                       | 1,04                       |
| G2       | 139392           | 130807                       | 130906                       | 1,07                       | 1,06                       |
| G3       | 139392           | 135142                       | 135215                       | 1,03                       | 1,03                       |
| H1       | 360192           | 352413                       | 352484                       | 1,02                       | 1,02                       |
| H2       | 360192           | 317409                       | 317619                       | 1,13                       | 1,13                       |
| H3       | 360192           | 320116                       | 320343                       | 1,13                       | 1,12                       |
| I1       | 221184           | 190123                       | 190395                       | 1,16                       | 1,16                       |
| I2       | 221184           | 148700                       | 150820                       | 1,49                       | 1,47                       |
| I3       | 221184           | 197306                       | 197265                       | 1,12                       | 1,12                       |
| J1       | 591936           | 322818                       | 322882                       | 1,83                       | 1,83                       |
| J2       | 591936           | 390329                       | 386644                       | 1,52                       | 1,53                       |
| J3       | 591936           | 353439                       | 353503                       | 1,67                       | 1,67                       |
| K1       | 288000           | 209319                       | 213897                       | 1,38                       | 1,35                       |
| K2       | 288000           | 208785                       | 201350                       | 1,38                       | 1,43                       |
| K3       | 288000           | 229327                       | 217941                       | 1,26                       | 1,32                       |
| L1       | 480192           | 443419                       | 440569                       | 1,08                       | 1,09                       |
| L2       | 480192           | 445429                       | 441060                       | 1,08                       | 1,09                       |
| L3       | 480192           | 453451                       | 451755                       | 1,06                       | 1,06                       |
| L4       | 480192           | 442098                       | 425185                       | 1,09                       | 1,13                       |
| L5       | 480192           | 407081                       | 405680                       | 1,18                       | 1,18                       |
| L6       | 480192           | 418976                       | 416322                       | 1,15                       | 1,15                       |

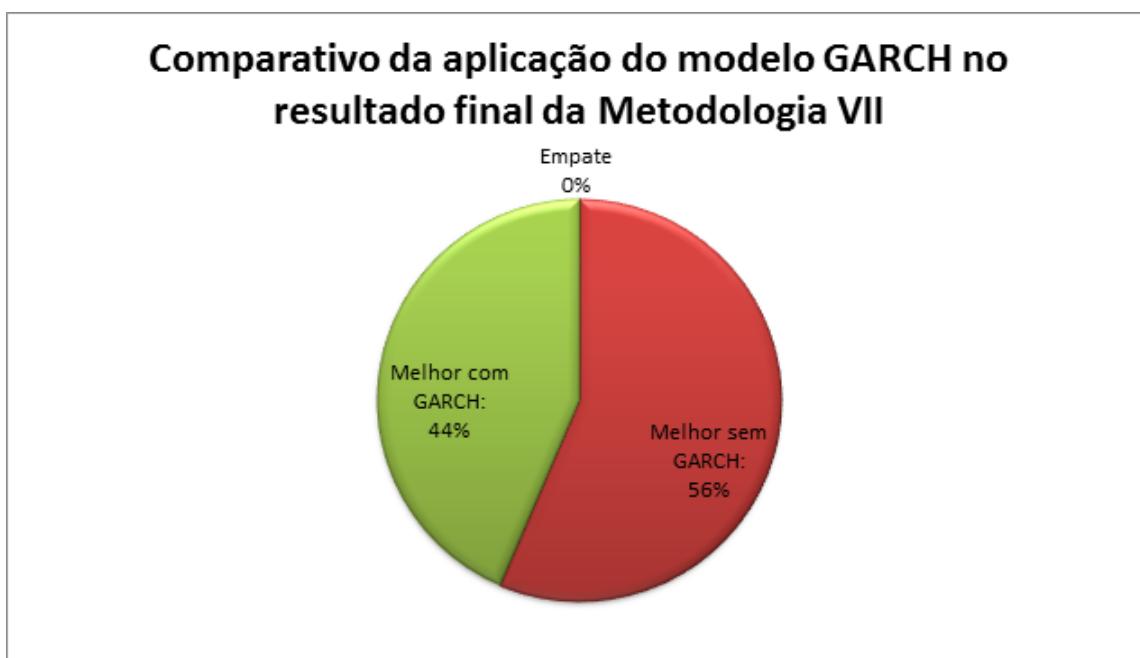


Figura 6.64: Gráfico com comparativo da razão de compressão na MetodologiaVII

Tabela 6.42: Evolução da entropia do dado original e do resíduo calculado na metodologia VII

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| A1       | 11,30            | 11,08                        | 11,07                        |
| A2       | 11,30            | 10,62                        | 10,60                        |
| A3       | 11,27            | 10,72                        | 10,72                        |
| B1       | 7,64             | 3,24                         | 3,24                         |
| B2       | 7,64             | 3,24                         | 3,24                         |
| B3       | 7,64             | 3,24                         | 3,24                         |
| C1       | 12,34            | 12,21                        | 12,21                        |
| C2       | 13,18            | 12,89                        | 12,88                        |
| C3       | 13,17            | 12,87                        | 12,88                        |
| D1       | 9,48             | 9,48                         | 9,48                         |
| D2       | 12,38            | 11,94                        | 11,92                        |
| D3       | 6,45             | 6,37                         | 6,37                         |
| E1       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| E2       | 10,78            | 10,78                        | 10,78                        |
| E3       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| F1       | 10,20            | 10,12                        | 10,16                        |
| F2       | 8,20             | 7,34                         | 7,41                         |
| F3       | 9,27             | 7,27                         | 7,48                         |
| G1       | 12,03            | 11,87                        | 11,90                        |
| G2       | 11,79            | 11,55                        | 11,55                        |
| G3       | 12,06            | 11,91                        | 11,90                        |
| H1       | 8,44             | 8,44                         | 8,44                         |
| H2       | 12,29            | 12,11                        | 12,11                        |
| H3       | 12,33            | 12,09                        | 12,09                        |
| I1       | 8,14             | 7,98                         | 7,98                         |
| I2       | 9,59             | 7,95                         | 7,37                         |
| I3       | 8,15             | 8,02                         | 8,01                         |
| J1       | 8,50             | 6,63                         | 6,63                         |
| J2       | 8,52             | 6,63                         | 6,89                         |
| J3       | 8,53             | 7,30                         | 7,30                         |
| K1       | 10,94            | 9,92                         | 9,91                         |
| K2       | 10,89            | 9,75                         | 9,55                         |
| K3       | 10,87            | 10,06                        | 10,01                        |

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| L1       | 11,27            | 11,27                        | 11,27                        |
| L2       | 11,08            | 11,08                        | 11,08                        |
| L3       | 11,31            | 11,31                        | 11,31                        |
| L4       | 12,80            | 12,32                        | 12,03                        |
| L5       | 10,67            | 10,67                        | 10,67                        |
| L6       | 11,58            | 11,58                        | 11,58                        |

### Evolução de entropia geral na Metodologia VII

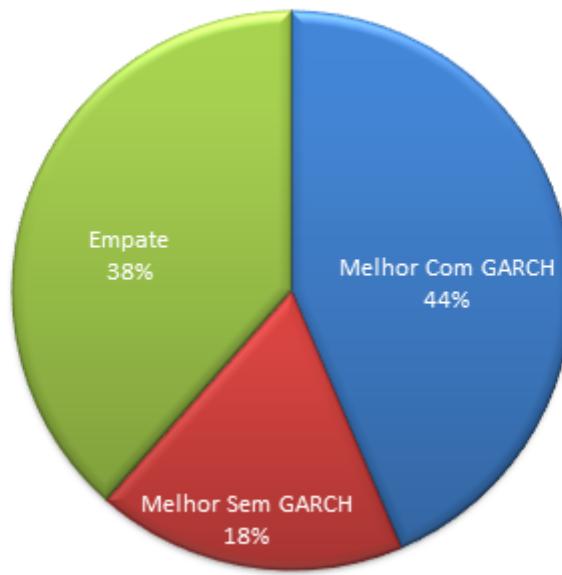


Figura 6.65: Gráfico com comparativo da evolução da entropia na Metodologia VII

Tabela 6.43: Tempo de execução (em segundos) dos algoritmos sem e com GARCH na Metodologia VII. Primeiro é exibido o tempo de execução sem a utilização do modelo GARCH, depois com o modelo. Parâmetros modelo se refere ao tempo gasto pelo algoritmo para o cálculo dos parâmetros do modelo, Resíduo refere-se ao tempo gasto pelo modelo para calcular o resíduo do modelo, Cod. Arit. refere-se ao tempo gasto pela codificação aritmética para comprimir o resíduo.

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| A1   | 24                   | < 1     | 3             | 27             | 356                  | 1       | 3             | 359            |
| A2   | 121                  | 1       | 12            | 134            | 941                  | 1       | 3             | 944            |
| A3   | 79                   | 1       | 6             | 86             | 1.889                | 4       | 11            | 1.903          |
| B1   | 35                   | 1       | 1             | 37             | 76                   | 1       | 2             | 79             |
| B2   | 44                   | 1       | 2             | 46             | 69                   | 2       | 4             | 74             |
| B3   | 33                   | 1       | 4             | 38             | 63                   | < 1     | 3             | 67             |
| C1   | 16                   | < 1     | 1             | 18             | 93                   | < 1     | 3             | 96             |
| C2   | 15                   | 1       | 4             | 20             | 210                  | 1       | 4             | 215            |
| C3   | 23                   | < 1     | 1             | 24             | 154                  | < 1     | 4             | 158            |
| D1   | 18                   | 1       | 5             | 23             | 144                  | < 1     | 4             | 149            |
| D2   | 14                   | < 1     | 1             | 15             | 175                  | 1       | 2             | 178            |
| D3   | 15                   | < 1     | 1             | 16             | 136                  | < 1     | 1             | 137            |
| E1   | 2                    | < 1     | < 1           | 2              | 13                   | < 1     | < 1           | 14             |
| E2   | 4                    | 1       | 1             | 5              | 25                   | < 1     | < 1           | 25             |
| E3   | 6                    | < 1     | < 1           | 6              | 46                   | < 1     | 1             | 47             |
| F1   | 24                   | 1       | 2             | 27             | 411                  | 1       | 4             | 415            |
| F2   | 22                   | 1       | 2             | 25             | 494                  | 1       | 1             | 496            |
| F3   | 19                   | 1       | 2             | 22             | 447                  | 1       | 2             | 450            |
| G1   | 7                    | < 1     | 1             | 8              | 167                  | 1       | 2             | 170            |
| G2   | 6                    | < 1     | < 1           | 6              | 126                  | 1       | 2             | 129            |
| G3   | 11                   | 1       | 2             | 13             | 56                   | 1       | 2             | 59             |
| H1   | 32                   | 1       | 5             | 38             | 119                  | 2       | 5             | 125            |
| H2   | 24                   | 1       | 2             | 27             | 628                  | < 1     | 5             | 633            |
| H3   | 18                   | < 1     | 3             | 21             | 379                  | < 1     | 2             | 381            |
| I1   | 10                   | < 1     | 1             | 11             | 114                  | < 1     | 1             | 116            |
| I2   | 15                   | < 1     | < 1           | 16             | 258                  | 1       | 1             | 260            |
| I3   | 22                   | < 1     | 1             | 23             | 123                  | 1       | 2             | 126            |
| J1   | 87                   | 2       | 2             | 91             | 157                  | 1       | 1             | 159            |
| J2   | 72                   | 1       | 4             | 76             | 1.026                | 2       | 2             | 1.031          |

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| J3   | 84                   | 2       | 5             | 91             | 183                  | 3       | 5             | 190            |
| K1   | 15                   | < 1     | < 1           | 16             | 245                  | < 1     | 2             | 247            |
| K2   | 27                   | 1       | 2             | 31             | 570                  | < 1     | 1             | 571            |
| K3   | 29                   | 1       | 3             | 32             | 478                  | 1       | 2             | 481            |
| L1   | 42                   | 1       | 2             | 45             | 380                  | 1       | 4             | 386            |
| L2   | 45                   | 1       | 7             | 53             | 728                  | 1       | 1             | 730            |
| L3   | 19                   | < 1     | 4             | 23             | 297                  | < 1     | 2             | 299            |
| L4   | 41                   | < 1     | 3             | 44             | 362                  | 1       | 1             | 364            |
| L5   | 21                   | 1       | 5             | 27             | 407                  | < 1     | 1             | 409            |
| L6   | 27                   | < 1     | 2             | 30             | 389                  | < 1     | 2             | 391            |

**Tempo relativo de execução da predição dos parâmetros dos modelos no tempo total de execução do algoritmo na Metodologia VII**

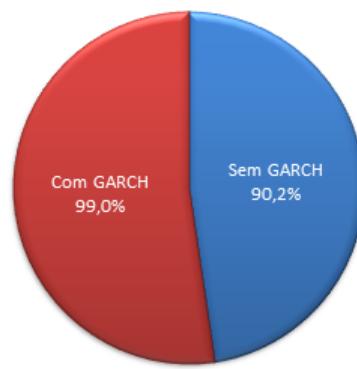


Figura 6.66: Gráfico com comparativo do tempo total relativo de cálculo dos parâmetros dos modelos sem e com GARCH na Metodologia VII

Tabela 6.44: Autocorrelação do dado original e dos resíduos gerados sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia VII

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| A1       | 6                      | 0                        | 0                        |
| A2       | 5                      | 0                        | 0                        |
| A3       | 6                      | 0                        | 0                        |
| B1       | 6                      | 0                        | 0                        |
| B2       | 6                      | 0                        | 0                        |
| B3       | 6                      | 0                        | 0                        |
| C1       | 2                      | 1                        | 1                        |
| C2       | 1                      | 3                        | 3                        |
| C3       | 2                      | 1                        | 1                        |
| D1       | 2                      | 1                        | 1                        |
| D2       | 2                      | 1                        | 1                        |
| D3       | 2                      | 1                        | 1                        |
| E1       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E2       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E3       | 4                      | 0                        | 0                        |
| F1       | 1                      | 1                        | 1                        |
| F2       | 6                      | 1                        | 1                        |
| F3       | 6                      | 0                        | 1                        |
| G1       | 1                      | 1                        | 1                        |
| G2       | 2                      | 1                        | 1                        |
| G3       | 6                      | 1                        | 1                        |
| H1       | 1                      | 0                        | 0                        |
| H2       | 1                      | 1                        | 1                        |
| H3       | 1                      | 4                        | 4                        |
| I1       | 7                      | 1                        | 1                        |
| I2       | 1                      | 3                        | 3                        |
| I3       | 1                      | 1                        | 1                        |
| J1       | 3                      | 2                        | 2                        |
| J2       | 3                      | 2                        | 0                        |
| J3       | 8                      | 0                        | 0                        |
| K1       | 3                      | 2                        | 1                        |
| K2       | 3                      | 0                        | 1                        |
| K3       | 2                      | 2                        | 1                        |

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| L1       | 2                      | 1                        | 5                        |
| L2       | 7                      | 2                        | 0                        |
| L3       | 11                     | 0                        | 0                        |
| L4       | 7                      | 0                        | 1                        |
| L5       | 7                      | 0                        | 0                        |
| L6       | 6                      | 0                        | 0                        |

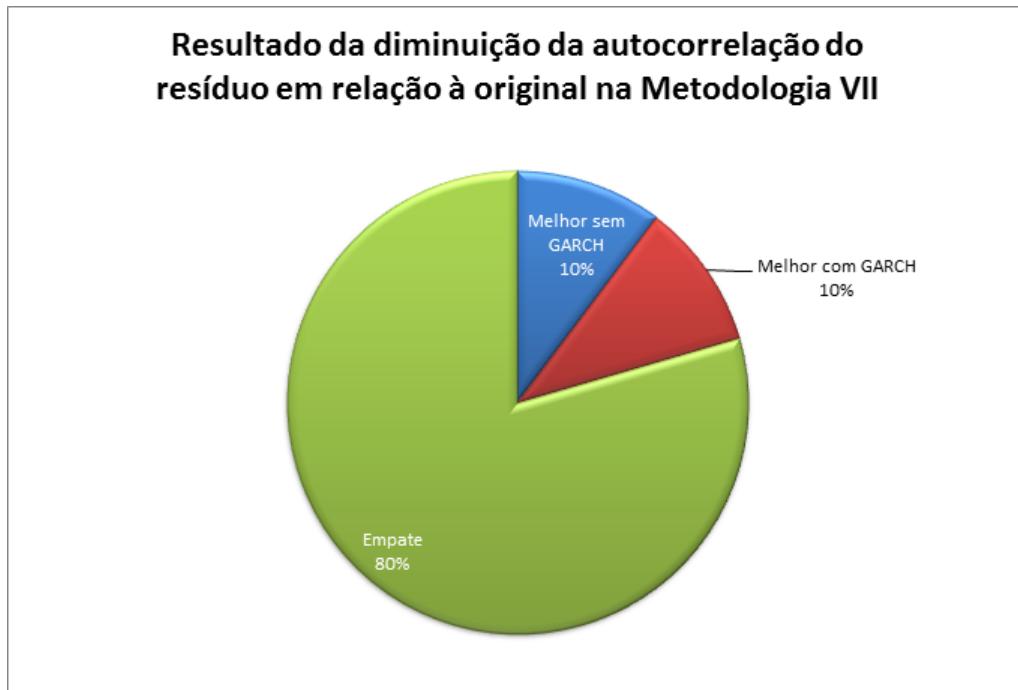


Figura 6.67: Gráfico com comparativo da redução relativa total da autocorrelação do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia VII

Tabela 6.45: Média e variância do dado original comparadas às do resíduo calculado sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia VII

| Conjunto | Média Original | Var. Original | Média Sem GARCH | Var. Sem GARCH | Média Com GARCH | Var. Com GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| A1       | 3,0E+04        | 1,8E+07       | 0,5             | 3,5E+05        | -2,0            | 3,6E+05        |
| A2       | 3,2E+04        | 1,1E+07       | 0,5             | 3,0E+05        | -2,2            | 3,0E+05        |
| A3       | 3,1E+04        | 1,4E+07       | 0,5             | 2,9E+05        | -2,8            | 2,9E+05        |
| B1       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,6             | 1,2E+01        | 0,6             | 1,2E+01        |
| B2       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,6             | 1,2E+01        | 0,6             | 1,2E+01        |
| B3       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,6             | 1,2E+01        | 0,6             | 1,2E+01        |
| C1       | 3,3E+04        | 8,1E+07       | 0,5             | 3,7E+07        | -52,6           | 3,7E+07        |
| C2       | 3,3E+04        | 4,0E+07       | 0,5             | 2,0E+07        | -1,0            | 2,1E+07        |
| C3       | 3,3E+04        | 5,7E+07       | 0,5             | 2,3E+07        | 0,2             | 2,3E+07        |
| D1       | 3,7E+04        | 4,1E+07       | 0,4             | 1,5E+07        | -1,0            | 1,5E+07        |
| D2       | 3,3E+04        | 1,2E+07       | 0,5             | 5,0E+06        | 6,3             | 5,0E+06        |
| D3       | 3,1E+04        | 1,0E+07       | 0,5             | 3,9E+06        | 0,8             | 3,9E+06        |
| E1       | 2,9E+04        | 5,8E+07       | 0,2             | 5,5E+07        | -94,6           | 5,5E+07        |
| E2       | 3,0E+04        | 5,8E+07       | 0,3             | 5,4E+07        | -31,3           | 5,5E+07        |
| E3       | 3,0E+04        | 6,0E+07       | 0,1             | 5,6E+07        | -25,8           | 5,7E+07        |
| F1       | 3,8E+04        | 3,9E+07       | 0,6             | 2,1E+07        | 0,8             | 2,3E+07        |
| F2       | 2,3E+04        | 5,4E+06       | 0,6             | 5,0E+05        | 2,4             | 7,4E+05        |
| F3       | 2,6E+04        | 6,0E+06       | 0,6             | 5,8E+04        | -1,8            | 9,8E+04        |
| G1       | 3,3E+04        | 3,3E+07       | 0,5             | 1,5E+07        | 4,3             | 1,5E+07        |
| G2       | 3,8E+04        | 1,9E+07       | 0,5             | 7,1E+06        | 8,3             | 7,1E+06        |
| G3       | 2,9E+04        | 3,6E+07       | 0,5             | 1,5E+07        | 12,1            | 1,5E+07        |
| H1       | 3,1E+04        | 3,6E+07       | 0,4             | 3,5E+07        | 6,6             | 3,5E+07        |
| H2       | 3,4E+04        | 8,1E+06       | 0,5             | 5,0E+06        | -1,7            | 5,0E+06        |
| H3       | 3,2E+04        | 7,3E+06       | 0,5             | 4,6E+06        | 3,7             | 4,6E+06        |
| I1       | 3,6E+04        | 1,2E+07       | 0,6             | 4,3E+06        | 15,8            | 4,3E+06        |
| I2       | 2,9E+04        | 1,2E+06       | 0,5             | 1,5E+05        | 0,9             | 2,2E+05        |
| I3       | 3,1E+04        | 3,3E+07       | 0,5             | 1,6E+07        | -3,5            | 1,6E+07        |
| J1       | 3,7E+04        | 1,2E+06       | 0,5             | 1,1E+04        | 0,5             | 1,1E+04        |
| J2       | 3,5E+04        | 1,5E+06       | 0,5             | 9,0E+04        | 4,3             | 3,0E+05        |
| J3       | 3,3E+04        | 1,3E+06       | 0,5             | 7,9E+03        | 0,5             | 7,9E+03        |
| K1       | 3,9E+04        | 6,9E+06       | 0,5             | 5,4E+05        | 0,6             | 5,7E+05        |
| K2       | 4,0E+04        | 6,7E+06       | 0,5             | 1,5E+05        | 0,9             | 2,7E+05        |

| Conjunto | Média<br>Orig. | Var.<br>Orig. | Média<br>Sem<br>GARCH | Var.<br>Sem<br>GARCH | Média<br>Com<br>GARCH | Var.<br>Com<br>GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| K3       | 3,6E+04        | 5,8E+06       | 0,5                   | 6,8E+05              | 0,7                   | 7,1E+05              |
| L1       | 3,4E+04        | 2,9E+07       | 0,5                   | 1,2E+07              | -4,7                  | 1,3E+07              |
| L2       | 3,1E+04        | 1,5E+07       | 0,2                   | 6,9E+06              | 1,2                   | 7,3E+06              |
| L3       | 3,5E+04        | 1,3E+07       | 0,5                   | 7,6E+06              | 3,4                   | 7,7E+06              |
| L4       | 3,7E+04        | 1,8E+07       | 0,5                   | 4,8E+06              | 4,4                   | 7,6E+06              |
| L5       | 3,1E+04        | 5,1E+07       | 0,6                   | 1,5E+06              | -0,6                  | 1,5E+06              |
| L6       | 3,2E+04        | 2,6E+07       | 0,5                   | 1,3E+06              | 2,2                   | 1,3E+06              |

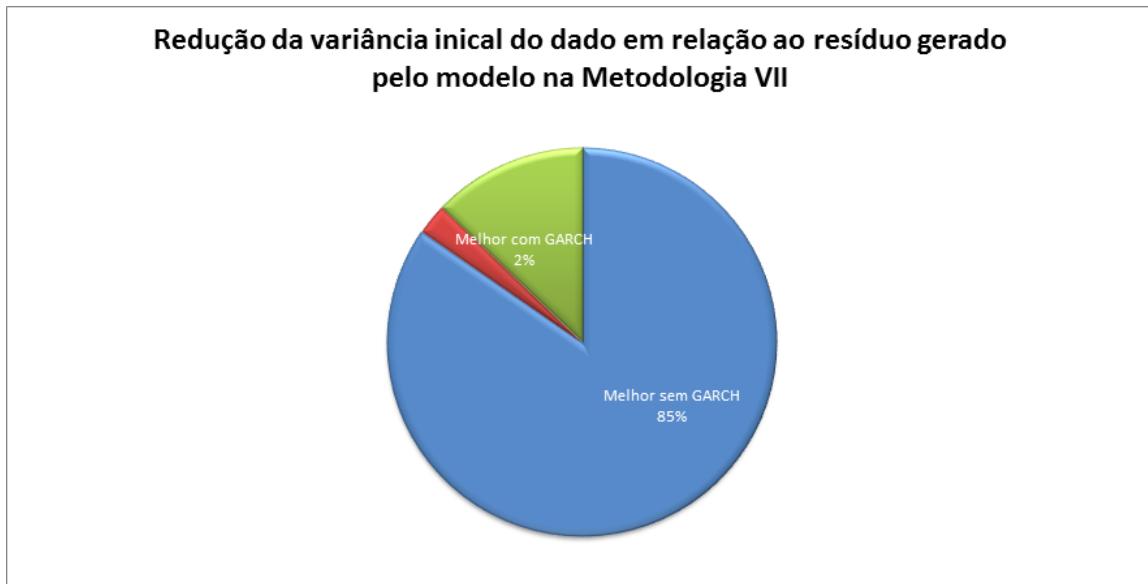


Figura 6.68: Gráfico com comparativo da redução relativa total da variância do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia VII

### 6.2.8 Metodologia VIII

A Metodologia VIII também utiliza o valor absoluto do dado a ser comprimido, e utiliza a função de autocorrelação para escolher o valor do parâmetro autoregressivo ( $p$ , na equação 4.5). Assim como antes, apenas os valores com autocorrelação superior a 0,6 foram escolhidos. O valor do parâmetro de médias móveis ( $q$ , na equação 4.5) foi sempre igual a um. Cada conjunto foi testado duas vezes, uma com e a outra sem a utilização do modelo GARCH(1, 1).

Para a descompressão, serão necessários os seguintes itens:

1. **Valor de AR:** 32 bits indicando  $p$  na equação 4.5.
2. **Valor de MA:** 32 bits indicando  $p$  na equação 4.5.
3. **Valor de ARCH:** 32 bits indicando  $\bar{\alpha}$  na equação 4.7.
4. **Valor de GARCH:** 32 bits indicando  $\bar{\beta}$  na equação 4.7.
5. **Parâmetros AR calculados:**  $p \times 32$  bits indicando os parâmetros AR calculados ( $\alpha_1, \dots, p$ , na equação 4.5).
6. **Parâmetros MA calculados:**  $q \times 32$  bits indicando os parâmetros AR calculados ( $\beta_1, \dots, p$ , na equação 4.5).
7. **Parâmetros ARCH calculados:**  $\bar{\alpha} \times 32$  bits indicando os parâmetros ARCH calculados ( $\sigma_1, \dots, \bar{p}$ , na equação 4.7).
8. **Parâmetros GARCH calculados:**  $\bar{\beta} \times 32$  bits indicando os parâmetros GARCH calculados ( $h_1, \dots, \bar{q}$ , na equação 4.7).
9. **Sinais:** é necessário enviar o conjunto de sinais do dado original, uma vez que assumimos que todos os valores são positivos. Como cada sinal ocupa 1 bit (0

ou 1), o tamanho necessário para o envio, em bits, corresponde à cardinalidade do dado inicial.

10. **Resíduo do modelo:** o conjunto de resíduos do modelo, comprimido com a codificação aritmética, também é necessário para a descompressão.

Portanto, o tamanho mínimo do arquivo comprimido dá-se pela equação 6.15. Já o tamanho final do arquivo comprimido é descrito pela equação 6.16, onde  $TRC_{met8}$  é o tamanho do resíduo comprimido e  $|X|$  o número de elementos do dado de entrada.

$$TM_{met8} = 4 \times 32 + 32 \times p + 32 \times q + 32 \times \bar{p} + 32 \times \bar{q} \text{ bits} \quad (6.15)$$

$$TF_{met8} = TM_{met8} + TRC_{met8} + |X| \text{ bits} \quad (6.16)$$

#### 6.2.8.1 Métricas obtidas

---

Tabela 6.46: Comparativo de quantidade de experimentos cujas soluções convergiram com e sem a utilização do GARCH na metodologia VIII

| Cenário   | Total experimentos | Convergiram | Não convergiram | % sucesso |
|-----------|--------------------|-------------|-----------------|-----------|
| Sem GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |
| Com GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |

Tabela 6.47: Razão de compressão dos experimentos sem e com GARCH na Metodologia VIII. Valores em bytes.

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| A1       | 1152000          | 937063                       | 932089                       | 1,23                       | 1,24                       |
| A2       | 1152000          | 884201                       | 881266                       | 1,30                       | 1,31                       |
| A3       | 1152000          | 919780                       | 919331                       | 1,25                       | 1,25                       |
| B1       | 518592           | 180032                       | 180638                       | 2,88                       | 2,87                       |
| B2       | 518592           | 180032                       | 180638                       | 2,88                       | 2,87                       |
| B3       | 518592           | 180032                       | 180638                       | 2,88                       | 2,87                       |
| C1       | 288192           | 284486                       | 279660                       | 1,01                       | 1,03                       |
| C2       | 288192           | 264810                       | 276418                       | 1,09                       | 1,04                       |
| C3       | 288192           | 270173                       | 267788                       | 1,07                       | 1,08                       |
| D1       | 331200           | 285775                       | 285150                       | 1,16                       | 1,16                       |
| D2       | 331200           | 288461                       | 287033                       | 1,15                       | 1,15                       |
| D3       | 331200           | 274958                       | 296311                       | 1,20                       | 1,12                       |
| E1       | 33792            | 34088                        | 34109                        | 0,99                       | 0,99                       |
| E2       | 33792            | 34313                        | 34355                        | 0,98                       | 0,98                       |
| E3       | 33792            | 34545                        | 34581                        | 0,98                       | 0,98                       |
| F1       | 220992           | 198568                       | 196573                       | 1,11                       | 1,12                       |
| F2       | 220992           | 140949                       | 155082                       | 1,57                       | 1,43                       |
| F3       | 220992           | 140201                       | 136799                       | 1,58                       | 1,62                       |
| G1       | 139392           | 125570                       | 125466                       | 1,11                       | 1,11                       |
| G2       | 139392           | 122726                       | 122759                       | 1,14                       | 1,14                       |
| G3       | 139392           | 126657                       | 126683                       | 1,10                       | 1,10                       |
| H1       | 360192           | 352686                       | 352957                       | 1,02                       | 1,02                       |
| H2       | 360192           | 319181                       | 320060                       | 1,13                       | 1,13                       |
| H3       | 360192           | 326621                       | 325192                       | 1,10                       | 1,11                       |
| I1       | 221184           | 190275                       | 188120                       | 1,16                       | 1,18                       |
| I2       | 221184           | 147388                       | 145946                       | 1,50                       | 1,52                       |
| I3       | 221184           | 194911                       | 195371                       | 1,13                       | 1,13                       |
| J1       | 591936           | 347100                       | 387644                       | 1,71                       | 1,53                       |
| J2       | 591936           | 359430                       | 389717                       | 1,65                       | 1,52                       |
| J3       | 591936           | 361231                       | 361295                       | 1,64                       | 1,64                       |
| K1       | 288000           | 216224                       | 215225                       | 1,33                       | 1,34                       |
| K2       | 288000           | 204318                       | 205452                       | 1,41                       | 1,40                       |

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| K3       | 288000           | 214906                       | 214548                       | 1,34                       | 1,34                       |
| L1       | 480192           | 438372                       | 435036                       | 1,10                       | 1,10                       |
| L2       | 480192           | 416583                       | 437850                       | 1,15                       | 1,10                       |
| L3       | 480192           | 455718                       | 452967                       | 1,05                       | 1,06                       |
| L4       | 480192           | 415110                       | 409199                       | 1,16                       | 1,17                       |
| L5       | 480192           | 404917                       | 405949                       | 1,19                       | 1,18                       |
| L6       | 480192           | 407674                       | 408421                       | 1,18                       | 1,18                       |

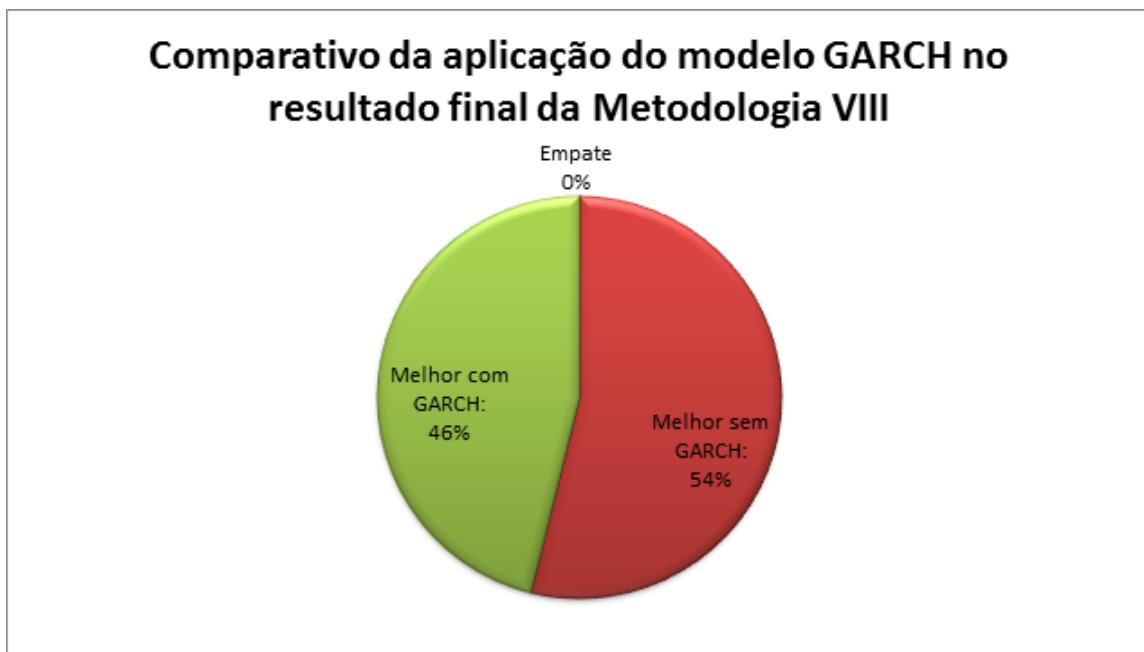


Figura 6.69: Gráfico com comparativo da razão de compressão na Metodologia VIII

Tabela 6.48: Evolução da entropia do dado original e do resíduo calculado na metodologia VIII

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| A1       | 11,30            | 10,99                        | 11,30                        |
| A2       | 11,30            | 10,52                        | 10,51                        |
| A3       | 11,27            | 10,66                        | 10,66                        |
| B1       | 7,64             | 3,60                         | 3,61                         |
| B2       | 7,64             | 3,60                         | 3,61                         |
| B3       | 7,64             | 3,60                         | 3,61                         |
| C1       | 12,34            | 12,34                        | 12,34                        |
| C2       | 13,18            | 12,65                        | 12,60                        |
| C3       | 13,17            | 12,77                        | 12,77                        |
| D1       | 9,48             | 9,48                         | 9,48                         |
| D2       | 12,38            | 11,66                        | 11,56                        |
| D3       | 6,45             | 6,45                         | 6,45                         |
| E1       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| E2       | 10,78            | 10,78                        | 10,78                        |
| E3       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| F1       | 10,20            | 10,20                        | 10,20                        |
| F2       | 8,20             | 7,20                         | 7,14                         |
| F3       | 9,27             | 7,28                         | 7,27                         |
| G1       | 12,03            | 11,96                        | 11,91                        |
| G2       | 11,79            | 11,47                        | 11,47                        |
| G3       | 12,06            | 12,01                        | 12,01                        |
| H1       | 8,44             | 8,44                         | 8,44                         |
| H2       | 12,29            | 12,10                        | 12,09                        |
| H3       | 12,33            | 12,07                        | 12,05                        |
| I1       | 8,14             | 8,14                         | 8,00                         |
| I2       | 9,59             | 7,43                         | 7,43                         |
| I3       | 8,15             | 8,15                         | 8,13                         |
| J1       | 8,50             | 7,18                         | 6,31                         |
| J2       | 8,52             | 7,21                         | 6,68                         |
| J3       | 8,53             | 7,85                         | 7,85                         |
| K1       | 10,94            | 9,71                         | 9,71                         |
| K2       | 10,89            | 9,64                         | 9,71                         |
| K3       | 10,87            | 9,72                         | 9,61                         |

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| L1       | 11,27            | 11,27                        | 11,27                        |
| L2       | 11,08            | 11,08                        | 11,08                        |
| L3       | 11,31            | 11,31                        | 11,31                        |
| L4       | 12,80            | 12,16                        | 12,01                        |
| L5       | 10,67            | 10,67                        | 10,67                        |
| L6       | 11,58            | 11,58                        | 11,58                        |

### Evolução de entropia geral na Metodologia VIII

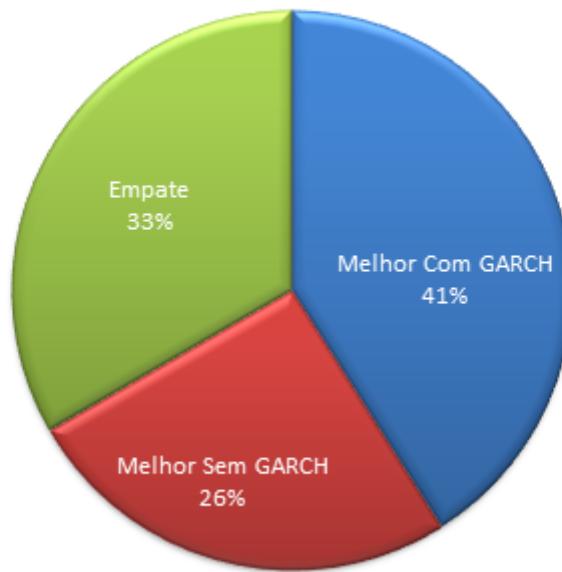


Figura 6.70: Gráfico com comparativo da evolução da entropia na Metodologia VIII

Tabela 6.49: Tempo de execução (em segundos) dos algoritmos sem e com GARCH na Metodologia VIII. Primeiro é exibido o tempo de execução sem a utilização do modelo GARCH, depois com o modelo. Parâmetros modelo se refere ao tempo gasto pelo algoritmo para o cálculo dos parâmetros do modelo, Resíduo refere-se ao tempo gasto pelo modelo para calcular o resíduo do modelo, Cod. Arit. refere-se ao tempo gasto pela codificação aritmética para comprimir o resíduo.

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| A1   | 96                   | < 1     | 2             | 99             | 407                  | 1       | 3             | 411            |
| A2   | 144                  | < 1     | 2             | 146            | 395                  | 1       | 2             | 398            |
| A3   | 153                  | < 1     | 2             | 155            | 414                  | 1       | 2             | 417            |
| B1   | 25                   | < 1     | 1             | 26             | 33                   | < 1     | 1             | 34             |
| B2   | 25                   | < 1     | 1             | 26             | 32                   | < 1     | 1             | 34             |
| B3   | 25                   | < 1     | 1             | 26             | 33                   | < 1     | 1             | 34             |
| C1   | 17                   | < 1     | 1             | 18             | 94                   | < 1     | 1             | 95             |
| C2   | 14                   | < 1     | 1             | 15             | 107                  | < 1     | 1             | 108            |
| C3   | 37                   | < 1     | 2             | 39             | 50                   | < 1     | 1             | 51             |
| D1   | 24                   | < 1     | 1             | 25             | 95                   | < 1     | 1             | 96             |
| D2   | 38                   | < 1     | 1             | 39             | 104                  | < 1     | 1             | 105            |
| D3   | 46                   | < 1     | 1             | 47             | 96                   | < 1     | 1             | 97             |
| E1   | 5                    | < 1     | < 1           | 5              | 22                   | < 1     | < 1           | 22             |
| E2   | 10                   | < 1     | < 1           | 11             | 24                   | < 1     | < 1           | 24             |
| E3   | 9                    | < 1     | < 1           | 10             | 14                   | < 1     | < 1           | 14             |
| F1   | 24                   | < 1     | 1             | 24             | 79                   | < 1     | 1             | 80             |
| F2   | 28                   | < 1     | < 1           | 28             | 74                   | < 1     | < 1           | 75             |
| F3   | 48                   | < 1     | < 1           | 49             | 109                  | < 1     | < 1           | 110            |
| G1   | 13                   | < 1     | 1             | 15             | 58                   | < 1     | < 1           | 59             |
| G2   | 9                    | < 1     | < 1           | 10             | 58                   | < 1     | < 1           | 58             |
| G3   | 11                   | < 1     | < 1           | 12             | 57                   | < 1     | < 1           | 57             |
| H1   | 13                   | < 1     | 1             | 14             | 34                   | < 1     | 1             | 35             |
| H2   | 15                   | < 1     | 1             | 16             | 52                   | < 1     | 1             | 53             |
| H3   | 36                   | < 1     | 1             | 37             | 58                   | < 1     | 1             | 59             |
| I1   | 11                   | < 1     | < 1           | 11             | 63                   | < 1     | < 1           | 63             |
| I2   | 25                   | < 1     | 1             | 26             | 80                   | < 1     | < 1           | 80             |
| I3   | 19                   | < 1     | 1             | 21             | 31                   | < 1     | < 1           | 32             |
| J1   | 72                   | < 1     | 1             | 73             | 326                  | < 1     | < 1           | 327            |
| J2   | 97                   | < 1     | < 1           | 97             | 250                  | < 1     | < 1           | 251            |

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| J3   | 13                   | < 1     | 1             | 15             | 28                   | < 1     | 1             | 29             |
| K1   | 30                   | < 1     | < 1           | 31             | 112                  | < 1     | < 1           | 113            |
| K2   | 52                   | < 1     | < 1           | 53             | 166                  | < 1     | < 1           | 166            |
| K3   | 29                   | < 1     | < 1           | 29             | 81                   | < 1     | < 1           | 82             |
| L1   | 21                   | < 1     | 1             | 22             | 152                  | < 1     | 1             | 153            |
| L2   | 34                   | < 1     | 1             | 35             | 189                  | < 1     | 1             | 191            |
| L3   | 35                   | < 1     | 1             | 36             | 202                  | 1       | 1             | 205            |
| L4   | 133                  | < 1     | 1             | 135            | 255                  | < 1     | 1             | 256            |
| L5   | 190                  | < 1     | 1             | 192            | 242                  | < 1     | 1             | 243            |
| L6   | 154                  | 1       | 3             | 158            | 411                  | < 1     | 1             | 412            |

**Tempo relativo de execução da predição dos parâmetros dos modelos no tempo total de execução do algoritmo na Metodologia VIII**

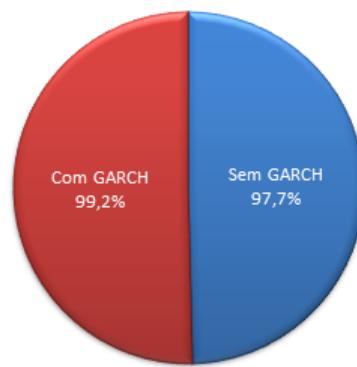


Figura 6.71: Gráfico com comparativo do tempo total relativo de cálculo dos parâmetros dos modelos sem e com GARCH na Metodologia VIII

Tabela 6.50: Autocorrelação do dado original e dos resíduos gerados sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia VIII

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| A1       | 6                      | 0                        | 6                        |
| A2       | 5                      | 0                        | 0                        |
| A3       | 6                      | 0                        | 0                        |
| B1       | 6                      | 1                        | 1                        |
| B2       | 6                      | 1                        | 1                        |
| B3       | 6                      | 1                        | 1                        |
| C1       | 2                      | 1                        | 0                        |
| C2       | 1                      | 0                        | 0                        |
| C3       | 2                      | 1                        | 0                        |
| D1       | 2                      | 1                        | 1                        |
| D2       | 2                      | 1                        | 4                        |
| D3       | 2                      | 3                        | 1                        |
| E1       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E2       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E3       | 4                      | 0                        | 0                        |
| F1       | 1                      | 1                        | 1                        |
| F2       | 6                      | 1                        | 1                        |
| F3       | 6                      | 0                        | 0                        |
| G1       | 1                      | 1                        | 1                        |
| G2       | 2                      | 1                        | 1                        |
| G3       | 6                      | 1                        | 1                        |
| H1       | 1                      | 0                        | 0                        |
| H2       | 1                      | 0                        | 0                        |
| H3       | 1                      | 0                        | 0                        |
| I1       | 7                      | 1                        | 1                        |
| I2       | 1                      | 1                        | 3                        |
| I3       | 1                      | 1                        | 1                        |
| J1       | 3                      | 1                        | 9                        |
| J2       | 3                      | 4                        | 2                        |
| J3       | 8                      | 1                        | 1                        |
| K1       | 3                      | 2                        | 2                        |
| K2       | 3                      | 2                        | 2                        |
| K3       | 2                      | 2                        | 1                        |

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| L1       | 2                      | 1                        | 5                        |
| L2       | 7                      | 0                        | 2                        |
| L3       | 11                     | 0                        | 1                        |
| L4       | 7                      | 0                        | 1                        |
| L5       | 7                      | 0                        | 0                        |
| L6       | 6                      | 0                        | 0                        |

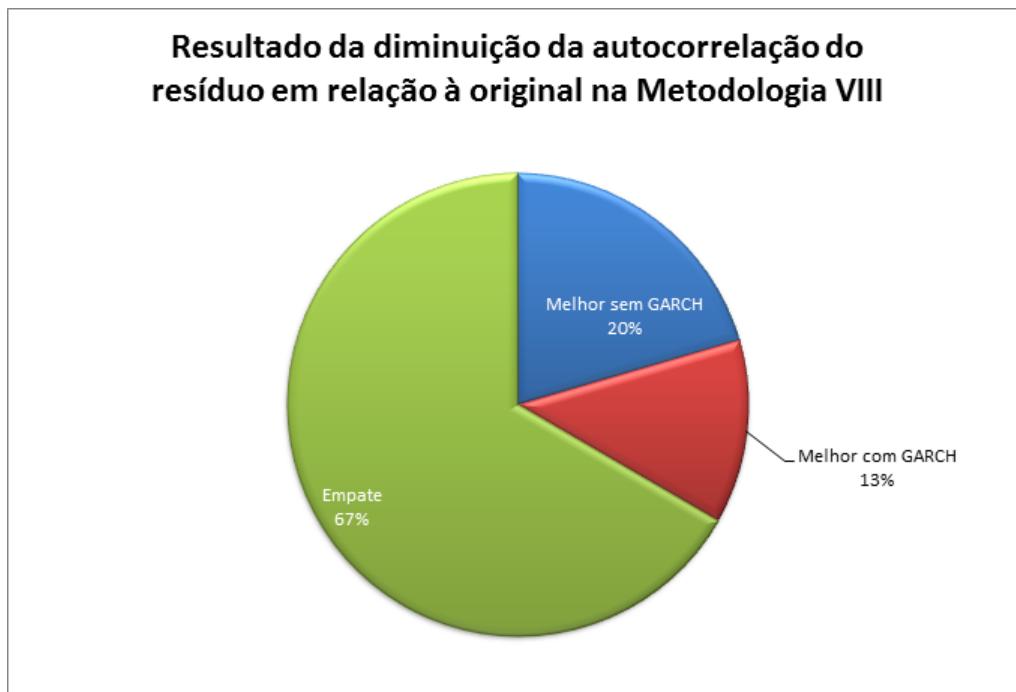


Figura 6.72: Gráfico com comparativo da redução relativa total da autocorrelação do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia VIII

Tabela 6.51: Média e variância do dado original comparadas às do resíduo calculado sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia VIII

| Conjunto | Média Original | Var. Original | Média Sem GARCH | Var. Sem GARCH | Média Com GARCH | Var. Com GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| A1       | 3,0E+04        | 1,8E+07       | 0,5             | 3,1E+05        | 8,5             | 1,0E+06        |
| A2       | 3,2E+04        | 1,1E+07       | 0,5             | 2,6E+05        | 0,6             | 2,6E+05        |
| A3       | 3,1E+04        | 1,4E+07       | 0,6             | 2,6E+05        | 6,5             | 2,7E+05        |
| B1       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,6             | 1,6E+01        | 0,6             | 1,6E+01        |
| B2       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,6             | 1,6E+01        | 0,6             | 1,6E+01        |
| B3       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,6             | 1,6E+01        | 0,6             | 1,6E+01        |
| C1       | 3,3E+04        | 8,1E+07       | 0,5             | 1,7E+07        | -18,7           | 1,8E+07        |
| C2       | 3,3E+04        | 4,0E+07       | 0,5             | 1,1E+07        | 2,9             | 1,2E+07        |
| C3       | 3,3E+04        | 5,7E+07       | 0,5             | 1,0E+07        | -26,4           | 1,0E+07        |
| D1       | 3,7E+04        | 4,1E+07       | 0,4             | 4,8E+06        | 1,8             | 5,2E+06        |
| D2       | 3,3E+04        | 1,2E+07       | 0,5             | 1,8E+06        | -1,5            | 1,9E+06        |
| D3       | 3,1E+04        | 1,0E+07       | 0,5             | 1,3E+06        | 5,2             | 5,5E+06        |
| E1       | 2,9E+04        | 5,8E+07       | -5,2            | 2,8E+07        | -23,6           | 2,8E+07        |
| E2       | 3,0E+04        | 5,8E+07       | -5,3            | 2,9E+07        | -17,1           | 2,9E+07        |
| E3       | 3,0E+04        | 6,0E+07       | -7,5            | 3,0E+07        | -52,8           | 3,0E+07        |
| F1       | 3,8E+04        | 3,9E+07       | 0,5             | 6,9E+06        | 13,6            | 7,6E+06        |
| F2       | 2,3E+04        | 5,4E+06       | 0,4             | 2,3E+05        | 1,4             | 2,8E+05        |
| F3       | 2,6E+04        | 6,0E+06       | 0,6             | 5,8E+04        | -1,7            | 8,0E+04        |
| G1       | 3,3E+04        | 3,3E+07       | 0,8             | 4,5E+06        | -6,1            | 5,0E+06        |
| G2       | 3,8E+04        | 1,9E+07       | 1,1             | 2,1E+06        | -10,4           | 2,1E+06        |
| G3       | 2,9E+04        | 3,6E+07       | 0,8             | 4,4E+06        | -95,1           | 4,6E+06        |
| H1       | 3,1E+04        | 3,6E+07       | 1,2             | 3,5E+07        | 15,1            | 3,5E+07        |
| H2       | 3,4E+04        | 8,1E+06       | 0,5             | 4,3E+06        | -9,0            | 4,4E+06        |
| H3       | 3,2E+04        | 7,3E+06       | 0,5             | 3,5E+06        | 8,9             | 3,5E+06        |
| I1       | 3,6E+04        | 1,2E+07       | 0,7             | 1,6E+06        | 8,6             | 1,9E+06        |
| I2       | 2,9E+04        | 1,2E+06       | 0,6             | 7,5E+04        | 1,1             | 1,7E+05        |
| I3       | 3,1E+04        | 3,3E+07       | 0,3             | 6,9E+06        | 1,9             | 7,2E+06        |
| J1       | 3,7E+04        | 1,2E+06       | 0,5             | 1,0E+04        | 0,3             | 7,1E+04        |
| J2       | 3,5E+04        | 1,5E+06       | 0,5             | 6,2E+04        | 0,4             | 1,1E+05        |
| J3       | 3,3E+04        | 1,3E+06       | 0,9             | 1,3E+04        | 0,9             | 1,3E+04        |
| K1       | 3,9E+04        | 6,9E+06       | 0,4             | 2,5E+05        | 3,0             | 4,0E+05        |
| K2       | 4,0E+04        | 6,7E+06       | 0,6             | 1,6E+05        | 1,6             | 1,7E+05        |

| Conjunto | Média<br>Orig. | Var.<br>Orig. | Média<br>Sem<br>GARCH | Var.<br>Sem<br>GARCH | Média<br>Com<br>GARCH | Var.<br>Com<br>GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| K3       | 3,6E+04        | 5,8E+06       | 0,6                   | 3,0E+05              | 0,6                   | 3,3E+05              |
| L1       | 3,4E+04        | 2,9E+07       | 2,1                   | 4,9E+06              | -9,8                  | 5,2E+06              |
| L2       | 3,1E+04        | 1,5E+07       | -5,2                  | 4,2E+06              | 0,5                   | 4,7E+06              |
| L3       | 3,5E+04        | 1,3E+07       | 5,5                   | 7,6E+06              | 52,2                  | 7,6E+06              |
| L4       | 3,7E+04        | 1,8E+07       | 1,2                   | 3,8E+06              | -1,8                  | 4,2E+06              |
| L5       | 3,1E+04        | 5,1E+07       | 0,6                   | 1,3E+06              | 0,7                   | 1,5E+06              |
| L6       | 3,2E+04        | 2,6E+07       | 1,0                   | 1,0E+06              | -7,7                  | 1,1E+06              |



Figura 6.73: Gráfico com comparativo da redução relativa total da variância do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia VIII

### 6.2.9 Metodologia IX

A Metodologia IX também utiliza o valor absoluto do dado a ser comprimido. A função de autocorrelação para escolher os valores dos parâmetros autoregressivo ( $p$ , na equação 4.5) e de médias móveis ( $q$ , na equação 4.5). Assim como antes, apenas os valores com autocorrelação superior a 0,6 foram escolhidos. Cada conjunto foi testado duas vezes, uma com e a outra sem a utilização do modelo GARCH(1, 1).

Para a descompressão, serão necessários os seguintes itens:

1. **Valor de AR:** 32 bits indicando  $p$  na equação 4.5.
2. **Valor de MA:** 32 bits indicando  $p$  na equação 4.5.
3. **Valor de ARCH:** 32 bits indicando  $\bar{\alpha}$  na equação 4.7.
4. **Valor de GARCH:** 32 bits indicando  $\bar{\beta}$  na equação 4.7.
5. **Parâmetros AR calculados:**  $p \times 32$  bits indicando os parâmetros AR calculados ( $\alpha_1, \dots, p$ , na equação 4.5).
6. **Parâmetros MA calculados:**  $q \times 32$  bits indicando os parâmetros AR calculados ( $\beta_1, \dots, p$ , na equação 4.5).
7. **Parâmetros ARCH calculados:**  $\bar{\alpha} \times 32$  bits indicando os parâmetros ARCH calculados ( $\sigma_1, \dots, \bar{p}$ , na equação 4.7).
8. **Parâmetros GARCH calculados:**  $\bar{\beta} \times 32$  bits indicando os parâmetros GARCH calculados ( $h_1, \dots, \bar{q}$ , na equação 4.7).
9. **Sinais:** é necessário enviar o conjunto de sinais do dado original, uma vez que assumimos que todos os valores são positivos. Como cada sinal ocupa 1 bit (0

ou 1), o tamanho necessário para o envio, em bits, corresponde à cardinalidade do dado inicial.

10. **Resíduo do modelo:** o conjunto de resíduos do modelo, comprimido com a codificação aritmética, também é necessário para a descompressão.

Portanto, o tamanho mínimo do arquivo comprimido dá-se pela equação 6.17. Já o tamanho final do arquivo comprimido é descrito pela equação 6.18, onde  $TRC_{met9}$  é o tamanho do resíduo comprimido e  $|X|$  o número de elementos do dado de entrada.

$$TM_{met9} = 4 \times 32 + 32 \times p + 32 \times q + 32 \times \bar{p} + 32 \times \bar{q} \text{ bits} \quad (6.17)$$

$$TF_{met9} = TM_{met9} + TRC_{met9} + |X| \text{ bits} \quad (6.18)$$

#### 6.2.9.1 Métricas obtidas

---

Tabela 6.52: Comparativo de quantidade de experimentos cujas soluções convergiram com e sem a utilização do GARCH na metodologia IX

| Cenário   | Total experimentos | Convergiram | Não convergiram | % sucesso |
|-----------|--------------------|-------------|-----------------|-----------|
| Sem GARCH | 39                 | 35          | 4               | 89,74%    |
| Com GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |

Tabela 6.53: Razão de compressão dos experimentos sem e com GARCH na Metodologia IX. Valores em bytes.

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| A1       | 1152000          | 938376                       | 938415                       | 1,23                       | 1,23                       |
| A2       | 1152000          | 883827                       | 881969                       | 1,30                       | 1,31                       |
| A3       | 1152000          | 922699                       | 921917                       | 1,25                       | 1,25                       |
| B1       | 518592           | 416785                       | 359811                       | 1,24                       | 1,44                       |
| B2       | 518592           | 416785                       | 359811                       | 1,24                       | 1,44                       |
| B3       | 518592           | 416785                       | 359811                       | 1,24                       | 1,44                       |
| C1       | 288192           | 284486                       | 279660                       | 1,01                       | 1,03                       |
| C2       | 288192           | 264810                       | 276418                       | 1,09                       | 1,04                       |
| C3       | 288192           | 270173                       | 267788                       | 1,07                       | 1,08                       |
| D1       | 331200           | 285775                       | 285150                       | 1,16                       | 1,16                       |
| D2       | 331200           | 288461                       | 287033                       | 1,15                       | 1,15                       |
| D3       | 331200           | 274958                       | 296311                       | 1,20                       | 1,12                       |
| E1       | 33792            | 34088                        | 34109                        | 0,99                       | 0,99                       |
| E2       | 33792            | 34313                        | 34355                        | 0,98                       | 0,98                       |
| E3       | 33792            | 34545                        | 34581                        | 0,98                       | 0,98                       |
| F1       | 220992           | 198568                       | 196573                       | 1,11                       | 1,12                       |
| F2       | 220992           | 143069                       | 150317                       | 1,54                       | 1,47                       |
| F3       | 220992           | 142087                       | 136207                       | 1,56                       | 1,62                       |
| G1       | 139392           | 125570                       | 125466                       | 1,11                       | 1,11                       |
| G2       | 139392           | 122726                       | 122759                       | 1,14                       | 1,14                       |
| G3       | 139392           | 126657                       | 126683                       | 1,10                       | 1,10                       |
| H1       | 360192           | 352686                       | 352957                       | 1,02                       | 1,02                       |
| H2       | 360192           | 319181                       | 320060                       | 1,13                       | 1,13                       |
| H3       | 360192           | 326621                       | 325192                       | 1,10                       | 1,11                       |
| I1       | 221184           | 190275                       | 188120                       | 1,16                       | 1,18                       |
| I2       | 221184           | 137745                       | 147473                       | 1,61                       | 1,50                       |
| I3       | 221184           | 194911                       | 195371                       | 1,13                       | 1,13                       |
| J1       | 591936           | 344775                       | 322895                       | 1,72                       | 1,83                       |
| J2       | 591936           | 492544                       | 397465                       | 1,20                       | 1,49                       |
| J3       | 591936           | 347630                       | 332892                       | 1,70                       | 1,78                       |
| K1       | 288000           | 218086                       | 198226                       | 1,32                       | 1,45                       |
| K2       | 288000           | 212366                       | 212565                       | 1,36                       | 1,35                       |

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| K3       | 288000           | 217685                       | 213300                       | 1,32                       | 1,35                       |
| L1       | 480192           | 438372                       | 435036                       | 1,10                       | 1,10                       |
| L2       | 480192           | 416583                       | 437850                       | 1,15                       | 1,10                       |
| L3       | 480192           | 455718                       | 452967                       | 1,05                       | 1,06                       |
| L4       | 480192           | 416649                       | 428649                       | 1,15                       | 1,12                       |
| L5       | 480192           | 428025                       | 411507                       | 1,12                       | 1,17                       |
| L6       | 480192           | 407775                       | 405816                       | 1,18                       | 1,18                       |

**Comparativo da aplicação do modelo GARCH no resultado final da Metodologia IX**

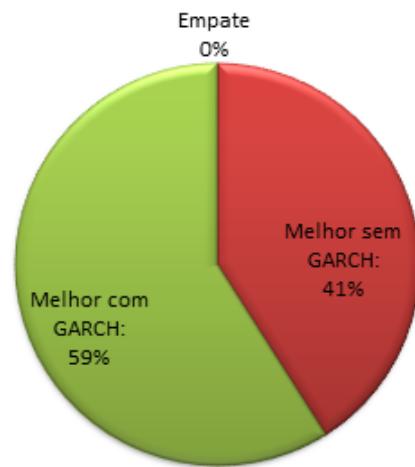


Figura 6.74: Gráfico com comparativo da razão de compressão na Metodologia IX

Tabela 6.54: Evolução da entropia do dado original e do resíduo calculado na metodologia IX

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| A1       | 11,30            | 10,94                        | 10,94                        |
| A2       | 11,30            | 10,47                        | 10,45                        |
| A3       | 11,27            | 10,62                        | 10,61                        |
| B1       | 7,64             | 7,64                         | 6,83                         |
| B2       | 7,64             | 7,64                         | 6,83                         |
| B3       | 7,64             | 7,64                         | 6,83                         |
| C1       | 12,34            | 12,34                        | 12,34                        |
| C2       | 13,18            | 12,65                        | 12,60                        |
| C3       | 13,17            | 12,77                        | 12,77                        |
| D1       | 9,48             | 9,48                         | 9,48                         |
| D2       | 12,38            | 11,66                        | 11,56                        |
| D3       | 6,45             | 6,45                         | 6,45                         |
| E1       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| E2       | 10,78            | 10,78                        | 10,78                        |
| E3       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| F1       | 10,20            | 10,20                        | 10,20                        |
| F2       | 8,20             | 7,13                         | 7,30                         |
| F3       | 9,27             | 7,80                         | 7,30                         |
| G1       | 12,03            | 11,96                        | 11,91                        |
| G2       | 11,79            | 11,47                        | 11,47                        |
| G3       | 12,06            | 12,01                        | 12,01                        |
| H1       | 8,44             | 8,44                         | 8,44                         |
| H2       | 12,29            | 12,10                        | 12,09                        |
| H3       | 12,33            | 12,07                        | 12,05                        |
| I1       | 8,14             | 8,14                         | 8,00                         |
| I2       | 9,59             | 7,21                         | 6,46                         |
| I3       | 8,15             | 8,15                         | 8,13                         |
| J1       | 8,50             | 6,59                         | 6,55                         |
| J2       | 8,52             | 8,52                         | 6,36                         |
| J3       | 8,53             | 6,87                         | 6,65                         |
| K1       | 10,94            | 9,75                         | 9,58                         |
| K2       | 10,89            | 9,70                         | 9,71                         |
| K3       | 10,87            | 9,70                         | 9,59                         |

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| L1       | 11,27            | 11,27                        | 11,27                        |
| L2       | 11,08            | 11,08                        | 11,08                        |
| L3       | 11,31            | 11,31                        | 11,31                        |
| L4       | 12,80            | 12,34                        | 11,97                        |
| L5       | 10,67            | 10,67                        | 10,67                        |
| L6       | 11,58            | 11,58                        | 11,58                        |

### Evolução de entropia geral na Metodologia IX

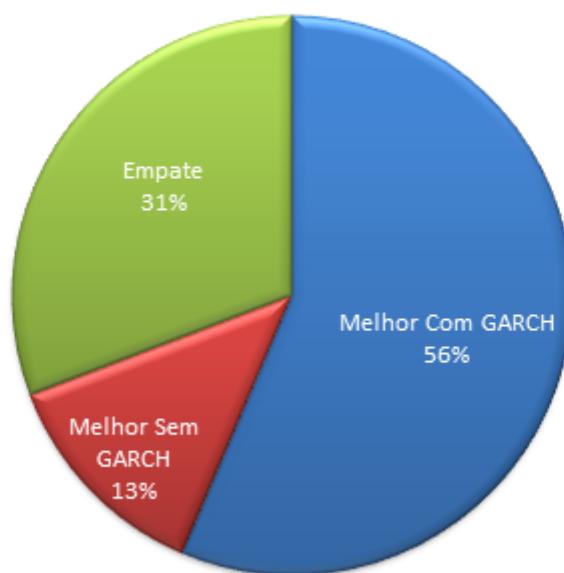


Figura 6.75: Gráfico com comparativo da evolução da entropia na Metodologia IX

Tabela 6.55: Tempo de execução (em segundos) dos algoritmos sem e com GARCH na Metodologia IX. Primeiro é exibido o tempo de execução sem a utilização do modelo GARCH, depois com o modelo. Parâmetros modelo se refere ao tempo gasto pelo algoritmo para o cálculo dos parâmetros do modelo, Resíduo refere-se ao tempo gasto pelo modelo para calcular o resíduo do modelo, Cod. Arit. refere-se ao tempo gasto pela codificação aritmética para comprimir o resíduo.

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| A1   | 327                  | < 1     | 3             | 330            | 702                  | 1       | 3             | 706            |
| A2   | 104                  | < 1     | 2             | 107            | 370                  | 1       | 2             | 373            |
| A3   | 430                  | 1       | 5             | 435            | 1.055                | 1       | 2             | 1.058          |
| B1   | 100                  | < 1     | 2             | 102            | 1.630                | < 1     | 1             | 1.631          |
| B2   | 105                  | < 1     | 3             | 108            | 1.318                | 1       | 1             | 1.320          |
| B3   | 98                   | < 1     | 1             | 99             | 1.238                | < 1     | 1             | 1.239          |
| C1   | 101                  | 1       | 5             | 107            | 545                  | 1       | 5             | 550            |
| C2   | 35                   | 1       | 3             | 39             | 251                  | < 1     | 1             | 252            |
| C3   | 39                   | 1       | 3             | 43             | 132                  | 1       | 3             | 136            |
| D1   | 43                   | < 1     | 1             | 45             | 288                  | 1       | 1             | 290            |
| D2   | 91                   | < 1     | 1             | 93             | 261                  | 1       | 3             | 265            |
| D3   | 209                  | 1       | 2             | 212            | 496                  | 1       | 3             | 500            |
| E1   | 16                   | < 1     | 1             | 17             | 85                   | < 1     | 1             | 86             |
| E2   | 16                   | < 1     | < 1           | 16             | 83                   | < 1     | 1             | 85             |
| E3   | 5                    | < 1     | < 1           | 5              | 34                   | < 1     | < 1           | 34             |
| F1   | 49                   | 1       | 3             | 53             | 223                  | < 1     | 1             | 224            |
| F2   | 97                   | < 1     | 1             | 97             | 297                  | 1       | 1             | 298            |
| F3   | 90                   | < 1     | 1             | 91             | 250                  | < 1     | 1             | 251            |
| G1   | 56                   | 1       | 2             | 58             | 158                  | < 1     | 1             | 159            |
| G2   | 48                   | 1       | 2             | 51             | 292                  | 1       | 2             | 295            |
| G3   | 59                   | < 1     | 1             | 60             | 328                  | < 1     | 2             | 330            |
| H1   | 50                   | < 1     | 1             | 51             | 102                  | < 1     | 1             | 104            |
| H2   | 56                   | 1       | 2             | 59             | 170                  | < 1     | 2             | 173            |
| H3   | 108                  | 1       | 4             | 113            | 186                  | 1       | 2             | 189            |
| I1   | 64                   | < 1     | 1             | 64             | 201                  | < 1     | 1             | 202            |
| I2   | 226                  | 1       | 1             | 227            | 550                  | 1       | 1             | 551            |
| I3   | 31                   | < 1     | 1             | 31             | 72                   | < 1     | 1             | 72             |
| J1   | 431                  | < 1     | 1             | 432            | 702                  | 2       | 2             | 706            |
| J2   | 455                  | 2       | 2             | 459            | 1.611                | 1       | 1             | 1.613          |

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| J3   | 1.104                | 2       | 1             | 1.106          | 2.078                | 1       | 2             | 2.081          |
| K1   | 116                  | < 1     | 1             | 117            | 398                  | < 1     | 1             | 399            |
| K2   | 479                  | < 1     | 1             | 480            | 850                  | < 1     | 1             | 851            |
| K3   | 153                  | 1       | 3             | 156            | 379                  | 1       | 2             | 382            |
| L1   | 71                   | < 1     | 3             | 74             | 386                  | 1       | 4             | 391            |
| L2   | 58                   | < 1     | 3             | 61             | 347                  | 1       | 1             | 349            |
| L3   | 56                   | < 1     | 2             | 58             | 294                  | < 1     | 2             | 297            |
| L4   | 257                  | < 1     | 2             | 259            | 606                  | 2       | 1             | 609            |
| L5   | 138                  | < 1     | 2             | 141            | 1.265                | 2       | 7             | 1.274          |
| L6   | 197                  | 1       | 8             | 206            | 661                  | 2       | 7             | 670            |

**Tempo relativo de execução da predição dos parâmetros dos modelos no tempo total de execução do algoritmo na Metodologia IX**

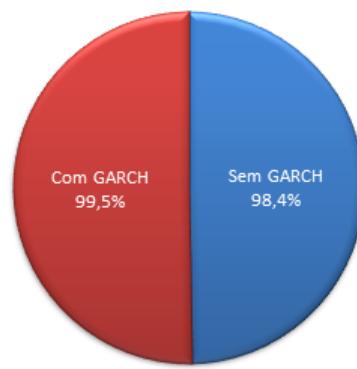


Figura 6.76: Gráfico com comparativo do tempo total relativo de cálculo dos parâmetros dos modelos sem e com GARCH na Metodologia IX

Tabela 6.56: Autocorrelação do dado original e dos resíduos gerados sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia IX

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| A1       | 6                      | 0                        | 0                        |
| A2       | 5                      | 0                        | 0                        |
| A3       | 6                      | 0                        | 0                        |
| B1       | 6                      | 6                        | 5                        |
| B2       | 6                      | 6                        | 5                        |
| B3       | 6                      | 6                        | 5                        |
| C1       | 2                      | 1                        | 0                        |
| C2       | 1                      | 0                        | 0                        |
| C3       | 2                      | 1                        | 0                        |
| D1       | 2                      | 1                        | 1                        |
| D2       | 2                      | 1                        | 4                        |
| D3       | 2                      | 3                        | 1                        |
| E1       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E2       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E3       | 4                      | 0                        | 0                        |
| F1       | 1                      | 1                        | 1                        |
| F2       | 6                      | 0                        | 4                        |
| F3       | 6                      | 0                        | 0                        |
| G1       | 1                      | 1                        | 1                        |
| G2       | 2                      | 1                        | 1                        |
| G3       | 6                      | 1                        | 1                        |
| H1       | 1                      | 0                        | 0                        |
| H2       | 1                      | 0                        | 0                        |
| H3       | 1                      | 0                        | 0                        |
| I1       | 7                      | 1                        | 1                        |
| I2       | 1                      | 0                        | 0                        |
| I3       | 1                      | 1                        | 1                        |
| J1       | 3                      | 1                        | 1                        |
| J2       | 3                      | 3                        | 7                        |
| J3       | 8                      | 1                        | 2                        |
| K1       | 3                      | 0                        | 0                        |
| K2       | 3                      | 0                        | 0                        |
| K3       | 2                      | 0                        | 1                        |

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| L1       | 2                      | 1                        | 5                        |
| L2       | 7                      | 0                        | 2                        |
| L3       | 11                     | 0                        | 1                        |
| L4       | 7                      | 0                        | 2                        |
| L5       | 7                      | 6                        | 0                        |
| L6       | 6                      | 0                        | 0                        |

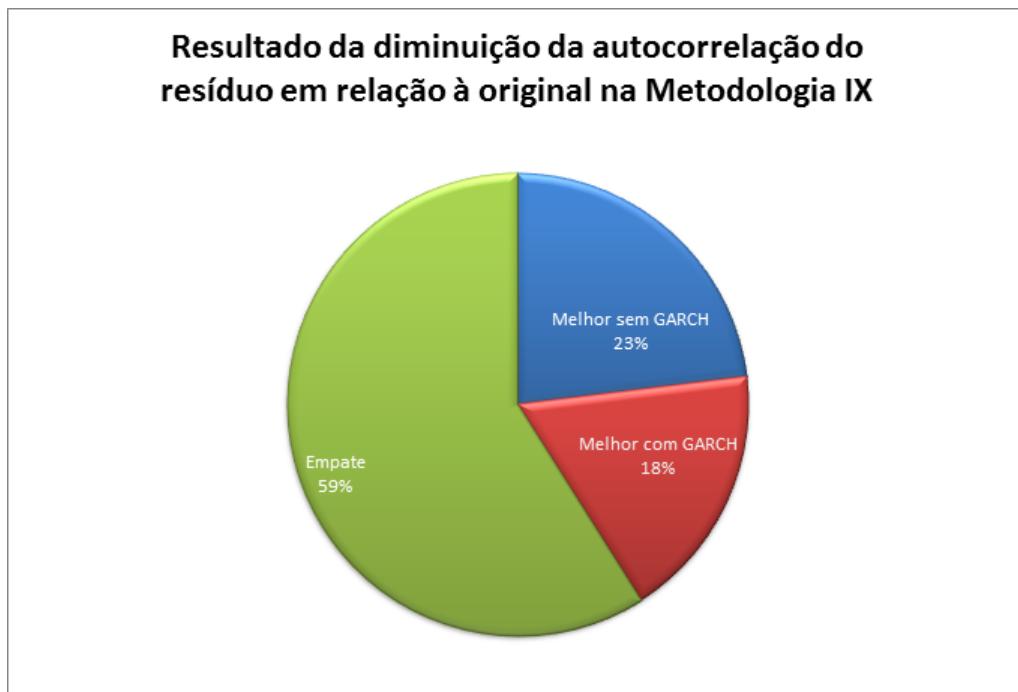


Figura 6.77: Gráfico com comparativo da redução relativa total da autocorrelação do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia IX

Tabela 6.57: Média e variância do dado original comparadas às do resíduo calculado sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia IX

| Conjunto | Média Original | Var. Original | Média Sem GARCH | Var. Sem GARCH | Média Com GARCH | Var. Com GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| A1       | 3,0E+04        | 1,8E+07       | 0,5             | 2,9E+05        | 0,5             | 2,9E+05        |
| A2       | 3,2E+04        | 1,1E+07       | 0,6             | 2,4E+05        | -2,6            | 2,4E+05        |
| A3       | 3,1E+04        | 1,4E+07       | 0,5             | 2,5E+05        | -3,1            | 2,6E+05        |
| B1       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 27.649,7        | 4,5E+05        | 5,1             | 9,8E+04        |
| B2       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 27.649,7        | 4,5E+05        | 5,1             | 9,8E+04        |
| B3       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 27.649,7        | 4,5E+05        | 5,1             | 9,8E+04        |
| C1       | 3,3E+04        | 8,1E+07       | 0,5             | 1,7E+07        | -18,7           | 1,8E+07        |
| C2       | 3,3E+04        | 4,0E+07       | 0,5             | 1,1E+07        | 2,9             | 1,2E+07        |
| C3       | 3,3E+04        | 5,7E+07       | 0,5             | 1,0E+07        | -26,4           | 1,0E+07        |
| D1       | 3,7E+04        | 4,1E+07       | 0,4             | 4,8E+06        | 1,8             | 5,2E+06        |
| D2       | 3,3E+04        | 1,2E+07       | 0,5             | 1,8E+06        | -1,5            | 1,9E+06        |
| D3       | 3,1E+04        | 1,0E+07       | 0,5             | 1,3E+06        | 5,2             | 5,5E+06        |
| E1       | 2,9E+04        | 5,8E+07       | -5,2            | 2,8E+07        | -23,6           | 2,8E+07        |
| E2       | 3,0E+04        | 5,8E+07       | -5,3            | 2,9E+07        | -17,1           | 2,9E+07        |
| E3       | 3,0E+04        | 6,0E+07       | -7,5            | 3,0E+07        | -52,8           | 3,0E+07        |
| F1       | 3,8E+04        | 3,9E+07       | 0,5             | 6,9E+06        | 13,6            | 7,6E+06        |
| F2       | 2,3E+04        | 5,4E+06       | 0,6             | 1,8E+05        | 0,1             | 3,4E+05        |
| F3       | 2,6E+04        | 6,0E+06       | 0,0             | 5,2E+04        | 0,5             | 6,7E+04        |
| G1       | 3,3E+04        | 3,3E+07       | 0,8             | 4,5E+06        | -6,1            | 5,0E+06        |
| G2       | 3,8E+04        | 1,9E+07       | 1,1             | 2,1E+06        | -10,4           | 2,1E+06        |
| G3       | 2,9E+04        | 3,6E+07       | 0,8             | 4,4E+06        | -95,1           | 4,6E+06        |
| H1       | 3,1E+04        | 3,6E+07       | 1,2             | 3,5E+07        | 15,1            | 3,5E+07        |
| H2       | 3,4E+04        | 8,1E+06       | 0,5             | 4,3E+06        | -9,0            | 4,4E+06        |
| H3       | 3,2E+04        | 7,3E+06       | 0,5             | 3,5E+06        | 8,9             | 3,5E+06        |
| I1       | 3,6E+04        | 1,2E+07       | 0,7             | 1,6E+06        | 8,6             | 1,9E+06        |
| I2       | 2,9E+04        | 1,2E+06       | -0,5            | 5,5E+04        | 0,1             | 8,7E+04        |
| I3       | 3,1E+04        | 3,3E+07       | 0,3             | 6,9E+06        | 1,9             | 7,2E+06        |
| J1       | 3,7E+04        | 1,2E+06       | -12,2           | 9,4E+03        | -3,0            | 9,2E+03        |
| J2       | 3,5E+04        | 1,5E+06       | 3,5E+04         | 1,5E+06        | 0,8             | 8,7E+04        |
| J3       | 3,3E+04        | 1,3E+06       | -1,3            | 8,2E+03        | 0,0             | 8,1E+03        |
| K1       | 3,9E+04        | 6,9E+06       | -0,8            | 1,9E+05        | 15,6            | 1,8E+05        |
| K2       | 4,0E+04        | 6,7E+06       | 2,2             | 1,2E+05        | 7,6             | 1,2E+05        |

| Conjunto | Média<br>Orig. | Var.<br>Orig. | Média<br>Sem<br>GARCH | Var.<br>Sem<br>GARCH | Média<br>Com<br>GARCH | Var.<br>Com<br>GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| K3       | 3,6E+04        | 5,8E+06       | 2,3                   | 2,0E+05              | 0,6                   | 2,6E+05              |
| L1       | 3,4E+04        | 2,9E+07       | 2,1                   | 4,9E+06              | -9,8                  | 5,2E+06              |
| L2       | 3,1E+04        | 1,5E+07       | -5,2                  | 4,2E+06              | 0,5                   | 4,7E+06              |
| L3       | 3,5E+04        | 1,3E+07       | 5,5                   | 7,6E+06              | 52,2                  | 7,6E+06              |
| L4       | 3,7E+04        | 1,8E+07       | 0,2                   | 4,6E+06              | 26,5                  | 6,4E+06              |
| L5       | 3,1E+04        | 5,1E+07       | -275,2                | 2,9E+06              | 0,3                   | 1,1E+06              |
| L6       | 3,2E+04        | 2,6E+07       | 0,5                   | 9,2E+05              | -5,1                  | 9,4E+05              |



Figura 6.78: Gráfico com comparativo da redução relativa total da variância do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia IX

### 6.2.10 Metodologia X

A Metodologia X utiliza parâmetros fixos para o modelo, de forma que eles não precisam ser enviados para o decodificador. O parâmetro autoregressivo ( $p$ , na equação 4.5) foi testado sempre com o valor um, assim como o de médias móveis ( $q$ , na equação 4.5). Cada conjunto foi testado duas vezes, uma com e a outra sem a utilização do modelo GARCH(1, 1).

Os parâmetros escolhidos representam a média dos experimentos anteriores. Seus valores estão enumerados na tabela 6.58.

---

Tabela 6.58: Valores dos parâmetros autoregressivo (AR), médias móveis (MA), ARCH e GARCH utilizados nos testes

| Parâmetro | Valor  |
|-----------|--------|
| AR        | 0.1180 |
| MA        | 0.2701 |
| ARCH      | 0.3886 |
| GARCH     | 0.5466 |

---

Para a descompressão, serão necessários os seguintes itens:

1. **Existência do GARCH:** 1 bit indicando ao decodificador se o modelo GARCH foi usado.
2. **Resíduo do modelo:** o conjunto de resíduos do modelo, comprimido com a codificação aritmética, também é necessário para a descompressão.

Portanto, o tamanho mínimo do arquivo comprimido dá-se pela equação 6.19. Já o tamanho final do arquivo comprimido é descrito pela equação 6.20, onde  $TRC_{met10}$  é o tamanho do resíduo comprimido.

$$TM_{met10} = 1 \text{ bit} \quad (6.19)$$

$$TF_{met10} = TM_{met10} + TRC_{met10} \text{ bits} \quad (6.20)$$

#### 6.2.10.1 Métricas obtidas

Tabela 6.59: Comparativo de quantidade de experimentos cujas soluções convergiram com e sem a utilização do GARCH na metodologia X

| Cenário   | Total experimentos | Convergiram | Não convergiram | % sucesso |
|-----------|--------------------|-------------|-----------------|-----------|
| Sem GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |
| Com GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |

Tabela 6.60: Razão de compressão dos experimentos sem e com GARCH na Metodologia X. Valores em bytes.

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| A1       | 1152000          | 1003400                      | 1003400                      | 1,15                       | 1,15                       |
| A2       | 1152000          | 966743                       | 966739                       | 1,19                       | 1,19                       |
| A3       | 1152000          | 985836                       | 985839                       | 1,17                       | 1,17                       |

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| B1       | 518592           | 354038                       | 354074                       | 1,46                       | 1,46                       |
| B2       | 518592           | 354038                       | 354074                       | 1,46                       | 1,46                       |
| B3       | 518592           | 354038                       | 354074                       | 1,46                       | 1,46                       |
| C1       | 288192           | 282095                       | 282096                       | 1,02                       | 1,02                       |
| C2       | 288192           | 268248                       | 268248                       | 1,07                       | 1,07                       |
| C3       | 288192           | 278128                       | 278128                       | 1,04                       | 1,04                       |
| D1       | 331200           | 291097                       | 291097                       | 1,14                       | 1,14                       |
| D2       | 331200           | 278600                       | 278601                       | 1,19                       | 1,19                       |
| D3       | 331200           | 258797                       | 258799                       | 1,28                       | 1,28                       |
| E1       | 33792            | 31771                        | 31771                        | 1,06                       | 1,06                       |
| E2       | 33792            | 31928                        | 31928                        | 1,06                       | 1,06                       |
| E3       | 33792            | 32051                        | 32051                        | 1,05                       | 1,05                       |
| F1       | 220992           | 195331                       | 195331                       | 1,13                       | 1,13                       |
| F2       | 220992           | 153419                       | 153426                       | 1,44                       | 1,44                       |
| F3       | 220992           | 165199                       | 165199                       | 1,34                       | 1,34                       |
| G1       | 139392           | 125367                       | 125367                       | 1,11                       | 1,11                       |
| G2       | 139392           | 120337                       | 120339                       | 1,16                       | 1,16                       |
| G3       | 139392           | 126437                       | 126437                       | 1,10                       | 1,10                       |
| H1       | 360192           | 328186                       | 328187                       | 1,10                       | 1,10                       |
| H2       | 360192           | 297864                       | 297864                       | 1,21                       | 1,21                       |
| H3       | 360192           | 297359                       | 297359                       | 1,21                       | 1,21                       |
| I1       | 221184           | 180127                       | 180127                       | 1,23                       | 1,23                       |
| I2       | 221184           | 152397                       | 152393                       | 1,45                       | 1,45                       |
| I3       | 221184           | 184878                       | 184879                       | 1,20                       | 1,20                       |
| J1       | 591936           | 392522                       | 392528                       | 1,51                       | 1,51                       |
| J2       | 591936           | 389230                       | 389230                       | 1,52                       | 1,52                       |
| J3       | 591936           | 397656                       | 397704                       | 1,49                       | 1,49                       |
| K1       | 288000           | 220927                       | 220927                       | 1,30                       | 1,30                       |
| K2       | 288000           | 216235                       | 216248                       | 1,33                       | 1,33                       |
| K3       | 288000           | 215473                       | 215473                       | 1,34                       | 1,34                       |
| L1       | 480192           | 429382                       | 429384                       | 1,12                       | 1,12                       |
| L2       | 480192           | 408630                       | 408632                       | 1,18                       | 1,18                       |
| L3       | 480192           | 421849                       | 421850                       | 1,14                       | 1,14                       |
| L4       | 480192           | 419455                       | 419455                       | 1,14                       | 1,14                       |
| L5       | 480192           | 444338                       | 444340                       | 1,08                       | 1,08                       |

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| L6       | 480192           | 430385                       | 430384                       | 1,12                       | 1,12                       |

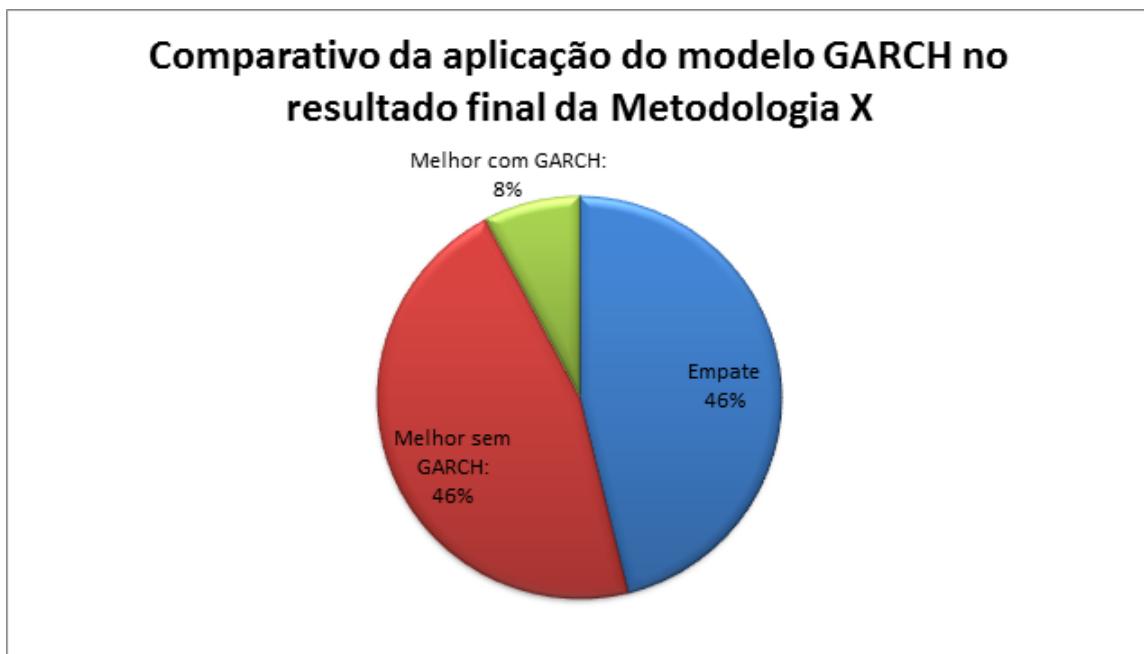


Figura 6.79: Gráfico com comparativo da razão de compressão na Metodologia X

Tabela 6.61: Evolução da entropia do dado original e do resíduo calculado na metodologia X

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| A1       | 11,30            | 11,30                        | 11,30                        |
| A2       | 11,30            | 11,30                        | 11,30                        |
| A3       | 11,27            | 11,27                        | 11,27                        |
| B1       | 7,64             | 7,18                         | 7,19                         |
| B2       | 7,64             | 7,18                         | 7,19                         |
| B3       | 7,64             | 7,18                         | 7,19                         |
| C1       | 12,34            | 12,33                        | 12,33                        |
| C2       | 13,18            | 13,04                        | 13,04                        |
| C3       | 13,17            | 13,06                        | 13,05                        |
| D1       | 9,48             | 9,48                         | 9,48                         |
| D2       | 12,38            | 12,16                        | 12,16                        |
| D3       | 6,45             | 6,45                         | 6,45                         |
| E1       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| E2       | 10,78            | 10,78                        | 10,78                        |
| E3       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| F1       | 10,20            | 10,18                        | 10,18                        |
| F2       | 8,20             | 7,98                         | 7,98                         |
| F3       | 9,27             | 9,10                         | 9,10                         |
| G1       | 12,03            | 11,97                        | 11,98                        |
| G2       | 11,79            | 11,68                        | 11,70                        |
| G3       | 12,06            | 12,00                        | 12,01                        |
| H1       | 8,44             | 8,44                         | 8,44                         |
| H2       | 12,29            | 12,17                        | 12,16                        |
| H3       | 12,33            | 12,15                        | 12,15                        |
| I1       | 8,14             | 8,11                         | 8,11                         |
| I2       | 9,59             | 9,20                         | 9,20                         |
| I3       | 8,15             | 8,13                         | 8,09                         |
| J1       | 8,50             | 8,13                         | 8,13                         |
| J2       | 8,52             | 8,16                         | 8,16                         |
| J3       | 8,53             | 8,16                         | 8,16                         |
| K1       | 10,94            | 10,65                        | 10,65                        |
| K2       | 10,89            | 10,60                        | 10,60                        |
| K3       | 10,87            | 10,58                        | 10,58                        |

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| L1       | 11,27            | 11,27                        | 11,27                        |
| L2       | 11,08            | 11,08                        | 11,08                        |
| L3       | 11,31            | 11,31                        | 11,31                        |
| L4       | 12,80            | 12,80                        | 12,80                        |
| L5       | 10,67            | 10,67                        | 10,67                        |
| L6       | 11,58            | 11,58                        | 11,58                        |

### Evolução de entropia geral na Metodologia X

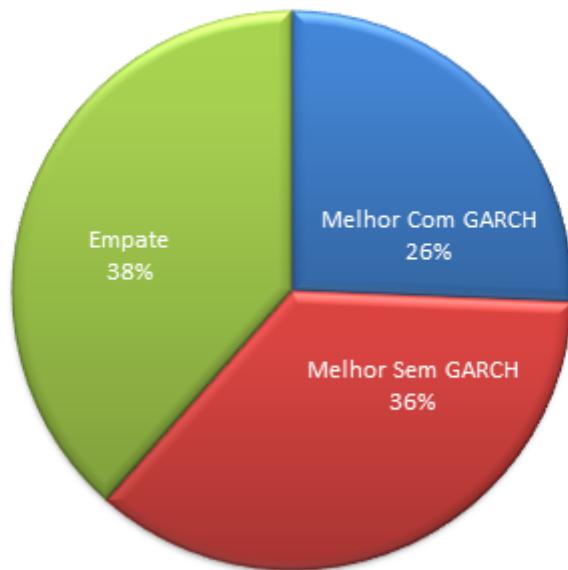


Figura 6.80: Gráfico com comparativo da evolução da entropia na Metodologia X

Tabela 6.62: Tempo de execução (em segundos) dos algoritmos sem e com GARCH na Metodologia X. Primeiro é exibido o tempo de execução sem a utilização do modelo GARCH, depois com o modelo. Parâmetros modelo se refere ao tempo gasto pelo algoritmo para o cálculo dos parâmetros do modelo, Resíduo refere-se ao tempo gasto pelo modelo para calcular o resíduo do modelo, Cod. Arit. refere-se ao tempo gasto pela codificação aritmética para comprimir o resíduo.

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| A1   | 7                    | 1       | 9             | 17             | 434                  | 2       | 13            | 449            |
| A2   | 6                    | < 1     | 3             | 10             | 62                   | 1       | 4             | 66             |
| A3   | 6                    | 1       | 3             | 10             | 50                   | 1       | 3             | 54             |
| B1   | 3                    | < 1     | 1             | 4              | 155                  | < 1     | 1             | 156            |
| B2   | 10                   | 1       | 2             | 12             | 200                  | < 1     | 1             | 201            |
| B3   | 10                   | < 1     | 1             | 12             | 346                  | < 1     | 1             | 348            |
| C1   | 11                   | < 1     | 1             | 13             | 32                   | < 1     | 2             | 34             |
| C2   | 2                    | < 1     | 3             | 5              | 12                   | < 1     | 4             | 16             |
| C3   | 3                    | < 1     | 1             | 4              | 40                   | < 1     | 1             | 41             |
| D1   | 3                    | 1       | 5             | 8              | 13                   | 1       | 5             | 19             |
| D2   | 2                    | < 1     | 4             | 7              | 35                   | 1       | 1             | 38             |
| D3   | 5                    | < 1     | 1             | 6              | 29                   | 1       | 1             | 30             |
| E1   | 1                    | < 1     | < 1           | 1              | 6                    | < 1     | 1             | 7              |
| E2   | 7                    | 1       | 1             | 9              | 4                    | < 1     | < 1           | 5              |
| E3   | 1                    | < 1     | < 1           | 1              | 2                    | < 1     | < 1           | 3              |
| F1   | 7                    | 1       | 2             | 9              | 11                   | 1       | 2             | 13             |
| F2   | 5                    | < 1     | < 1           | 6              | 18                   | 1       | 1             | 20             |
| F3   | 3                    | < 1     | 1             | 4              | 20                   | 1       | 2             | 23             |
| G1   | 1                    | < 1     | 1             | 2              | 22                   | 1       | 2             | 25             |
| G2   | 3                    | < 1     | 2             | 6              | 19                   | 1       | 2             | 21             |
| G3   | 10                   | 1       | 1             | 11             | 18                   | < 1     | 1             | 19             |
| H1   | 7                    | < 1     | 1             | 9              | 37                   | 1       | 3             | 41             |
| H2   | 7                    | 1       | 5             | 12             | 33                   | < 1     | 4             | 38             |
| H3   | 3                    | < 1     | 4             | 7              | 35                   | < 1     | 1             | 37             |
| I1   | 3                    | < 1     | 1             | 3              | 27                   | < 1     | 1             | 28             |
| I2   | 11                   | < 1     | < 1           | 12             | 85                   | 1       | 2             | 88             |
| I3   | 1                    | < 1     | 1             | 2              | 17                   | < 1     | 1             | 18             |
| J1   | 3                    | < 1     | 1             | 4              | 106                  | < 1     | 1             | 107            |
| J2   | 10                   | 1       | 1             | 12             | 170                  | < 1     | 1             | 170            |

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| J3   | 11                   | < 1     | 1             | 13             | 215                  | 1       | 1             | 217            |
| K1   | 6                    | 1       | 3             | 9              | 11                   | 1       | 3             | 14             |
| K2   | 2                    | < 1     | 1             | 3              | 28                   | < 1     | 1             | 29             |
| K3   | 7                    | < 1     | 1             | 8              | 12                   | 1       | 2             | 14             |
| L1   | 7                    | 1       | 5             | 13             | 44                   | < 1     | 2             | 46             |
| L2   | 4                    | < 1     | 4             | 8              | 19                   | 1       | 2             | 23             |
| L3   | 3                    | < 1     | 6             | 10             | 45                   | 1       | 3             | 49             |
| L4   | 4                    | 1       | 7             | 12             | 16                   | < 1     | 2             | 18             |
| L5   | 8                    | 1       | 4             | 13             | 71                   | < 1     | 2             | 73             |
| L6   | 10                   | 1       | 2             | 13             | 156                  | < 1     | 2             | 158            |

**Tempo relativo de execução da predição dos parâmetros dos modelos no tempo total de execução do algoritmo na Metodologia X**

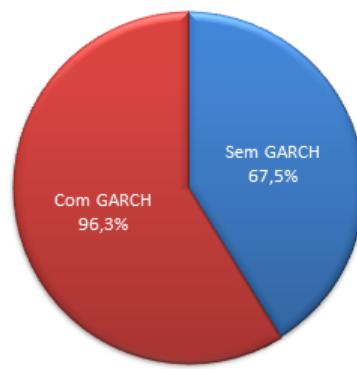


Figura 6.81: Gráfico com comparativo do tempo total relativo de cálculo dos parâmetros dos modelos sem e com GARCH na Metodologia X

Tabela 6.63: Autocorrelação do dado original e dos resíduos gerados sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia X

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| A1       | 6                      | 5                        | 5                        |
| A2       | 5                      | 5                        | 5                        |
| A3       | 6                      | 6                        | 6                        |
| B1       | 6                      | 6                        | 6                        |
| B2       | 6                      | 6                        | 6                        |
| B3       | 6                      | 6                        | 6                        |
| C1       | 2                      | 1                        | 1                        |
| C2       | 1                      | 1                        | 1                        |
| C3       | 2                      | 2                        | 2                        |
| D1       | 2                      | 2                        | 2                        |
| D2       | 2                      | 1                        | 1                        |
| D3       | 2                      | 2                        | 2                        |
| E1       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E2       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E3       | 4                      | 0                        | 0                        |
| F1       | 1                      | 1                        | 1                        |
| F2       | 6                      | 6                        | 6                        |
| F3       | 6                      | 6                        | 6                        |
| G1       | 1                      | 1                        | 1                        |
| G2       | 2                      | 6                        | 6                        |
| G3       | 6                      | 1                        | 1                        |
| H1       | 1                      | 1                        | 1                        |
| H2       | 1                      | 1                        | 1                        |
| H3       | 1                      | 1                        | 1                        |
| I1       | 7                      | 6                        | 6                        |
| I2       | 1                      | 1                        | 1                        |
| I3       | 1                      | 1                        | 1                        |
| J1       | 3                      | 8                        | 8                        |
| J2       | 3                      | 8                        | 8                        |
| J3       | 8                      | 7                        | 7                        |
| K1       | 3                      | 3                        | 3                        |
| K2       | 3                      | 2                        | 2                        |
| K3       | 2                      | 2                        | 2                        |

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| L1       | 2                      | 1                        | 1                        |
| L2       | 7                      | 3                        | 3                        |
| L3       | 11                     | 8                        | 8                        |
| L4       | 7                      | 6                        | 6                        |
| L5       | 7                      | 7                        | 7                        |
| L6       | 6                      | 6                        | 6                        |

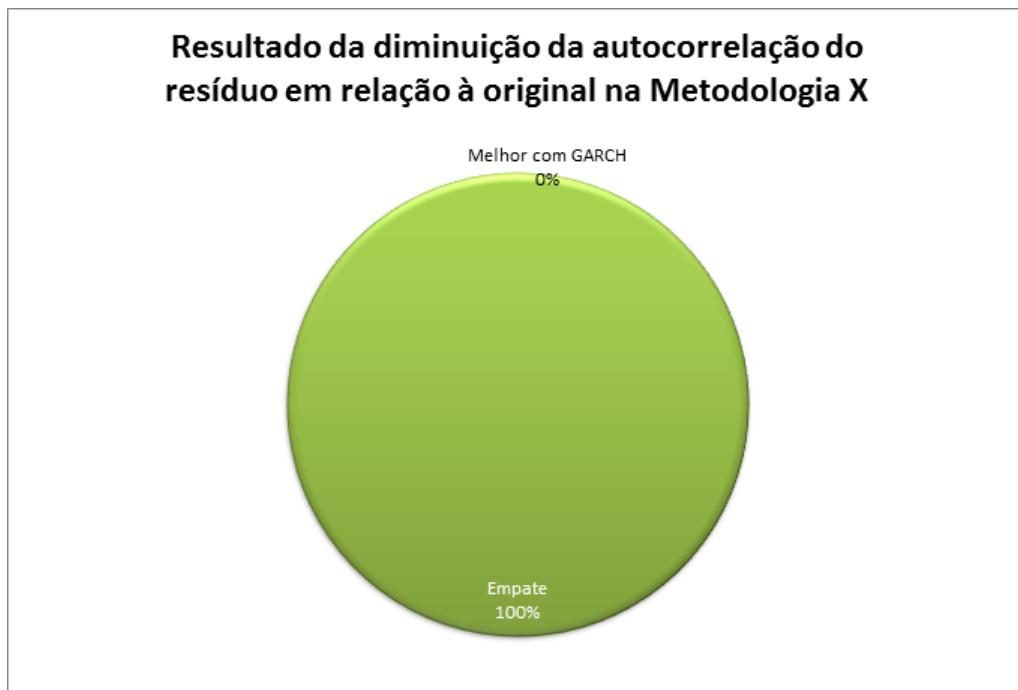


Figura 6.82: Gráfico com comparativo da redução relativa total da autocorrelação do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia X

Tabela 6.64: Média e variância do dado original comparadas às do resíduo calculado sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia X

| Conjunto | Média Original | Var. Original | Média Sem GARCH | Var. Sem GARCH | Média Com GARCH | Var. Com GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| A1       | 3,0E+04        | 1,8E+07       | 0,4             | 9,1E+06        | -66,6           | 9,1E+06        |
| A2       | 3,2E+04        | 1,1E+07       | 0,5             | 5,3E+06        | -25,9           | 5,3E+06        |
| A3       | 3,1E+04        | 1,4E+07       | 0,5             | 7,1E+06        | -25,4           | 7,1E+06        |
| B1       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,5             | 2,2E+05        | 0,2             | 2,2E+05        |
| B2       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,5             | 2,2E+05        | 0,2             | 2,2E+05        |
| B3       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,5             | 2,2E+05        | 0,2             | 2,2E+05        |
| C1       | 3,3E+04        | 8,1E+07       | 0,3             | 4,7E+07        | -34,6           | 4,7E+07        |
| C2       | 3,3E+04        | 4,0E+07       | 0,3             | 2,4E+07        | 0,3             | 2,4E+07        |
| C3       | 3,3E+04        | 5,7E+07       | 0,3             | 3,2E+07        | -34,9           | 3,2E+07        |
| D1       | 3,7E+04        | 4,1E+07       | 0,4             | 2,3E+07        | 0,4             | 2,3E+07        |
| D2       | 3,3E+04        | 1,2E+07       | 0,4             | 6,8E+06        | -21,7           | 6,8E+06        |
| D3       | 3,1E+04        | 1,0E+07       | 0,4             | 5,7E+06        | -2,5            | 5,7E+06        |
| E1       | 2,9E+04        | 5,8E+07       | -0,5            | 4,8E+07        | -0,6            | 4,8E+07        |
| E2       | 3,0E+04        | 5,8E+07       | -0,5            | 4,8E+07        | -0,5            | 4,8E+07        |
| E3       | 3,0E+04        | 6,0E+07       | -0,5            | 5,0E+07        | -0,5            | 5,0E+07        |
| F1       | 3,8E+04        | 3,9E+07       | 0,2             | 2,3E+07        | 0,2             | 2,3E+07        |
| F2       | 2,3E+04        | 5,4E+06       | 0,3             | 3,0E+06        | 5,9             | 3,0E+06        |
| F3       | 2,6E+04        | 6,0E+06       | 0,3             | 3,3E+06        | -8,8            | 3,3E+06        |
| G1       | 3,3E+04        | 3,3E+07       | 0,1             | 1,9E+07        | 28,2            | 1,9E+07        |
| G2       | 3,8E+04        | 1,9E+07       | 0,1             | 1,1E+07        | -19,6           | 1,1E+07        |
| G3       | 2,9E+04        | 3,6E+07       | 0,2             | 2,0E+07        | 27,0            | 2,0E+07        |
| H1       | 3,1E+04        | 3,6E+07       | 0,5             | 3,7E+07        | 10,7            | 3,7E+07        |
| H2       | 3,4E+04        | 8,1E+06       | 0,4             | 5,4E+06        | -6,5            | 5,4E+06        |
| H3       | 3,2E+04        | 7,3E+06       | 0,4             | 4,8E+06        | 20,3            | 4,8E+06        |
| I1       | 3,6E+04        | 1,2E+07       | 0,3             | 6,4E+06        | 73,2            | 6,4E+06        |
| I2       | 2,9E+04        | 1,2E+06       | 0,3             | 7,0E+05        | 2,2             | 7,0E+05        |
| I3       | 3,1E+04        | 3,3E+07       | 0,3             | 1,9E+07        | -12,8           | 1,9E+07        |
| J1       | 3,7E+04        | 1,2E+06       | 0,4             | 8,4E+05        | 0,2             | 8,4E+05        |
| J2       | 3,5E+04        | 1,5E+06       | 0,4             | 1,0E+06        | 0,5             | 1,0E+06        |
| J3       | 3,3E+04        | 1,3E+06       | 0,4             | 8,8E+05        | 0,1             | 8,8E+05        |
| K1       | 3,9E+04        | 6,9E+06       | 0,3             | 3,7E+06        | 0,3             | 3,7E+06        |
| K2       | 4,0E+04        | 6,7E+06       | 0,3             | 3,5E+06        | 2,1             | 3,5E+06        |

| Conjunto | Média<br>Orig. | Var.<br>Orig. | Média<br>Sem<br>GARCH | Var.<br>Sem<br>GARCH | Média<br>Com<br>GARCH | Var.<br>Com<br>GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| K3       | 3,6E+04        | 5,8E+06       | 0,3                   | 3,1E+06              | 0,3                   | 3,1E+06              |
| L1       | 3,4E+04        | 2,9E+07       | 0,4                   | 1,7E+07              | -52,9                 | 1,7E+07              |
| L2       | 3,1E+04        | 1,5E+07       | 0,4                   | 9,2E+06              | 0,4                   | 9,2E+06              |
| L3       | 3,5E+04        | 1,3E+07       | 0,4                   | 9,0E+06              | -17,2                 | 9,0E+06              |
| L4       | 3,7E+04        | 1,8E+07       | 0,4                   | 1,0E+07              | 0,4                   | 1,0E+07              |
| L5       | 3,1E+04        | 5,1E+07       | 0,4                   | 2,5E+07              | 16,4                  | 2,5E+07              |
| L6       | 3,2E+04        | 2,6E+07       | 0,4                   | 1,3E+07              | -56,2                 | 1,3E+07              |



Figura 6.83: Gráfico com comparativo da redução relativa total da variância do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia X

### 6.2.11 Metodologia XI

Na Metodologia XI, a função de autorrelação foi utilizada para escolher o valor do parâmetro autoregressivo ( $p$ , na equação 4.5). O parâmetro de médias móveis ( $q$ , na equação 4.5) foi testado sempre com o valor zero, reduzindo a equação a um modelo autoregressivo. Cada conjunto foi testado duas vezes, uma com e a outra sem a utilização do modelo GARCH(1, 1). A tabela 6.1 apresenta o valor de autocorrelação utilizado em cada conjunto. Além disso, o operador diferença ( $d$ , na equação 4.1) foi testado com o valor um.

Para a descompressão, serão necessários os seguintes itens:

1. **Valor de AR:** 32 bits indicando  $p$  na equação 4.5.
2. **Valor de ARCH:** 32 bits indicando  $\bar{\alpha}$  na equação 4.7.
3. **Valor de GARCH:** 32 bits indicando  $\bar{\beta}$  na equação 4.7.
4. **Parâmetros AR calculados:**  $p \times 32$  bits indicando os parâmetros AR calculados ( $\alpha_1, \dots, p$ , na equação 4.5).
5. **Parâmetros ARCH calculados:**  $\bar{\alpha} \times 32$  bits indicando os parâmetros ARCH calculados ( $\sigma_1, \dots, \bar{p}$ , na equação 4.7).
6. **Parâmetros GARCH calculados:**  $\bar{\beta} \times 32$  bits indicando os parâmetros GARCH calculados ( $h_1, \dots, \bar{q}$ , na equação 4.7).
7. **Resíduo do modelo:** o conjunto de resíduos do modelo, comprimido com a codificação aritmética, também é necessário para a descompressão.

Portanto, o tamanho final do arquivo comprimido é descrito pela mesma equação da Metodologia I (equação 6.2).

#### 6.2.11.1 Métricas obtidas

Tabela 6.65: Comparativo de quantidade de experimentos cujas soluções convergiram com e sem a utilização do GARCH na metodologia XI

| Cenário   | Total experimentos | Convergiram | Não convergiram | % sucesso |
|-----------|--------------------|-------------|-----------------|-----------|
| Sem GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |
| Com GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |

Tabela 6.66: Razão de compressão dos experimentos sem e com GARCH na Metodologia XI. Valores em bytes.

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| A1       | 1152000          | 856545                       | 858576                       | 1,34                       | 1,34                       |
| A2       | 1152000          | 802099                       | 798943                       | 1,44                       | 1,44                       |
| A3       | 1152000          | 847813                       | 844911                       | 1,36                       | 1,36                       |
| B1       | 518592           | 133361                       | 169322                       | 3,89                       | 3,06                       |
| B2       | 518592           | 133361                       | 169322                       | 3,89                       | 3,06                       |
| B3       | 518592           | 133361                       | 169322                       | 3,89                       | 3,06                       |
| C1       | 288192           | 264062                       | 261054                       | 1,09                       | 1,10                       |
| C2       | 288192           | 250907                       | 244979                       | 1,15                       | 1,18                       |
| C3       | 288192           | 258755                       | 256470                       | 1,11                       | 1,12                       |
| D1       | 331200           | 273642                       | 272800                       | 1,21                       | 1,21                       |
| D2       | 331200           | 268948                       | 266256                       | 1,23                       | 1,24                       |
| D3       | 331200           | 232585                       | 246461                       | 1,42                       | 1,34                       |
| E1       | 33792            | 32569                        | 32561                        | 1,04                       | 1,04                       |
| E2       | 33792            | 32727                        | 32756                        | 1,03                       | 1,03                       |
| E3       | 33792            | 32751                        | 32829                        | 1,03                       | 1,03                       |
| F1       | 220992           | 197978                       | 197568                       | 1,12                       | 1,12                       |
| F2       | 220992           | 130887                       | 126098                       | 1,69                       | 1,75                       |
| F3       | 220992           | 126840                       | 124159                       | 1,74                       | 1,78                       |

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| G1       | 139392           | 125258                       | 125341                       | 1,11                       | 1,11                       |
| G2       | 139392           | 74114                        | 71175                        | 1,88                       | 1,96                       |
| G3       | 139392           | 94546                        | 94616                        | 1,47                       | 1,47                       |
| H1       | 360192           | 329017                       | 328935                       | 1,09                       | 1,10                       |
| H2       | 360192           | 298639                       | 295897                       | 1,21                       | 1,22                       |
| H3       | 360192           | 297406                       | 297740                       | 1,21                       | 1,21                       |
| I1       | 221184           | 163059                       | 160210                       | 1,36                       | 1,38                       |
| I2       | 221184           | 121015                       | 130559                       | 1,83                       | 1,69                       |
| I3       | 221184           | 168751                       | 168833                       | 1,31                       | 1,31                       |
| J1       | 591936           | 299654                       | 315133                       | 1,98                       | 1,88                       |
| J2       | 591936           | 285205                       | 314593                       | 2,08                       | 1,88                       |
| J3       | 591936           | 304686                       | 321799                       | 1,94                       | 1,84                       |
| K1       | 288000           | 196269                       | 201172                       | 1,47                       | 1,43                       |
| K2       | 288000           | 201664                       | 200144                       | 1,43                       | 1,44                       |
| K3       | 288000           | 192825                       | 194431                       | 1,49                       | 1,48                       |
| L1       | 480192           | 391905                       | 391323                       | 1,23                       | 1,23                       |
| L2       | 480192           | 388929                       | 402971                       | 1,23                       | 1,19                       |
| L3       | 480192           | 407820                       | 404180                       | 1,18                       | 1,19                       |
| L4       | 480192           | 384451                       | 396833                       | 1,25                       | 1,21                       |
| L5       | 480192           | 378081                       | 376861                       | 1,27                       | 1,27                       |
| L6       | 480192           | 381242                       | 380545                       | 1,26                       | 1,26                       |

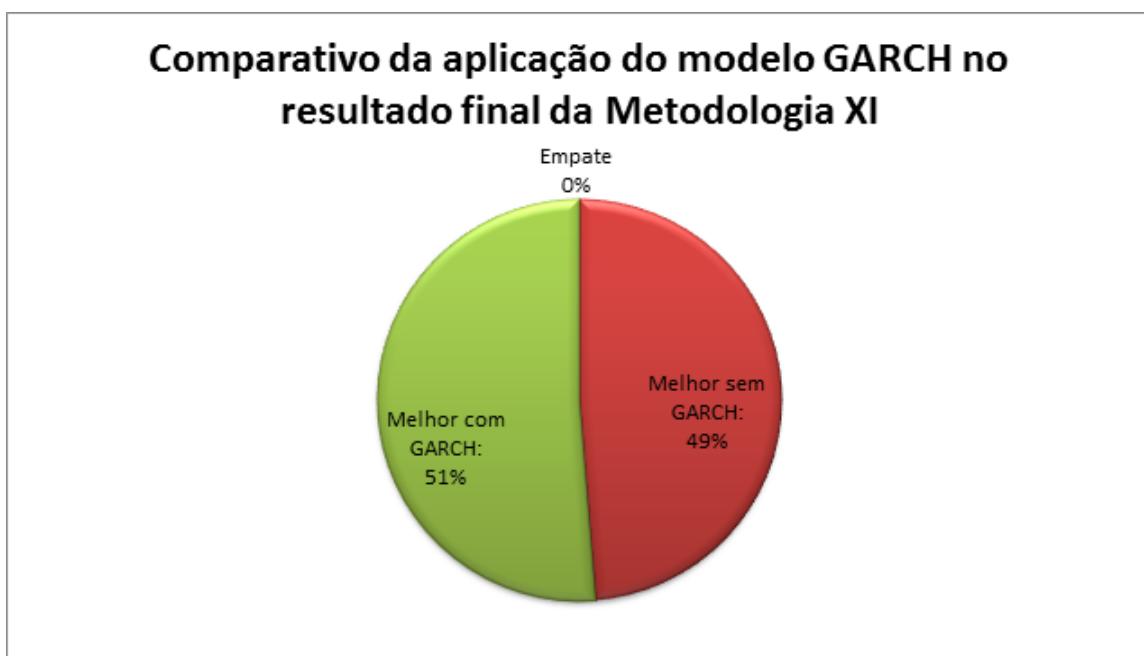


Figura 6.84: Gráfico com comparativo da razão de compressão na Metodologia XI

Tabela 6.67: Evolução da entropia do dado original e do resíduo calculado na metodologia XI

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| A1       | 11,30            | 10,94                        | 10,92                        |
| A2       | 11,30            | 10,52                        | 10,50                        |
| A3       | 11,27            | 10,64                        | 10,63                        |
| B1       | 7,64             | 3,10                         | 2,76                         |
| B2       | 7,64             | 3,10                         | 2,76                         |
| B3       | 7,64             | 3,10                         | 2,76                         |
| C1       | 12,34            | 12,02                        | 11,99                        |
| C2       | 13,18            | 12,65                        | 12,59                        |
| C3       | 13,17            | 12,65                        | 12,64                        |
| D1       | 9,48             | 9,12                         | 9,12                         |
| D2       | 12,38            | 11,23                        | 11,16                        |
| D3       | 6,45             | 6,15                         | 6,07                         |
| E1       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| E2       | 10,78            | 10,78                        | 10,78                        |
| E3       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| F1       | 10,20            | 10,07                        | 10,06                        |
| F2       | 8,20             | 7,07                         | 7,05                         |
| F3       | 9,27             | 7,36                         | 7,24                         |
| G1       | 12,03            | 11,71                        | 11,72                        |
| G2       | 11,79            | 7,80                         | 7,52                         |
| G3       | 12,06            | 9,23                         | 9,24                         |
| H1       | 8,44             | 8,44                         | 8,44                         |
| H2       | 12,29            | 12,15                        | 12,14                        |
| H3       | 12,33            | 12,18                        | 12,17                        |
| I1       | 8,14             | 7,62                         | 7,60                         |
| I2       | 9,59             | 7,28                         | 6,54                         |
| I3       | 8,15             | 7,79                         | 7,78                         |
| J1       | 8,50             | 6,76                         | 6,25                         |
| J2       | 8,52             | 6,78                         | 6,33                         |
| J3       | 8,53             | 6,81                         | 6,29                         |
| K1       | 10,94            | 10,07                        | 10,01                        |
| K2       | 10,89            | 9,99                         | 9,95                         |
| K3       | 10,87            | 9,97                         | 9,93                         |

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| L1       | 11,27            | 11,27                        | 11,27                        |
| L2       | 11,08            | 11,08                        | 11,08                        |
| L3       | 11,31            | 11,31                        | 11,31                        |
| L4       | 12,80            | 11,97                        | 11,80                        |
| L5       | 10,67            | 10,67                        | 10,67                        |
| L6       | 11,58            | 11,58                        | 11,58                        |

### Evolução de entropia geral na Metodologia XI

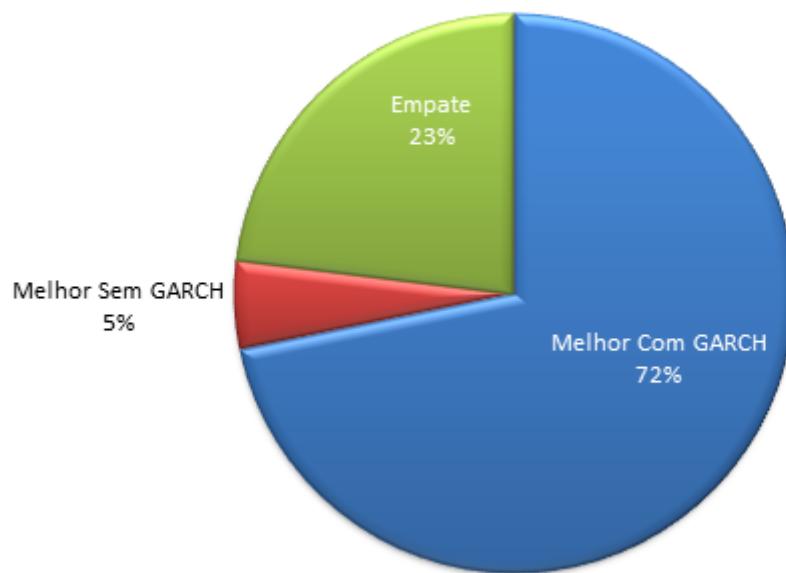


Figura 6.85: Gráfico com comparativo da evolução da entropia na Metodologia XI

Tabela 6.68: Tempo de execução (em segundos) dos algoritmos sem e com GARCH na Metodologia XI. Primeiro é exibido o tempo de execução sem a utilização do modelo GARCH, depois com o modelo. Parâmetros modelo se refere ao tempo gasto pelo algoritmo para o cálculo dos parâmetros do modelo, Resíduo refere-se ao tempo gasto pelo modelo para calcular o resíduo do modelo, Cod. Arit. refere-se ao tempo gasto pela codificação aritmética para comprimir o resíduo.

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| A1   | 256                  | 2       | 4             | 262            | 460                  | 1       | 2             | 463            |
| A2   | 71                   | 2       | 3             | 76             | 1.272                | 3       | 8             | 1.283          |
| A3   | 159                  | 1       | 3             | 163            | 1.932                | 1       | 4             | 1.937          |
| B1   | 30                   | 1       | 3             | 34             | 590                  | 1       | < 1           | 592            |
| B2   | 35                   | 1       | 1             | 37             | 583                  | 1       | 2             | 586            |
| B3   | 32                   | 1       | 3             | 36             | 582                  | < 1     | < 1           | 583            |
| C1   | 7                    | < 1     | 1             | 8              | 96                   | < 1     | 1             | 97             |
| C2   | 15                   | 1       | 3             | 18             | 113                  | 1       | 2             | 116            |
| C3   | 13                   | < 1     | 1             | 14             | 105                  | < 1     | 1             | 105            |
| D1   | 15                   | 1       | 3             | 19             | 106                  | 1       | 2             | 109            |
| D2   | 15                   | 1       | 3             | 19             | 335                  | < 1     | 1             | 336            |
| D3   | 11                   | 1       | 2             | 14             | 311                  | 1       | 2             | 314            |
| E1   | 6                    | < 1     | < 1           | 7              | 44                   | < 1     | < 1           | 44             |
| E2   | 4                    | < 1     | < 1           | 4              | 40                   | < 1     | < 1           | 40             |
| E3   | 10                   | < 1     | < 1           | 10             | 97                   | < 1     | < 1           | 97             |
| F1   | 14                   | < 1     | 1             | 15             | 66                   | < 1     | 2             | 68             |
| F2   | 13                   | < 1     | < 1           | 14             | 468                  | < 1     | < 1           | 468            |
| F3   | 13                   | < 1     | < 1           | 14             | 408                  | < 1     | < 1           | 408            |
| G1   | 6                    | < 1     | < 1           | 7              | 48                   | < 1     | 1             | 50             |
| G2   | 13                   | < 1     | < 1           | 14             | 333                  | 1       | 1             | 335            |
| G3   | 4                    | < 1     | < 1           | 5              | 165                  | < 1     | < 1           | 166            |
| H1   | 14                   | 1       | 4             | 19             | 65                   | 1       | 4             | 70             |
| H2   | 25                   | < 1     | 1             | 26             | 572                  | < 1     | 1             | 574            |
| H3   | 30                   | 1       | 3             | 34             | 121                  | < 1     | 1             | 122            |
| I1   | 14                   | 1       | 2             | 16             | 204                  | < 1     | 1             | 204            |
| I2   | 83                   | < 1     | < 1           | 83             | 353                  | 1       | 1             | 355            |
| I3   | 13                   | < 1     | 1             | 14             | 381                  | < 1     | 1             | 382            |
| J1   | 39                   | < 1     | 1             | 40             | 849                  | 2       | 1             | 851            |
| J2   | 38                   | 1       | 2             | 42             | 903                  | < 1     | 1             | 904            |

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| J3   | 40                   | 1       | 3             | 44             | 867                  | 2       | 2             | 870            |
| K1   | 14                   | < 1     | 1             | 15             | 250                  | < 1     | 1             | 251            |
| K2   | 14                   | 1       | 2             | 17             | 225                  | 1       | 2             | 228            |
| K3   | 15                   | < 1     | 1             | 16             | 259                  | 1       | 2             | 262            |
| L1   | 315                  | 1       | 1             | 317            | 839                  | 1       | 2             | 841            |
| L2   | 238                  | < 1     | 4             | 242            | 710                  | < 1     | 1             | 712            |
| L3   | 298                  | 1       | 5             | 304            | 872                  | 2       | 5             | 879            |
| L4   | 313                  | 1       | 4             | 318            | 1.120                | < 1     | 1             | 1.122          |
| L5   | 288                  | 1       | 5             | 294            | 1.093                | < 1     | 1             | 1.095          |
| L6   | 106                  | < 1     | 1             | 107            | 319                  | 1       | 5             | 325            |

**Tempo relativo de execução da predição dos parâmetros dos modelos no tempo total de execução do algoritmo na Metodologia XI**

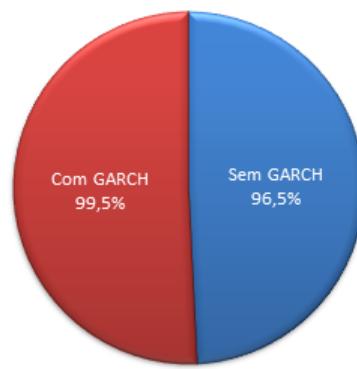


Figura 6.86: Gráfico com comparativo do tempo total relativo de cálculo dos parâmetros dos modelos sem e com GARCH na Metodologia XI

Tabela 6.69: Autocorrelação do dado original e dos resíduos gerados sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XI

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| A1       | 6                      | 0                        | 0                        |
| A2       | 5                      | 0                        | 0                        |
| A3       | 6                      | 0                        | 0                        |
| B1       | 6                      | 0                        | 3                        |
| B2       | 6                      | 0                        | 3                        |
| B3       | 6                      | 0                        | 3                        |
| C1       | 2                      | 0                        | 0                        |
| C2       | 1                      | 0                        | 0                        |
| C3       | 2                      | 0                        | 0                        |
| D1       | 2                      | 1                        | 1                        |
| D2       | 2                      | 2                        | 0                        |
| D3       | 2                      | 4                        | 7                        |
| E1       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E2       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E3       | 4                      | 0                        | 0                        |
| F1       | 1                      | 4                        | 4                        |
| F2       | 6                      | 0                        | 1                        |
| F3       | 6                      | 0                        | 0                        |
| G1       | 1                      | 1                        | 1                        |
| G2       | 2                      | 0                        | 0                        |
| G3       | 6                      | 0                        | 0                        |
| H1       | 1                      | 0                        | 0                        |
| H2       | 1                      | 0                        | 0                        |
| H3       | 1                      | 0                        | 0                        |
| I1       | 7                      | 0                        | 0                        |
| I2       | 1                      | 0                        | 0                        |
| I3       | 1                      | 0                        | 0                        |
| J1       | 3                      | 2                        | 4                        |
| J2       | 3                      | 2                        | 0                        |
| J3       | 8                      | 2                        | 0                        |
| K1       | 3                      | 2                        | 1                        |
| K2       | 3                      | 2                        | 1                        |
| K3       | 2                      | 0                        | 1                        |

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| L1       | 2                      | 0                        | 0                        |
| L2       | 7                      | 0                        | 2                        |
| L3       | 11                     | 0                        | 0                        |
| L4       | 7                      | 0                        | 1                        |
| L5       | 7                      | 0                        | 0                        |
| L6       | 6                      | 0                        | 0                        |

**Resultado da diminuição da autocorrelação do resíduo em relação à original na Metodologia XI**

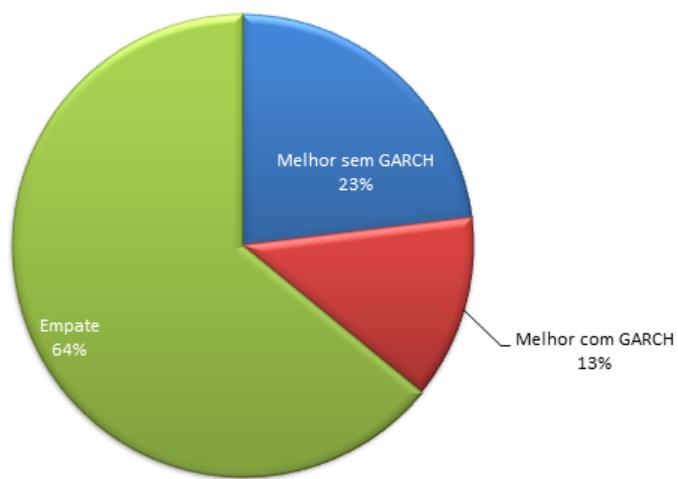


Figura 6.87: Gráfico com comparativo da redução relativa total da autocorrelação do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XI

Tabela 6.70: Média e variância do dado original comparadas às do resíduo calculado sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XI

| Conjunto | Média Original | Var. Original | Média Sem GARCH | Var. Sem GARCH | Média Com GARCH | Var. Com GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| A1       | 3,0E+04        | 1,8E+07       | 0,5             | 3,0E+05        | 2,2             | 3,0E+05        |
| A2       | 3,2E+04        | 1,1E+07       | 0,5             | 2,6E+05        | -0,5            | 2,7E+05        |
| A3       | 3,1E+04        | 1,4E+07       | 0,5             | 2,8E+05        | -0,2            | 2,8E+05        |
| B1       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,4             | 1,1E+01        | 0,4             | 1,0E+02        |
| B2       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,4             | 1,1E+01        | 0,4             | 1,0E+02        |
| B3       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,4             | 1,1E+01        | 0,4             | 1,0E+02        |
| C1       | 3,3E+04        | 8,1E+07       | 0,6             | 2,0E+07        | -0,9            | 2,3E+07        |
| C2       | 3,3E+04        | 4,0E+07       | 0,5             | 1,2E+07        | 0,6             | 1,4E+07        |
| C3       | 3,3E+04        | 5,7E+07       | 0,5             | 1,1E+07        | 0,7             | 1,2E+07        |
| D1       | 3,7E+04        | 4,1E+07       | 0,7             | 2,4E+06        | -0,8            | 2,4E+06        |
| D2       | 3,3E+04        | 1,2E+07       | 0,5             | 1,5E+06        | 0,4             | 2,0E+06        |
| D3       | 3,1E+04        | 1,0E+07       | 0,2             | 1,2E+06        | 0,2             | 1,7E+06        |
| E1       | 2,9E+04        | 5,8E+07       | -0,1            | 1,7E+07        | -6,8            | 1,7E+07        |
| E2       | 3,0E+04        | 5,8E+07       | 0,3             | 1,8E+07        | 14,2            | 1,8E+07        |
| E3       | 3,0E+04        | 6,0E+07       | 0,2             | 1,9E+07        | 2,5             | 1,9E+07        |
| F1       | 3,8E+04        | 3,9E+07       | 0,5             | 1,5E+07        | 0,8             | 1,5E+07        |
| F2       | 2,3E+04        | 5,4E+06       | 0,6             | 1,8E+05        | 1,1             | 2,9E+05        |
| F3       | 2,6E+04        | 6,0E+06       | 0,6             | 6,9E+04        | 0,6             | 8,5E+04        |
| G1       | 3,3E+04        | 3,3E+07       | 0,5             | 8,7E+06        | 0,7             | 8,7E+06        |
| G2       | 3,8E+04        | 1,9E+07       | 0,5             | 1,6E+04        | 2,1             | 2,4E+04        |
| G3       | 2,9E+04        | 3,6E+07       | 0,5             | 6,7E+04        | 1,2             | 6,7E+04        |
| H1       | 3,1E+04        | 3,6E+07       | 0,7             | 5,2E+07        | 0,3             | 5,3E+07        |
| H2       | 3,4E+04        | 8,1E+06       | 0,5             | 4,3E+06        | -8,1            | 4,6E+06        |
| H3       | 3,2E+04        | 7,3E+06       | 0,5             | 5,2E+06        | 0,4             | 5,4E+06        |
| I1       | 3,6E+04        | 1,2E+07       | 0,3             | 7,0E+05        | 7,1             | 7,7E+05        |
| I2       | 2,9E+04        | 1,2E+06       | 0,2             | 6,1E+04        | 0,2             | 1,7E+05        |
| I3       | 3,1E+04        | 3,3E+07       | 0,3             | 2,7E+06        | 0,3             | 2,8E+06        |
| J1       | 3,7E+04        | 1,2E+06       | 0,5             | 1,3E+04        | 0,5             | 5,0E+04        |
| J2       | 3,5E+04        | 1,5E+06       | 0,5             | 1,8E+04        | 0,5             | 6,4E+04        |
| J3       | 3,3E+04        | 1,3E+06       | 0,5             | 1,4E+04        | 0,5             | 5,8E+04        |
| K1       | 3,9E+04        | 6,9E+06       | 0,5             | 4,4E+05        | 0,6             | 5,5E+05        |
| K2       | 4,0E+04        | 6,7E+06       | 0,5             | 4,3E+05        | 0,4             | 5,5E+05        |

| Conjunto | Média<br>Orig. | Var.<br>Orig. | Média<br>Sem<br>GARCH | Var.<br>Sem<br>GARCH | Média<br>Com<br>GARCH | Var.<br>Com<br>GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| K3       | 3,6E+04        | 5,8E+06       | 0,5                   | 5,2E+05              | 0,6                   | 5,8E+05              |
| L1       | 3,4E+04        | 2,9E+07       | 0,6                   | 2,2E+06              | -0,6                  | 2,7E+06              |
| L2       | 3,1E+04        | 1,5E+07       | 0,2                   | 4,3E+06              | 1,6                   | 5,4E+06              |
| L3       | 3,5E+04        | 1,3E+07       | 0,4                   | 4,9E+06              | -3,8                  | 4,9E+06              |
| L4       | 3,7E+04        | 1,8E+07       | 0,1                   | 2,6E+06              | 2,8                   | 4,4E+06              |
| L5       | 3,1E+04        | 5,1E+07       | 0,5                   | 1,0E+06              | 0,3                   | 1,0E+06              |
| L6       | 3,2E+04        | 2,6E+07       | 0,7                   | 1,1E+06              | -0,1                  | 1,1E+06              |



Figura 6.88: Gráfico com comparativo da redução relativa total da variância do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XI

### 6.2.12 Metodologia XII

Na Metodologia XII, a função de autorrelação utilizada foi a mesma da Metodologia I (tabela: 6.1) para escolher o valor do parâmetro autoregressivo ( $p$ , na equação 4.5). O parâmetro de médias móveis ( $q$ , na equação 4.5) foi testado sempre com o valor um, utilizando, dessa vez, um modelo ARMA. O operador diferença ( $d$ , na equação 4.1) foi testado sempre com o valor um. Cada conjunto foi testado duas vezes, uma com e a outra sem a utilização do modelo GARCH(1, 1).

Para a descompressão, serão necessários os seguintes itens:

1. **Valor de AR:** 32 bits indicando  $p$  na equação 4.5.
2. **Valor de MA:** 32 bits indicando  $q$  na equação 4.5.
3. **Valor de ARCH:** 32 bits indicando  $\bar{\alpha}$  na equação 4.7.
4. **Valor de GARCH:** 32 bits indicando  $\bar{\beta}$  na equação 4.7.
5. **Parâmetros AR calculados:**  $p \times 32$  bits indicando os parâmetros AR calculados ( $\alpha_1, \dots, p$ , na equação 4.5).
6. **Parâmetros MA calculados:**  $q \times 32$  bits indicando os parâmetros MA calculados ( $\beta_1, \dots, p$ , na equação 4.5).
7. **Parâmetros ARCH calculados:**  $\bar{\alpha} \times 32$  bits indicando os parâmetros ARCH calculados ( $\sigma_1, \dots, \bar{p}$ , na equação 4.7).
8. **Parâmetros GARCH calculados:**  $\bar{\beta} \times 32$  bits indicando os parâmetros GARCH calculados ( $h_1, \dots, \bar{q}$ , na equação 4.7).
9. **Resíduo do modelo:** o conjunto de resíduos do modelo, comprimido com a codificação aritmética. Tamanho variável, dependendo do resíduo calculado.

Portanto, o tamanho final do arquivo comprimido é descrito pela mesma equação da Metodologia II (equação 6.4).

#### 6.2.12.1 Métricas obtidas

Tabela 6.71: Comparativo de quantidade de experimentos cujas soluções convergiram com e sem a utilização do GARCH na metodologia XII

| Cenário   | Total experimentos | Convergiram | Não convergiram | % sucesso |
|-----------|--------------------|-------------|-----------------|-----------|
| Sem GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |
| Com GARCH | 39                 | 38          | 1               | 97,44%    |

Tabela 6.72: Razão de compressão dos experimentos sem e com GARCH na Metodologia XII. Valores em bytes.

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| A1       | 1152000          | 844793                       | 852811                       | 1,36                       | 1,35                       |
| A2       | 1152000          | 804364                       | 799285                       | 1,43                       | 1,44                       |
| A3       | 1152000          | 783975                       | 842675                       | 1,47                       | 1,37                       |
| B1       | 518592           | 127044                       | 165080                       | 4,08                       | 3,14                       |
| B2       | 518592           | 127044                       | 165080                       | 4,08                       | 3,14                       |
| B3       | 518592           | 127044                       | 165080                       | 4,08                       | 3,14                       |
| C1       | 288192           | 260244                       | 263429                       | 1,11                       | 1,09                       |
| C2       | 288192           | 242375                       | 245301                       | 1,19                       | 1,17                       |
| C3       | 288192           | 254439                       | 247027                       | 1,13                       | 1,17                       |
| D1       | 331200           | 250631                       | 258995                       | 1,32                       | 1,28                       |
| D2       | 331200           | 258535                       | 247723                       | 1,28                       | 1,34                       |
| D3       | 331200           | 212475                       | 230392                       | 1,56                       | 1,44                       |
| E1       | 33792            | 30637                        | 30625                        | 1,10                       | 1,10                       |

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| E2       | 33792            | 30806                        | 30819                        | 1,10                       | 1,10                       |
| E3       | 33792            | 30817                        | 30715                        | 1,10                       | 1,10                       |
| F1       | 220992           | 184376                       | 184207                       | 1,20                       | 1,20                       |
| F2       | 220992           | 125735                       | 127888                       | 1,76                       | 1,73                       |
| F3       | 220992           | 127564                       | 132097                       | 1,73                       | 1,67                       |
| G1       | 139392           | 117176                       | 117203                       | 1,19                       | 1,19                       |
| G2       | 139392           | 74223                        | 73108                        | 1,88                       | 1,91                       |
| G3       | 139392           | 85569                        | 90057                        | 1,63                       | 1,55                       |
| H1       | 360192           | 329971                       | 330046                       | 1,09                       | 1,09                       |
| H2       | 360192           | 298985                       | 319242                       | 1,20                       | 1,13                       |
| H3       | 360192           | 299588                       | 298978                       | 1,20                       | 1,20                       |
| I1       | 221184           | 165275                       | 164019                       | 1,34                       | 1,35                       |
| I2       | 221184           | 119553                       | 131592                       | 1,85                       | 1,68                       |
| I3       | 221184           | 172358                       | 172000                       | 1,28                       | 1,29                       |
| J1       | 591936           | 294699                       | 434055                       | 2,01                       | 1,36                       |
| J2       | 591936           | 311484                       | 302095                       | 1,90                       | 1,96                       |
| J3       | 591936           | 278145                       | 318791                       | 2,13                       | 1,86                       |
| K1       | 288000           | 201562                       | 200068                       | 1,43                       | 1,44                       |
| K2       | 288000           | 190610                       | 184968                       | 1,51                       | 1,56                       |
| K3       | 288000           | 181902                       | 200408                       | 1,58                       | 1,44                       |
| L1       | 480192           | 393002                       | 397250                       | 1,22                       | 1,21                       |
| L2       | 480192           | 393310                       | 407744                       | 1,22                       | 1,18                       |
| L3       | 480192           | 407263                       | 404521                       | 1,18                       | 1,19                       |
| L4       | 480192           | 387453                       | 381233                       | 1,24                       | 1,26                       |
| L5       | 480192           | 379477                       | 378616                       | 1,27                       | 1,27                       |
| L6       | 480192           | 373286                       | 378008                       | 1,29                       | 1,27                       |

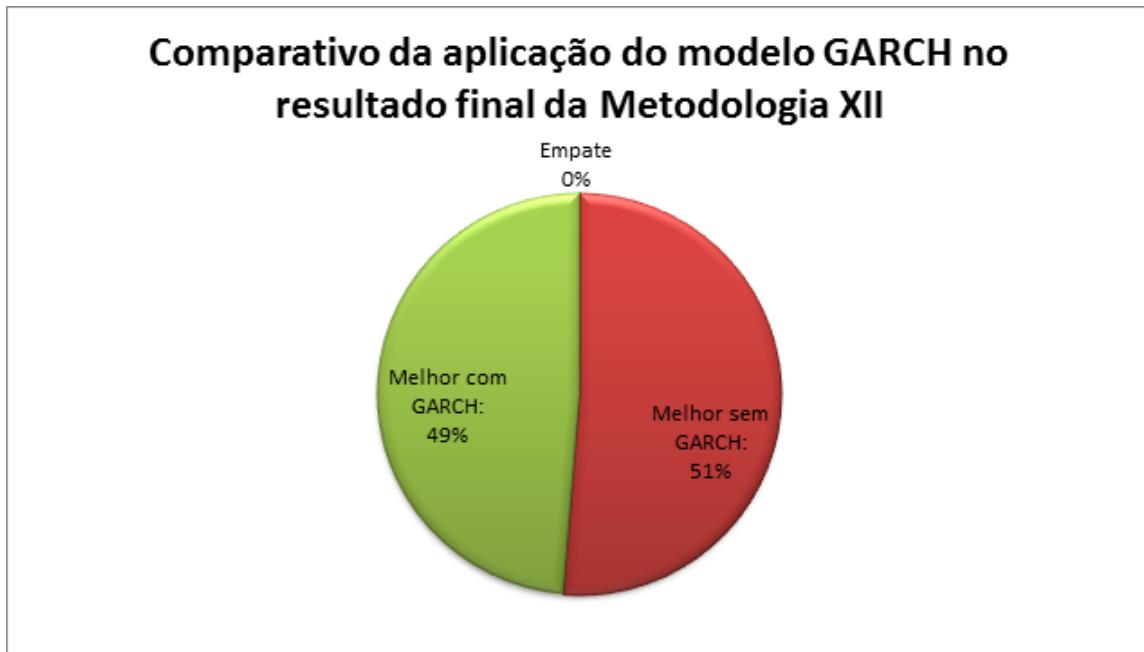


Figura 6.89: Gráfico com comparativo da razão de compressão na Metodologia XII

Tabela 6.73: Evolução da entropia do dado original e do resíduo calculado na metodologia XII

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| A1       | 11,30            | 10,94                        | 10,92                        |
| A2       | 11,30            | 10,52                        | 10,50                        |
| A3       | 11,27            | 10,64                        | 10,63                        |
| B1       | 7,64             | 3,10                         | 2,76                         |
| B2       | 7,64             | 3,10                         | 2,76                         |
| B3       | 7,64             | 3,10                         | 2,76                         |
| C1       | 12,34            | 12,02                        | 11,99                        |
| C2       | 13,18            | 12,65                        | 12,59                        |
| C3       | 13,17            | 12,65                        | 12,64                        |
| D1       | 9,48             | 9,12                         | 9,12                         |
| D2       | 12,38            | 11,23                        | 11,16                        |
| D3       | 6,45             | 6,15                         | 6,07                         |
| E1       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| E2       | 10,78            | 10,78                        | 10,78                        |
| E3       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| F1       | 10,20            | 10,07                        | 10,06                        |
| F2       | 8,20             | 7,07                         | 7,05                         |
| F3       | 9,27             | 7,36                         | 7,24                         |
| G1       | 12,03            | 11,71                        | 11,72                        |
| G2       | 11,79            | 7,80                         | 7,52                         |
| G3       | 12,06            | 9,23                         | 9,24                         |
| H1       | 8,44             | 8,44                         | 8,44                         |
| H2       | 12,29            | 12,15                        | 12,14                        |
| H3       | 12,33            | 12,18                        | 12,17                        |
| I1       | 8,14             | 7,62                         | 7,60                         |
| I2       | 9,59             | 7,28                         | 6,54                         |
| I3       | 8,15             | 7,79                         | 7,78                         |
| J1       | 8,50             | 6,76                         | 6,25                         |
| J2       | 8,52             | 6,78                         | 6,33                         |
| J3       | 8,53             | 6,81                         | 6,29                         |
| K1       | 10,94            | 10,07                        | 10,01                        |
| K2       | 10,89            | 9,99                         | 9,95                         |
| K3       | 10,87            | 9,97                         | 9,93                         |

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| L1       | 11,27            | 11,27                        | 11,27                        |
| L2       | 11,08            | 11,08                        | 11,08                        |
| L3       | 11,31            | 11,31                        | 11,31                        |
| L4       | 12,80            | 11,97                        | 11,80                        |
| L5       | 10,67            | 10,67                        | 10,67                        |
| L6       | 11,58            | 11,58                        | 11,58                        |

### Evolução de entropia geral na Metodologia XII

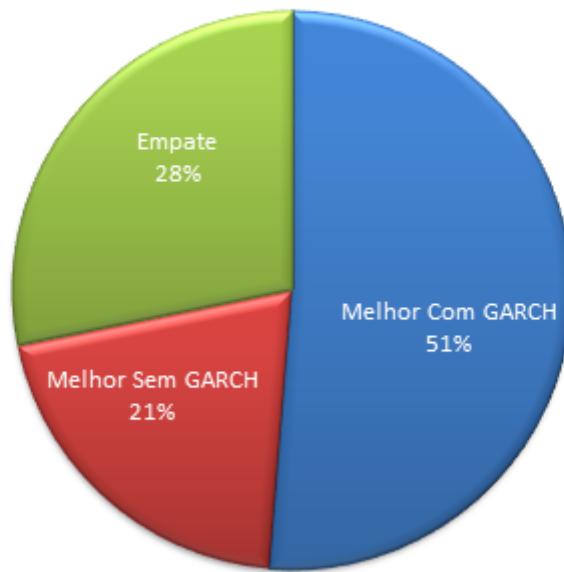


Figura 6.90: Gráfico com comparativo da evolução da entropia na Metodologia XII

Tabela 6.74: Tempo de execução (em segundos) dos algoritmos sem e com GARCH na Metodologia XII. Primeiro é exibido o tempo de execução sem a utilização do modelo GARCH, depois com o modelo. Parâmetros modelo se refere ao tempo gasto pelo algoritmo para o cálculo dos parâmetros do modelo, Resíduo refere-se ao tempo gasto pelo modelo para calcular o resíduo do modelo, Cod. Arit. refere-se ao tempo gasto pela codificação aritmética para comprimir o resíduo.

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| A1   | 117                  | < 1     | 2             | 120            | 730                  | 1       | 2             | 733            |
| A2   | 772                  | 1       | 8             | 781            | 1.118                | 1       | 2             | 1.121          |
| A3   | 663                  | 2       | 4             | 669            | 1.891                | 1       | 3             | 1.895          |
| B1   | 143                  | 1       | 3             | 146            | 575                  | 1       | 2             | 578            |
| B2   | 141                  | 1       | 2             | 144            | 580                  | < 1     | < 1           | 581            |
| B3   | 136                  | 1       | 3             | 139            | 576                  | 2       | 2             | 579            |
| C1   | 38                   | < 1     | 2             | 40             | 162                  | 1       | 2             | 165            |
| C2   | 37                   | 1       | 1             | 39             | 139                  | 1       | 2             | 142            |
| C3   | 46                   | < 1     | 2             | 48             | 124                  | 1       | 1             | 126            |
| D1   | 46                   | 1       | 3             | 49             | 152                  | 1       | 3             | 156            |
| D2   | 52                   | 1       | 3             | 55             | 373                  | < 1     | 1             | 375            |
| D3   | 43                   | < 1     | 2             | 45             | 127                  | < 1     | 2             | 130            |
| E1   | 15                   | < 1     | < 1           | 15             | 80                   | < 1     | < 1           | 80             |
| E2   | 11                   | < 1     | < 1           | 12             | 111                  | < 1     | < 1           | 112            |
| E3   | 9                    | < 1     | < 1           | 9              | 51                   | < 1     | < 1           | 51             |
| F1   | 16                   | < 1     | 3             | 19             | 76                   | 1       | 2             | 79             |
| F2   | 140                  | 1       | 1             | 142            | 447                  | 1       | < 1           | 447            |
| F3   | 182                  | 1       | 1             | 184            | 452                  | < 1     | < 1           | 453            |
| G1   | 14                   | < 1     | 1             | 16             | 77                   | < 1     | 1             | 78             |
| G2   | 115                  | < 1     | < 1           | 116            | 539                  | < 1     | < 1           | 539            |
| G3   | 52                   | < 1     | 1             | 53             | 287                  | < 1     | < 1           | 287            |
| H1   | 55                   | 1       | 3             | 59             | 188                  | < 1     | 1             | 189            |
| H2   | 190                  | 1       | 3             | 194            | 749                  | < 1     | 1             | 751            |
| H3   | 27                   | < 1     | 1             | 28             | 123                  | 1       | 3             | 128            |
| I1   | 179                  | < 1     | 2             | 181            | 258                  | < 1     | 1             | 259            |
| I2   | 198                  | 1       | 1             | 199            | 419                  | 1       | 1             | 421            |
| I3   | 55                   | < 1     | 1             | 56             | 429                  | < 1     | 4             | 433            |
| J1   | 235                  | < 1     | 3             | 239            | 877                  | 2       | 2             | 881            |
| J2   | 155                  | 1       | 4             | 160            | 947                  | 1       | 1             | 949            |

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| J3   | 251                  | < 1     | 1             | 252            | 894                  | 2       | 2             | 899            |
| K1   | 49                   | < 1     | 1             | 49             | 167                  | < 1     | 1             | 168            |
| K2   | 112                  | < 1     | 1             | 113            | 381                  | 1       | 2             | 384            |
| K3   | 130                  | 1       | 1             | 131            | 150                  | 1       | 2             | 152            |
| L1   | 271                  | 1       | 3             | 274            | 1.020                | < 1     | 1             | 1.021          |
| L2   | 256                  | 1       | 4             | 261            | 682                  | 1       | 1             | 684            |
| L3   | 375                  | 1       | 2             | 378            | 837                  | 1       | 3             | 840            |
| L4   | 338                  | 1       | 4             | 343            | 1.201                | 2       | 2             | 1.205          |
| L5   | 592                  | 1       | 5             | 598            | 1.334                | < 1     | 1             | 1.335          |
| L6   | 163                  | 1       | 4             | 168            | 385                  | 1       | 4             | 391            |

**Tempo relativo de execução da predição dos parâmetros dos modelos no tempo total de execução do algoritmo na Metodologia XII**

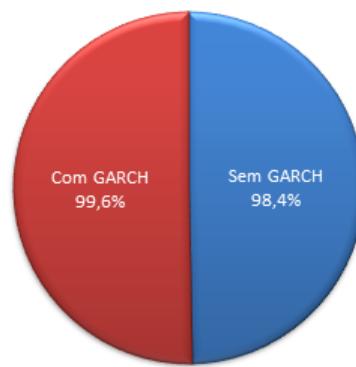


Figura 6.91: Gráfico com comparativo do tempo total relativo de cálculo dos parâmetros dos modelos sem e com GARCH na Metodologia XII

Tabela 6.75: Autocorrelação do dado original e dos resíduos gerados sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XII

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| A1       | 6                      | 0                        | 1                        |
| A2       | 5                      | 0                        | 0                        |
| A3       | 6                      | 0                        | 0                        |
| B1       | 6                      | 0                        | 3                        |
| B2       | 6                      | 0                        | 3                        |
| B3       | 6                      | 0                        | 3                        |
| C1       | 2                      | 0                        | 1                        |
| C2       | 1                      | 0                        | 11                       |
| C3       | 2                      | 0                        | 12                       |
| D1       | 2                      | 1                        | 0                        |
| D2       | 2                      | 0                        | 1                        |
| D3       | 2                      | 4                        | 7                        |
| E1       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E2       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E3       | 4                      | 0                        | 0                        |
| F1       | 1                      | 4                        | 4                        |
| F2       | 6                      | 0                        | 1                        |
| F3       | 6                      | 1                        | 0                        |
| G1       | 1                      | 1                        | 1                        |
| G2       | 2                      | 1                        | 1                        |
| G3       | 6                      | 1                        | 0                        |
| H1       | 1                      | 0                        | 0                        |
| H2       | 1                      | 0                        | 0                        |
| H3       | 1                      | 0                        | 0                        |
| I1       | 7                      | 0                        | 0                        |
| I2       | 1                      | 0                        | 3                        |
| I3       | 1                      | 1                        | 1                        |
| J1       | 3                      | 0                        | 4                        |
| J2       | 3                      | 0                        | 0                        |
| J3       | 8                      | 0                        | 0                        |
| K1       | 3                      | 0                        | 0                        |
| K2       | 3                      | 0                        | 1                        |
| K3       | 2                      | 0                        | 0                        |

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| L1       | 2                      | 0                        | 0                        |
| L2       | 7                      | 0                        | 2                        |
| L3       | 11                     | 0                        | 0                        |
| L4       | 7                      | 0                        | 2                        |
| L5       | 7                      | 0                        | 0                        |
| L6       | 6                      | 0                        | 0                        |



Figura 6.92: Gráfico com comparativo da redução relativa total da autocorrelação do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XII

Tabela 6.76: Média e variância do dado original comparadas às do resíduo calculado sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XII

| Conjunto | Média Original | Var. Original | Média Sem GARCH | Var. Sem GARCH | Média Com GARCH | Var. Com GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| A1       | 3,0E+04        | 1,8E+07       | 0,5             | 3,0E+05        | -0,5            | 3,0E+05        |
| A2       | 3,2E+04        | 1,1E+07       | -0,7            | 2,4E+05        | -1,8            | 2,5E+05        |
| A3       | 3,1E+04        | 1,4E+07       | -0,7            | 2,5E+05        | -0,8            | 2,6E+05        |
| B1       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,4             | 1,1E+01        | 0,4             | 1,0E+02        |
| B2       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,4             | 1,1E+01        | 0,4             | 1,0E+02        |
| B3       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,4             | 1,1E+01        | 0,4             | 1,0E+02        |
| C1       | 3,3E+04        | 8,1E+07       | 0,4             | 1,7E+07        | -4,1            | 2,8E+07        |
| C2       | 3,3E+04        | 4,0E+07       | 0,8             | 1,1E+07        | 1,3             | 2,0E+07        |
| C3       | 3,3E+04        | 5,7E+07       | 0,5             | 9,0E+06        | 0,8             | 1,4E+07        |
| D1       | 3,7E+04        | 4,1E+07       | 0,7             | 1,2E+06        | 0,1             | 1,3E+06        |
| D2       | 3,3E+04        | 1,2E+07       | 0,6             | 1,0E+06        | 0,4             | 1,7E+06        |
| D3       | 3,1E+04        | 1,0E+07       | 0,8             | 4,5E+05        | 2,8             | 5,8E+05        |
| E1       | 2,9E+04        | 5,8E+07       | 2,0             | 1,6E+07        | -4,2            | 1,6E+07        |
| E2       | 3,0E+04        | 5,8E+07       | 2,7             | 1,8E+07        | 11,6            | 1,8E+07        |
| E3       | 3,0E+04        | 6,0E+07       | 3,8             | 1,8E+07        | 4,1             | 1,8E+07        |
| F1       | 3,8E+04        | 3,9E+07       | 0,5             | 5,6E+06        | 0,4             | 5,6E+06        |
| F2       | 2,3E+04        | 5,4E+06       | 0,6             | 1,6E+05        | -0,8            | 2,5E+05        |
| F3       | 2,6E+04        | 6,0E+06       | 29,8            | 1,4E+05        | 2,3             | 8,3E+04        |
| G1       | 3,3E+04        | 3,3E+07       | 2,9             | 2,6E+06        | 0,1             | 2,6E+06        |
| G2       | 3,8E+04        | 1,9E+07       | 0,5             | 1,9E+04        | 2,1             | 2,7E+04        |
| G3       | 2,9E+04        | 3,6E+07       | 0,6             | 7,7E+04        | 2,3             | 8,3E+04        |
| H1       | 3,1E+04        | 3,6E+07       | -2,7            | 3,5E+07        | 38,2            | 3,5E+07        |
| H2       | 3,4E+04        | 8,1E+06       | 3,5             | 3,5E+06        | 33,0            | 3,8E+06        |
| H3       | 3,2E+04        | 7,3E+06       | 0,6             | 4,9E+06        | 0,1             | 5,1E+06        |
| I1       | 3,6E+04        | 1,2E+07       | -16,3           | 8,0E+05        | 1,3             | 7,2E+05        |
| I2       | 2,9E+04        | 1,2E+06       | 0,5             | 6,1E+04        | 0,0             | 1,6E+05        |
| I3       | 3,1E+04        | 3,3E+07       | 3,1E+04         | 3,3E+07        | 3,1E+04         | 3,3E+07        |
| J1       | 3,7E+04        | 1,2E+06       | 0,5             | 1,0E+04        | 0,5             | 4,8E+04        |
| J2       | 3,5E+04        | 1,5E+06       | 0,4             | 1,3E+04        | 0,5             | 6,2E+04        |
| J3       | 3,3E+04        | 1,3E+06       | 0,5             | 1,1E+04        | 0,5             | 5,5E+04        |
| K1       | 3,9E+04        | 6,9E+06       | 0,5             | 2,5E+05        | 1,3             | 2,6E+05        |
| K2       | 4,0E+04        | 6,7E+06       | 0,1             | 2,3E+05        | 0,3             | 3,4E+05        |

| Conjunto | Média<br>Orig. | Var.<br>Orig. | Média<br>Sem<br>GARCH | Var.<br>Sem<br>GARCH | Média<br>Com<br>GARCH | Var.<br>Com<br>GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| K3       | 3,6E+04        | 5,8E+06       | 0,7                   | 2,9E+05              | 0,8                   | 3,2E+05              |
| L1       | 3,4E+04        | 2,9E+07       | 0,2                   | 2,0E+06              | -1,3                  | 3,1E+06              |
| L2       | 3,1E+04        | 1,5E+07       | 0,3                   | 3,8E+06              | -0,3                  | 4,6E+06              |
| L3       | 3,5E+04        | 1,3E+07       | 0,7                   | 4,5E+06              | 0,4                   | 5,0E+06              |
| L4       | 3,7E+04        | 1,8E+07       | 0,8                   | 2,5E+06              | 3,4                   | 5,1E+06              |
| L5       | 3,1E+04        | 5,1E+07       | 0,4                   | 1,0E+06              | 1,1                   | 1,0E+06              |
| L6       | 3,2E+04        | 2,6E+07       | 0,7                   | 1,0E+06              | -1,2                  | 1,1E+06              |



Figura 6.93: Gráfico com comparativo da redução relativa total da variância do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XII

### 6.2.13 Metodologia XIII

Na Metodologia XIII, a função de autorrelação utilizada foi a mesma da Metodologia I (tabela: 6.1) para escolher o valor do parâmetro autoregressivo ( $p$ , na equação 4.5) e o de médias móveis ( $q$ , na equação 4.5). Cada conjunto foi testado duas vezes, uma com e a outra sem a utilização do modelo GARCH(1, 1). O valor do operador diferença testado ( $d$ , na equação 4.1) foi sempre igual a 1.

Para a descompressão, serão necessários os seguintes itens:

1. **Valor de AR:** 32 bits indicando  $p$  na equação 4.5.
2. **Valor de MA:** 32 bits indicando  $q$  na equação 4.5.
3. **Valor de ARCH:** 32 bits indicando  $\bar{\alpha}$  na equação 4.7.
4. **Valor de GARCH:** 32 bits indicando  $\bar{\beta}$  na equação 4.7.
5. **Parâmetros AR calculados:**  $p \times 32$  bits indicando os parâmetros AR calculados ( $\alpha_1, \dots, p$ , na equação 4.5).
6. **Parâmetros MA calculados:**  $q \times 32$  bits indicando os parâmetros MA calculados ( $\beta_1, \dots, p$ , na equação 4.5).
7. **Parâmetros ARCH calculados:**  $\bar{\alpha} \times 32$  bits indicando os parâmetros ARCH calculados ( $\sigma_1, \dots, \bar{p}$ , na equação 4.7).
8. **Parâmetros GARCH calculados:**  $\bar{\beta} \times 32$  bits indicando os parâmetros GARCH calculados ( $h_1, \dots, \bar{q}$ , na equação 4.7).
9. **Resíduo do modelo:** o conjunto de resíduos do modelo, comprimido com a codificação aritmética. Tamanho variável, dependendo do resíduo calculado.

Portanto, o tamanho final do arquivo comprimido é descrito pela mesma equação da Metodologia III (equação 6.6).

#### 6.2.13.1 Métricas obtidas

Tabela 6.77: Comparativo de quantidade de experimentos cujas soluções convergiram com e sem a utilização do GARCH na metodologia XIII

| Cenário   | Total experimentos | Convergiram | Não convergiram | % sucesso |
|-----------|--------------------|-------------|-----------------|-----------|
| Sem GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |
| Com GARCH | 39                 | 37          | 2               | 94,87%    |

Tabela 6.78: Razão de compressão dos experimentos sem e com GARCH na Metodologia XIII. Valores em bytes.

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| A1       | 1152000          | 885269                       | 885744                       | 1,30                       | 1,30                       |
| A2       | 1152000          | 888539                       | 885606                       | 1,30                       | 1,30                       |
| A3       | 1152000          | 862568                       | 863281                       | 1,34                       | 1,33                       |
| B1       | 518592           | 171927                       | 171991                       | 3,02                       | 3,02                       |
| B2       | 518592           | 171927                       | 171991                       | 3,02                       | 3,02                       |
| B3       | 518592           | 171927                       | 171991                       | 3,02                       | 3,02                       |
| C1       | 288192           | 292443                       | 292798                       | 0,99                       | 0,98                       |
| C2       | 288192           | 275156                       | 273898                       | 1,05                       | 1,05                       |
| C3       | 288192           | 282897                       | 282600                       | 1,02                       | 1,02                       |
| D1       | 331200           | 308738                       | 308963                       | 1,07                       | 1,07                       |
| D2       | 331200           | 294281                       | 294358                       | 1,13                       | 1,13                       |
| D3       | 331200           | 274436                       | 274323                       | 1,21                       | 1,21                       |
| E1       | 33792            | 36227                        | 36288                        | 0,93                       | 0,93                       |

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| E2       | 33792            | 36289                        | 36352                        | 0,93                       | 0,93                       |
| E3       | 33792            | 34297                        | 34347                        | 0,99                       | 0,98                       |
| F1       | 220992           | 210456                       | 210362                       | 1,05                       | 1,05                       |
| F2       | 220992           | 157768                       | 152991                       | 1,40                       | 1,44                       |
| F3       | 220992           | 140826                       | 151823                       | 1,57                       | 1,46                       |
| G1       | 139392           | 134184                       | 134153                       | 1,04                       | 1,04                       |
| G2       | 139392           | 130807                       | 130906                       | 1,07                       | 1,06                       |
| G3       | 139392           | 135142                       | 135215                       | 1,03                       | 1,03                       |
| H1       | 360192           | 352413                       | 352484                       | 1,02                       | 1,02                       |
| H2       | 360192           | 317409                       | 317619                       | 1,13                       | 1,13                       |
| H3       | 360192           | 320116                       | 320343                       | 1,13                       | 1,12                       |
| I1       | 221184           | 190123                       | 190395                       | 1,16                       | 1,16                       |
| I2       | 221184           | 148700                       | 150820                       | 1,49                       | 1,47                       |
| I3       | 221184           | 197306                       | 197265                       | 1,12                       | 1,12                       |
| J1       | 591936           | 322818                       | 322882                       | 1,83                       | 1,83                       |
| J2       | 591936           | 390329                       | 386644                       | 1,52                       | 1,53                       |
| J3       | 591936           | 353439                       | 353503                       | 1,67                       | 1,67                       |
| K1       | 288000           | 209319                       | 213897                       | 1,38                       | 1,35                       |
| K2       | 288000           | 208785                       | 201350                       | 1,38                       | 1,43                       |
| K3       | 288000           | 229327                       | 217941                       | 1,26                       | 1,32                       |
| L1       | 480192           | 443419                       | 440569                       | 1,08                       | 1,09                       |
| L2       | 480192           | 445429                       | 441060                       | 1,08                       | 1,09                       |
| L3       | 480192           | 453451                       | 451755                       | 1,06                       | 1,06                       |
| L4       | 480192           | 442098                       | 425185                       | 1,09                       | 1,13                       |
| L5       | 480192           | 407081                       | 405680                       | 1,18                       | 1,18                       |
| L6       | 480192           | 418976                       | 416322                       | 1,15                       | 1,15                       |

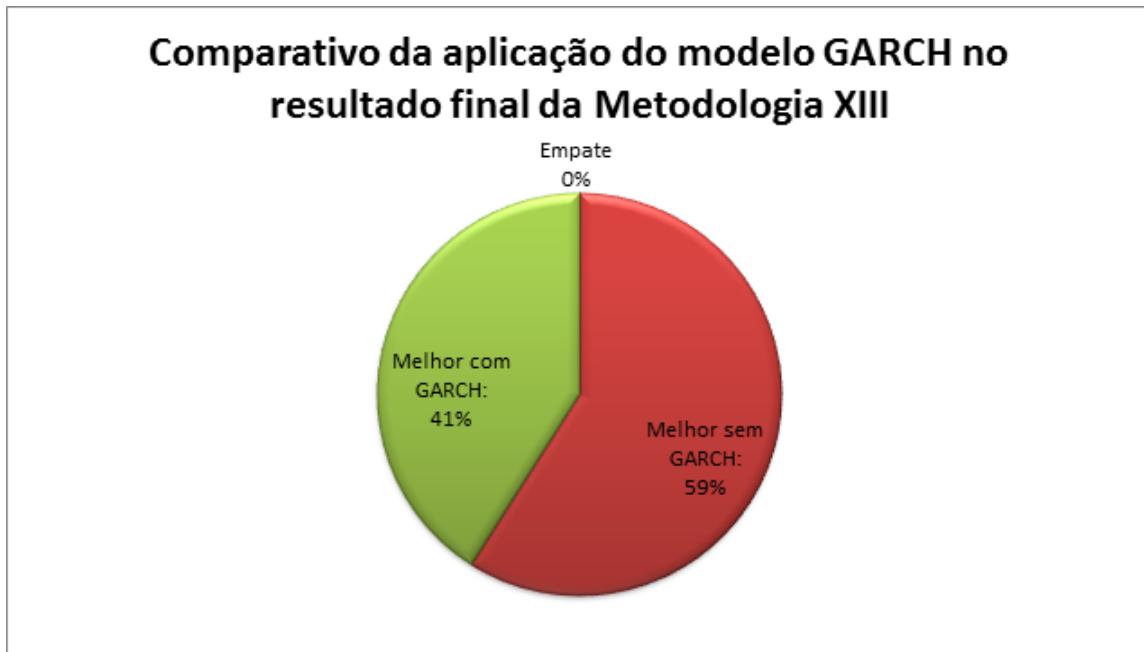


Figura 6.94: Gráfico com comparativo da razão de compressão na Metodologia XIII

Tabela 6.79: Evolução da entropia do dado original e do resíduo calculado na metodologia XIII

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| A1       | 11,30            | 10,76                        | 10,76                        |
| A2       | 11,30            | 10,38                        | 10,36                        |
| A3       | 11,27            | 10,60                        | 10,52                        |
| B1       | 7,64             | 2,91                         | 2,48                         |
| B2       | 7,64             | 2,91                         | 2,48                         |
| B3       | 7,64             | 2,91                         | 2,48                         |
| C1       | 12,34            | 12,30                        | 12,12                        |
| C2       | 13,18            | 12,53                        | 12,21                        |
| C3       | 13,17            | 12,59                        | 12,44                        |
| D1       | 9,48             | 8,80                         | 8,74                         |
| D2       | 12,38            | 10,83                        | 10,41                        |
| D3       | 6,45             | 6,35                         | 5,97                         |
| E1       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| E2       | 10,78            | 10,78                        | 10,78                        |
| E3       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| F1       | 10,20            | 10,20                        | 10,20                        |
| F2       | 8,20             | 7,75                         | 7,45                         |
| F3       | 9,27             | 7,95                         | 7,25                         |
| G1       | 12,03            | 11,71                        | 11,71                        |
| G2       | 11,79            | 7,71                         | 7,63                         |
| G3       | 12,06            | 8,74                         | 7,65                         |
| H1       | 8,44             | 8,44                         | 8,44                         |
| H2       | 12,29            | 12,15                        | 12,29                        |
| H3       | 12,33            | 12,20                        | 12,20                        |
| I1       | 8,14             | 8,14                         | 8,14                         |
| I2       | 9,59             | 6,98                         | 6,47                         |
| I3       | 8,15             | 8,15                         | 8,15                         |
| J1       | 8,50             | 7,11                         | 8,50                         |
| J2       | 8,52             | 7,40                         | 6,80                         |
| J3       | 8,53             | 7,04                         | 6,19                         |
| K1       | 10,94            | 9,78                         | 9,73                         |
| K2       | 10,89            | 9,94                         | 9,60                         |
| K3       | 10,87            | 9,70                         | 9,58                         |

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| L1       | 11,27            | 11,27                        | 11,27                        |
| L2       | 11,08            | 11,08                        | 11,08                        |
| L3       | 11,31            | 11,31                        | 11,31                        |
| L4       | 12,80            | 11,89                        | 11,60                        |
| L5       | 10,67            | 10,67                        | 10,67                        |
| L6       | 11,58            | 11,58                        | 11,58                        |

### Evolução de entropia geral na Metodologia XIII

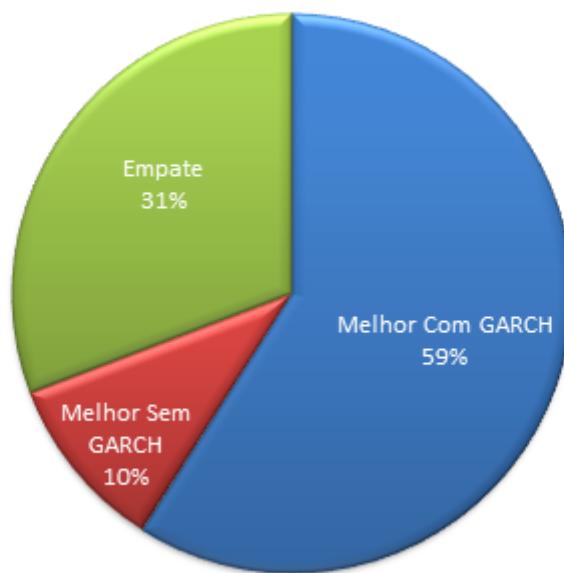


Figura 6.95: Gráfico com comparativo da evolução da entropia na Metodologia XIII

Tabela 6.80: Tempo de execução (em segundos) dos algoritmos sem e com GARCH na Metodologia XIII. Primeiro é exibido o tempo de execução sem a utilização do modelo GARCH, depois com o modelo. Parâmetros modelo se refere ao tempo gasto pelo algoritmo para o cálculo dos parâmetros do modelo, Resíduo refere-se ao tempo gasto pelo modelo para calcular o resíduo do modelo, Cod. Arit. refere-se ao tempo gasto pela codificação aritmética para comprimir o resíduo.

| Conj | Parâmetros modelo | Resíduo | Cod. Arit. | Tempo total | Parâmetros modelo | Resíduo | Cod. Arit. | Tempo total |
|------|-------------------|---------|------------|-------------|-------------------|---------|------------|-------------|
| A1   | 816               | < 1     | 2          | 819         | 1.181             | 1       | 2          | 1.184       |
| A2   | 1.504             | 2       | 4          | 1.510       | 2.322             | 1       | 2          | 2.325       |
| A3   | 1.514             | 1       | 5          | 1.519       | 3.036             | 1       | 4          | 3.041       |
| B1   | 683               | < 1     | 1          | 684         | 1.373             | 2       | 3          | 1.377       |
| B2   | 668               | 1       | 2          | 671         | 1.554             | < 1     | 1          | 1.555       |
| B3   | 670               | < 1     | 1          | 671         | 1.361             | 1       | 3          | 1.365       |
| C1   | 89                | 1       | 3          | 93          | 413               | < 1     | 1          | 414         |
| C2   | 95                | 1       | 2          | 98          | 347               | < 1     | < 1        | 348         |
| C3   | 80                | < 1     | 1          | 81          | 199               | < 1     | < 1        | 200         |
| D1   | 172               | 1       | 2          | 175         | 214               | < 1     | 1          | 215         |
| D2   | 182               | < 1     | 1          | 183         | 464               | < 1     | < 1        | 465         |
| D3   | 91                | < 1     | 1          | 92          | 460               | < 1     | 1          | 462         |
| E1   | 28                | < 1     | < 1        | 28          | 80                | < 1     | < 1        | 80          |
| E2   | 22                | < 1     | < 1        | 23          | 84                | < 1     | < 1        | 85          |
| E3   | 43                | < 1     | < 1        | 44          | 98                | < 1     | < 1        | 98          |
| F1   | 25                | < 1     | 1          | 26          | 83                | 1       | 2          | 85          |
| F2   | 210               | 1       | 1          | 212         | 808               | < 1     | < 1        | 809         |
| F3   | 352               | 1       | 1          | 353         | 739               | < 1     | < 1        | 739         |
| G1   | 17                | < 1     | 2          | 19          | 85                | < 1     | 1          | 86          |
| G2   | 485               | 1       | < 1        | 486         | 975               | < 1     | < 1        | 976         |
| G3   | 177               | < 1     | 1          | 178         | 460               | < 1     | < 1        | 460         |
| H1   | 69                | < 1     | 4          | 73          | 232               | < 1     | 1          | 234         |
| H2   | 510               | 1       | 3          | 514         | 690               | < 1     | 21         | 711         |
| H3   | 33                | 1       | 3          | 37          | 133               | 1       | 3          | 138         |
| I1   | 298               | < 1     | 1          | 299         | 727               | 1       | 2          | 730         |
| I2   | 307               | < 1     | < 1        | 307         | 663               | 1       | 1          | 664         |
| I3   | 213               | 1       | 1          | 215         | 452               | 1       | 2          | 455         |
| J1   | 1.020             | 1       | 2          | 1.024       | 2.052             | < 1     | 14         | 2.066       |
| J2   | 1.026             | < 1     | 1          | 1.028       | 2.016             | 2       | 3          | 2.021       |

| Conj | Parâmetros modelo | Resíduo | Cod. Arit. | Tempo total | Parâmetros modelo | Resíduo | Cod. Arit. | Tempo total |
|------|-------------------|---------|------------|-------------|-------------------|---------|------------|-------------|
| J3   | 1.056             | 1       | 5          | 1.061       | 2.099             | 1       | 1          | 2.101       |
| K1   | 226               | 1       | 2          | 228         | 531               | < 1     | 1          | 533         |
| K2   | 230               | < 1     | 1          | 231         | 523               | < 1     | 1          | 524         |
| K3   | 225               | < 1     | 1          | 226         | 530               | 1       | 2          | 533         |
| L1   | 1.424             | 1       | 4          | 1.429       | 2.569             | 2       | 3          | 2.574       |
| L2   | 1.010             | 1       | 3          | 1.014       | 2.080             | 2       | 2          | 2.084       |
| L3   | 1.442             | < 1     | 2          | 1.445       | 2.629             | 2       | 4          | 2.634       |
| L4   | 1.333             | 1       | 4          | 1.338       | 2.408             | < 1     | 3          | 2.411       |
| L5   | 1.999             | 1       | 1          | 2.002       | 2.291             | < 1     | 1          | 2.293       |
| L6   | 643               | < 1     | 4          | 648         | 1.282             | < 1     | 2          | 1.284       |

**Tempo relativo de execução da predição dos parâmetros dos modelos no tempo total de execução do algoritmo na Metodologia XIII**

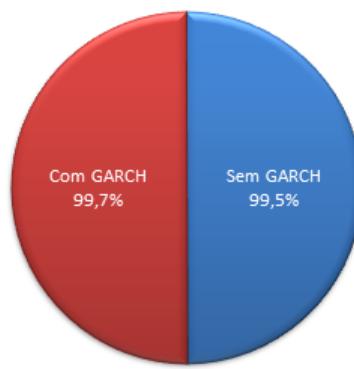


Figura 6.96: Gráfico com comparativo do tempo total relativo de cálculo dos parâmetros dos modelos sem e com GARCH na Metodologia XIII

Tabela 6.81: Autocorrelação do dado original e dos resíduos gerados sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XIII

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| A1       | 6                      | 0                        | 0                        |
| A2       | 5                      | 0                        | 0                        |
| A3       | 6                      | 0                        | 0                        |
| B1       | 6                      | 0                        | 2                        |
| B2       | 6                      | 0                        | 2                        |
| B3       | 6                      | 0                        | 2                        |
| C1       | 2                      | 0                        | 5                        |
| C2       | 1                      | 0                        | 6                        |
| C3       | 2                      | 0                        | 6                        |
| D1       | 2                      | 0                        | 3                        |
| D2       | 2                      | 0                        | 3                        |
| D3       | 2                      | 1                        | 2                        |
| E1       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E2       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E3       | 4                      | 0                        | 0                        |
| F1       | 1                      | 4                        | 4                        |
| F2       | 6                      | 0                        | 1                        |
| F3       | 6                      | 0                        | 2                        |
| G1       | 1                      | 1                        | 1                        |
| G2       | 2                      | 0                        | 0                        |
| G3       | 6                      | 0                        | 4                        |
| H1       | 1                      | 0                        | 0                        |
| H2       | 1                      | 0                        | 1                        |
| H3       | 1                      | 0                        | 0                        |
| I1       | 7                      | 0                        | 0                        |
| I2       | 1                      | 0                        | 1                        |
| I3       | 1                      | 0                        | 0                        |
| J1       | 3                      | 0                        | 3                        |
| J2       | 3                      | 0                        | 3                        |
| J3       | 8                      | 0                        | 0                        |
| K1       | 3                      | 0                        | 1                        |
| K2       | 3                      | 0                        | 3                        |
| K3       | 2                      | 0                        | 1                        |

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| L1       | 2                      | 0                        | 7                        |
| L2       | 7                      | 0                        | 1                        |
| L3       | 11                     | 0                        | 8                        |
| L4       | 7                      | 0                        | 13                       |
| L5       | 7                      | 0                        | 0                        |
| L6       | 6                      | 0                        | 7                        |

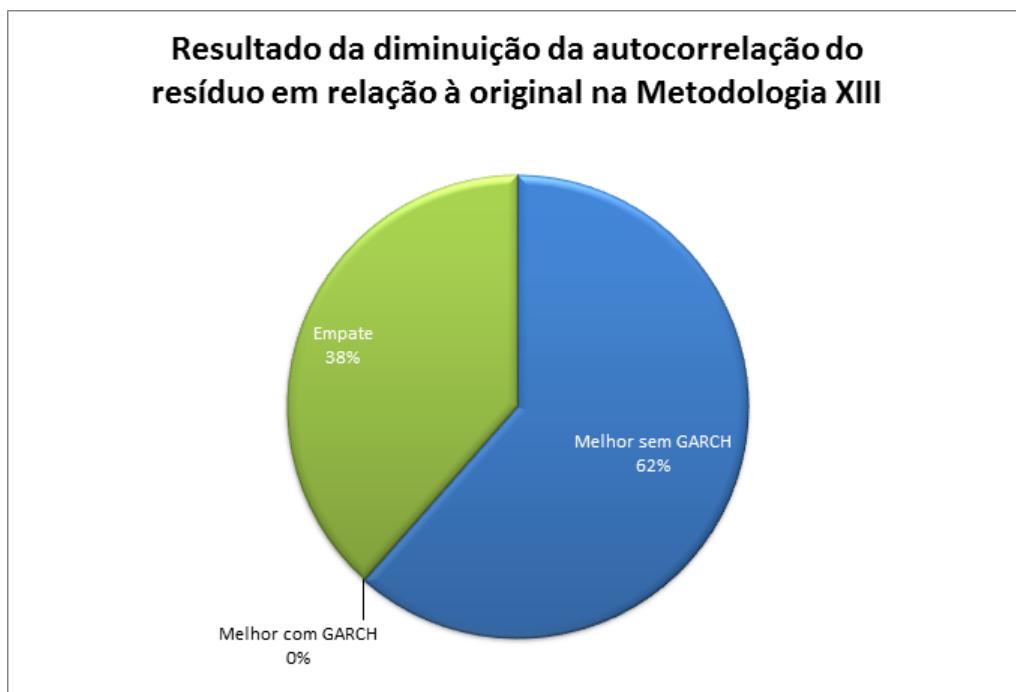


Figura 6.97: Gráfico com comparativo da redução relativa total da autocorrelação do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XIII

Tabela 6.82: Média e variância do dado original comparadas às do resíduo calculado sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XIII

| Conjunto | Média Original | Var. Original | Média Sem GARCH | Var. Sem GARCH | Média Com GARCH | Var. Com GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| A1       | 3,0E+04        | 1,8E+07       | -17,9           | 2,4E+05        | -3,1            | 2,5E+05        |
| A2       | 3,2E+04        | 1,1E+07       | 0,4             | 2,2E+05        | -16,8           | 2,3E+05        |
| A3       | 3,1E+04        | 1,4E+07       | -7,7            | 2,6E+05        | 10,2            | 2,5E+05        |
| B1       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,5             | 8,0E+00        | 0,4             | 4,5E+01        |
| B2       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,5             | 8,0E+00        | 0,4             | 4,5E+01        |
| B3       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,5             | 8,0E+00        | 0,4             | 4,5E+01        |
| C1       | 3,3E+04        | 8,1E+07       | -1,9            | 1,3E+07        | -2,4            | 5,4E+07        |
| C2       | 3,3E+04        | 4,0E+07       | 0,2             | 8,7E+06        | 1,7             | 8,2E+07        |
| C3       | 3,3E+04        | 5,7E+07       | 0,5             | 8,4E+06        | 1,1             | 3,2E+07        |
| D1       | 3,7E+04        | 4,1E+07       | 1,1             | 8,8E+05        | 1,2             | 1,5E+06        |
| D2       | 3,3E+04        | 1,2E+07       | 0,2             | 9,9E+05        | 0,7             | 4,6E+06        |
| D3       | 3,1E+04        | 1,0E+07       | 0,8             | 2,3E+05        | 0,2             | 3,0E+05        |
| E1       | 2,9E+04        | 5,8E+07       | -40,3           | 1,1E+07        | -119,4          | 1,1E+07        |
| E2       | 3,0E+04        | 5,8E+07       | -44,2           | 1,1E+07        | -45,8           | 1,2E+07        |
| E3       | 3,0E+04        | 6,0E+07       | 58,4            | 1,1E+07        | -43,7           | 1,2E+07        |
| F1       | 3,8E+04        | 3,9E+07       | 0,5             | 5,6E+06        | 0,4             | 5,6E+06        |
| F2       | 2,3E+04        | 5,4E+06       | 7,4             | 1,5E+05        | 11,6            | 1,8E+05        |
| F3       | 2,6E+04        | 6,0E+06       | -1,3            | 4,9E+04        | -3,5            | 9,6E+04        |
| G1       | 3,3E+04        | 3,3E+07       | 2,9             | 2,6E+06        | 0,1             | 2,6E+06        |
| G2       | 3,8E+04        | 1,9E+07       | -0,9            | 1,2E+04        | 1,3             | 1,2E+04        |
| G3       | 2,9E+04        | 3,6E+07       | -2,7            | 2,9E+04        | -3,7            | 3,5E+05        |
| H1       | 3,1E+04        | 3,6E+07       | -2,7            | 3,5E+07        | 38,2            | 3,5E+07        |
| H2       | 3,4E+04        | 8,1E+06       | 3,4E+04         | 8,1E+06        | 3,4E+04         | 8,1E+06        |
| H3       | 3,2E+04        | 7,3E+06       | 0,6             | 4,9E+06        | 0,1             | 5,1E+06        |
| I1       | 3,6E+04        | 1,2E+07       | 0,6             | 4,9E+05        | 1,9             | 5,1E+05        |
| I2       | 2,9E+04        | 1,2E+06       | 0,4             | 4,5E+04        | -4,9            | 9,8E+04        |
| I3       | 3,1E+04        | 3,3E+07       | 0,5             | 1,7E+06        | 0,5             | 1,7E+06        |
| J1       | 3,7E+04        | 1,2E+06       | 3,7E+04         | 1,2E+06        | 3,7E+04         | 1,2E+06        |
| J2       | 3,5E+04        | 1,5E+06       | 1,2             | 1,3E+04        | 2,0             | 1,8E+04        |
| J3       | 3,3E+04        | 1,3E+06       | 0,5             | 6,5E+03        | 0,5             | 4,9E+04        |
| K1       | 3,9E+04        | 6,9E+06       | 17,8            | 2,1E+05        | 6,6             | 3,6E+05        |
| K2       | 4,0E+04        | 6,7E+06       | 0,2             | 1,8E+05        | 5,2             | 3,8E+05        |

| Conjunto | Média<br>Orig. | Var.<br>Orig. | Média<br>Sem<br>GARCH | Var.<br>Sem<br>GARCH | Média<br>Com<br>GARCH | Var.<br>Com<br>GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| K3       | 3,6E+04        | 5,8E+06       | -1,0                  | 2,0E+05              | 2,9                   | 3,4E+05              |
| L1       | 3,4E+04        | 2,9E+07       | 7,2                   | 1,8E+06              | 2,0                   | 2,4E+06              |
| L2       | 3,1E+04        | 1,5E+07       | -7,3                  | 3,5E+06              | 5,0                   | 4,1E+06              |
| L3       | 3,5E+04        | 1,3E+07       | -2,6                  | 4,0E+06              | 10,8                  | 5,2E+06              |
| L4       | 3,7E+04        | 1,8E+07       | 2,4                   | 2,4E+06              | 9,8                   | 7,1E+06              |
| L5       | 3,1E+04        | 5,1E+07       | 5,5                   | 9,6E+05              | 2,9                   | 9,8E+05              |
| L6       | 3,2E+04        | 2,6E+07       | 4,5                   | 8,5E+05              | -7,0                  | 1,1E+06              |



Figura 6.98: Gráfico com comparativo da redução relativa total da variância do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XIII

### 6.2.14 Metodologia XIV

Na Metodologia XIV, tanto o valor do parâmetro autoregressivo ( $p$ , na equação 4.5) quanto os de médias móveis ( $q$ , na equação 4.5) e o de diferenças ( $d$ , na equação 4.1) foi testado com o valor 1 (um). Cada conjunto foi testado duas vezes, uma com e a outra sem a utilização do modelo GARCH(1, 1).

Para a descompressão, serão necessários os seguintes itens:

1. **Valor de ARCH:** 32 bits indicando  $\bar{\alpha}$  na equação 4.7.
2. **Valor de GARCH:** 32 bits indicando  $\bar{\beta}$  na equação 4.7.
3. **Parâmetros AR calculados:**  $p \times 32$  bits indicando os parâmetros AR calculados ( $\alpha_1, \dots, p$ , na equação 4.5).
4. **Parâmetros MA calculados:**  $q \times 32$  bits indicando os parâmetros MA calculados ( $\beta_1, \dots, p$ , na equação 4.5).
5. **Parâmetros ARCH calculados:**  $\bar{\alpha} \times 32$  bits indicando os parâmetros ARCH calculados ( $\sigma_1, \dots, \bar{p}$ , na equação 4.7).
6. **Parâmetros GARCH calculados:**  $\bar{\beta} \times 32$  bits indicando os parâmetros GARCH calculados ( $h_1, \dots, \bar{q}$ , na equação 4.7).
7. **Resíduo do modelo:** o conjunto de resíduos do modelo, comprimido com a codificação aritmética. Tamanho variável, dependendo do resíduo calculado.

Portanto, o tamanho final do arquivo comprimido é descrito pela mesma equação da Metodologia IV (equação 6.8).

#### 6.2.14.1 Métricas obtidas

Tabela 6.83: Comparativo de quantidade de experimentos cujas soluções convergiram com e sem a utilização do GARCH na metodologia XIV

| Cenário   | Total experimentos | Convergiram | Não convergiram | % sucesso |
|-----------|--------------------|-------------|-----------------|-----------|
| Sem GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |
| Com GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |

Tabela 6.84: Razão de compressão dos experimentos sem e com GARCH na Metodologia XIV. Valores em bytes.

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| A1       | 1152000          | 867408                       | 871169                       | 1,33                       | 1,32                       |
| A2       | 1152000          | 814667                       | 815188                       | 1,41                       | 1,41                       |
| A3       | 1152000          | 850622                       | 850531                       | 1,35                       | 1,35                       |
| B1       | 518592           | 200274                       | 199890                       | 2,59                       | 2,59                       |
| B2       | 518592           | 200274                       | 199890                       | 2,59                       | 2,59                       |
| B3       | 518592           | 200274                       | 199890                       | 2,59                       | 2,59                       |
| C1       | 288192           | 261751                       | 256221                       | 1,10                       | 1,12                       |
| C2       | 288192           | 259352                       | 250990                       | 1,11                       | 1,15                       |
| C3       | 288192           | 263330                       | 259909                       | 1,09                       | 1,11                       |
| D1       | 331200           | 279469                       | 278812                       | 1,19                       | 1,19                       |
| D2       | 331200           | 261543                       | 261879                       | 1,27                       | 1,26                       |
| D3       | 331200           | 251475                       | 247505                       | 1,32                       | 1,34                       |
| E1       | 33792            | 32114                        | 32177                        | 1,05                       | 1,05                       |
| E2       | 33792            | 32273                        | 32355                        | 1,05                       | 1,04                       |
| E3       | 33792            | 32603                        | 32618                        | 1,04                       | 1,04                       |
| F1       | 220992           | 184376                       | 184207                       | 1,20                       | 1,20                       |
| F2       | 220992           | 137951                       | 143971                       | 1,60                       | 1,53                       |
| F3       | 220992           | 154981                       | 153210                       | 1,43                       | 1,44                       |

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| G1       | 139392           | 117176                       | 117203                       | 1,19                       | 1,19                       |
| G2       | 139392           | 106073                       | 105981                       | 1,31                       | 1,32                       |
| G3       | 139392           | 118822                       | 118831                       | 1,17                       | 1,17                       |
| H1       | 360192           | 329971                       | 330046                       | 1,09                       | 1,09                       |
| H2       | 360192           | 293597                       | 295533                       | 1,23                       | 1,22                       |
| H3       | 360192           | 299588                       | 298978                       | 1,20                       | 1,20                       |
| I1       | 221184           | 171934                       | 172390                       | 1,29                       | 1,28                       |
| I2       | 221184           | 134454                       | 148855                       | 1,65                       | 1,49                       |
| I3       | 221184           | 182502                       | 181543                       | 1,21                       | 1,22                       |
| J1       | 591936           | 389205                       | 400442                       | 1,52                       | 1,48                       |
| J2       | 591936           | 386014                       | 390683                       | 1,53                       | 1,52                       |
| J3       | 591936           | 386934                       | 387096                       | 1,53                       | 1,53                       |
| K1       | 288000           | 194423                       | 197368                       | 1,48                       | 1,46                       |
| K2       | 288000           | 198693                       | 198943                       | 1,45                       | 1,45                       |
| K3       | 288000           | 193167                       | 217639                       | 1,49                       | 1,32                       |
| L1       | 480192           | 400968                       | 397611                       | 1,20                       | 1,21                       |
| L2       | 480192           | 408448                       | 407100                       | 1,18                       | 1,18                       |
| L3       | 480192           | 414665                       | 413640                       | 1,16                       | 1,16                       |
| L4       | 480192           | 412280                       | 393637                       | 1,16                       | 1,22                       |
| L5       | 480192           | 378682                       | 377245                       | 1,27                       | 1,27                       |
| L6       | 480192           | 377208                       | 373274                       | 1,27                       | 1,29                       |

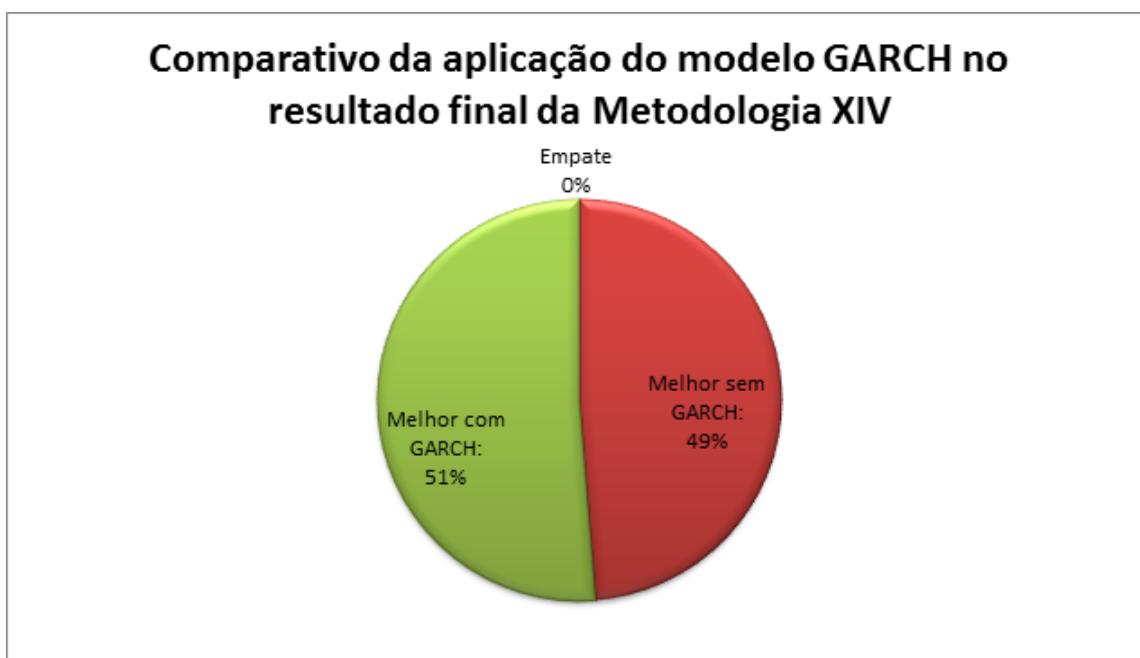


Figura 6.99: Gráfico com comparativo da razão de compressão na Metodologia XIV

Tabela 6.85: Evolução da entropia do dado original e do resíduo calculado na metodologia XIV

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| A1       | 11,30            | 11,14                        | 11,14                        |
| A2       | 11,30            | 10,62                        | 10,62                        |
| A3       | 11,27            | 10,77                        | 10,77                        |
| B1       | 7,64             | 4,48                         | 3,67                         |
| B2       | 7,64             | 4,48                         | 3,67                         |
| B3       | 7,64             | 4,48                         | 3,67                         |
| C1       | 12,34            | 12,27                        | 12,34                        |
| C2       | 13,18            | 12,67                        | 12,60                        |
| C3       | 13,17            | 12,74                        | 12,76                        |
| D1       | 9,48             | 9,48                         | 9,48                         |
| D2       | 12,38            | 11,39                        | 11,35                        |
| D3       | 6,45             | 6,45                         | 6,45                         |
| E1       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| E2       | 10,78            | 10,78                        | 10,78                        |
| E3       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| F1       | 10,20            | 10,20                        | 10,20                        |
| F2       | 8,20             | 7,74                         | 7,52                         |
| F3       | 9,27             | 9,19                         | 8,65                         |
| G1       | 12,03            | 11,71                        | 11,71                        |
| G2       | 11,79            | 11,25                        | 11,25                        |
| G3       | 12,06            | 11,82                        | 11,81                        |
| H1       | 8,44             | 8,44                         | 8,44                         |
| H2       | 12,29            | 12,24                        | 12,24                        |
| H3       | 12,33            | 12,20                        | 12,20                        |
| I1       | 8,14             | 8,01                         | 7,92                         |
| I2       | 9,59             | 7,70                         | 7,62                         |
| I3       | 8,15             | 8,15                         | 8,13                         |
| J1       | 8,50             | 7,81                         | 7,24                         |
| J2       | 8,52             | 7,94                         | 7,34                         |
| J3       | 8,53             | 7,86                         | 7,28                         |
| K1       | 10,94            | 9,99                         | 9,96                         |
| K2       | 10,89            | 9,98                         | 9,91                         |
| K3       | 10,87            | 9,99                         | 10,46                        |

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| L1       | 11,27            | 11,27                        | 11,27                        |
| L2       | 11,08            | 11,08                        | 11,08                        |
| L3       | 11,31            | 11,31                        | 11,31                        |
| L4       | 12,80            | 12,32                        | 11,94                        |
| L5       | 10,67            | 10,67                        | 10,67                        |
| L6       | 11,58            | 11,58                        | 11,58                        |

### Evolução de entropia geral na Metodologia XIV

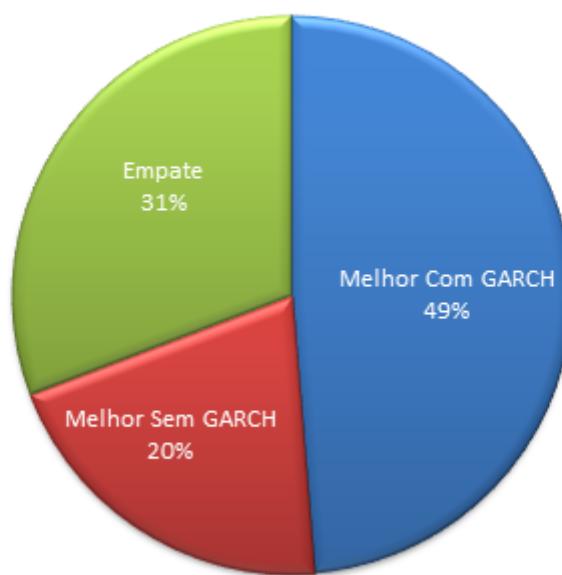


Figura 6.100: Gráfico com comparativo da evolução da entropia na Metodologia XIV

Tabela 6.86: Tempo de execução (em segundos) dos algoritmos sem e com GARCH na Metodologia XIV. Primeiro é exibido o tempo de execução sem a utilização do modelo GARCH, depois com o modelo. Parâmetros modelo se refere ao tempo gasto pelo algoritmo para o cálculo dos parâmetros do modelo, Resíduo refere-se ao tempo gasto pelo modelo para calcular o resíduo do modelo, Cod. Arit. refere-se ao tempo gasto pela codificação aritmética para comprimir o resíduo.

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| A1   | 162                  | < 1     | 2             | 165            | 156                  | 1       | 2             | 159            |
| A2   | 119                  | 1       | 9             | 129            | 535                  | 1       | 2             | 538            |
| A3   | 128                  | 1       | 3             | 131            | 820                  | 3       | 2             | 825            |
| B1   | 114                  | 1       | 1             | 116            | 323                  | < 1     | 1             | 325            |
| B2   | 107                  | < 1     | < 1           | 108            | 329                  | < 1     | 1             | 330            |
| B3   | 109                  | < 1     | 1             | 110            | 326                  | 1       | 1             | 328            |
| C1   | 48                   | 1       | 3             | 52             | 119                  | 1       | 2             | 122            |
| C2   | 41                   | < 1     | 1             | 43             | 116                  | 1       | 2             | 119            |
| C3   | 48                   | 1       | 2             | 51             | 108                  | < 1     | 1             | 109            |
| D1   | 50                   | 1       | 2             | 52             | 109                  | < 1     | 1             | 110            |
| D2   | 126                  | 1       | 3             | 130            | 360                  | 1       | 1             | 361            |
| D3   | 40                   | < 1     | 1             | 41             | 364                  | 1       | 2             | 367            |
| E1   | 9                    | < 1     | < 1           | 9              | 32                   | < 1     | < 1           | 32             |
| E2   | 6                    | < 1     | < 1           | 6              | 35                   | < 1     | < 1           | 35             |
| E3   | 7                    | < 1     | < 1           | 7              | 41                   | < 1     | < 1           | 41             |
| F1   | 25                   | < 1     | 1             | 26             | 87                   | 1       | 2             | 91             |
| F2   | 73                   | < 1     | < 1           | 73             | 250                  | < 1     | < 1           | 251            |
| F3   | 47                   | < 1     | 2             | 49             | 247                  | 1       | 2             | 249            |
| G1   | 18                   | < 1     | 2             | 20             | 85                   | < 1     | 1             | 86             |
| G2   | 57                   | < 1     | < 1           | 58             | 183                  | < 1     | 1             | 184            |
| G3   | 20                   | < 1     | 2             | 22             | 67                   | 1       | 2             | 70             |
| H1   | 67                   | < 1     | 3             | 70             | 214                  | 1       | 1             | 216            |
| H2   | 40                   | 1       | 3             | 44             | 198                  | 1       | 3             | 203            |
| H3   | 35                   | 1       | 3             | 39             | 133                  | < 1     | 2             | 135            |
| I1   | 36                   | < 1     | < 1           | 37             | 250                  | 1       | 1             | 252            |
| I2   | 68                   | < 1     | < 1           | 68             | 254                  | < 1     | < 1           | 255            |
| I3   | 15                   | < 1     | < 1           | 15             | 35                   | < 1     | < 1           | 36             |
| J1   | 94                   | < 1     | 1             | 95             | 405                  | < 1     | 2             | 407            |
| J2   | 59                   | < 1     | 1             | 60             | 523                  | 2       | 2             | 527            |

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| J3   | 106                  | < 1     | 1             | 107            | 617                  | 1       | 1             | 618            |
| K1   | 27                   | < 1     | 2             | 30             | 307                  | 1       | 2             | 309            |
| K2   | 72                   | < 1     | 1             | 73             | 228                  | < 1     | 1             | 229            |
| K3   | 35                   | 1       | 2             | 37             | 322                  | 1       | 2             | 325            |
| L1   | 185                  | < 1     | 3             | 189            | 134                  | < 1     | 2             | 137            |
| L2   | 73                   | < 1     | 1             | 74             | 182                  | < 1     | 1             | 184            |
| L3   | 60                   | 1       | 2             | 63             | 173                  | 1       | 1             | 175            |
| L4   | 86                   | 1       | 4             | 91             | 189                  | 2       | 3             | 194            |
| L5   | 71                   | < 1     | 1             | 72             | 436                  | 1       | 5             | 442            |
| L6   | 169                  | 1       | 4             | 174            | 161                  | < 1     | 1             | 162            |

**Tempo relativo de execução da predição dos parâmetros dos modelos no tempo total de execução do algoritmo na Metodologia XIV**

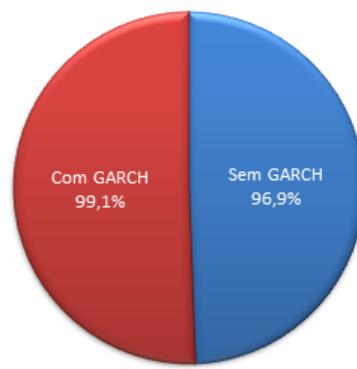


Figura 6.101: Gráfico com comparativo do tempo total relativo de cálculo dos parâmetros dos modelos sem e com GARCH na Metodologia XIV

Tabela 6.87: Autocorrelação do dado original e dos resíduos gerados sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XIV

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| A1       | 6                      | 0                        | 0                        |
| A2       | 5                      | 0                        | 0                        |
| A3       | 6                      | 0                        | 0                        |
| B1       | 6                      | 3                        | 3                        |
| B2       | 6                      | 3                        | 3                        |
| B3       | 6                      | 3                        | 3                        |
| C1       | 2                      | 0                        | 0                        |
| C2       | 1                      | 0                        | 1                        |
| C3       | 2                      | 0                        | 0                        |
| D1       | 2                      | 4                        | 4                        |
| D2       | 2                      | 3                        | 0                        |
| D3       | 2                      | 3                        | 3                        |
| E1       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E2       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E3       | 4                      | 0                        | 0                        |
| F1       | 1                      | 4                        | 4                        |
| F2       | 6                      | 1                        | 1                        |
| F3       | 6                      | 1                        | 1                        |
| G1       | 1                      | 1                        | 1                        |
| G2       | 2                      | 1                        | 1                        |
| G3       | 6                      | 1                        | 1                        |
| H1       | 1                      | 0                        | 0                        |
| H2       | 1                      | 0                        | 1                        |
| H3       | 1                      | 0                        | 0                        |
| I1       | 7                      | 0                        | 1                        |
| I2       | 1                      | 3                        | 3                        |
| I3       | 1                      | 1                        | 1                        |
| J1       | 3                      | 7                        | 7                        |
| J2       | 3                      | 7                        | 7                        |
| J3       | 8                      | 0                        | 0                        |
| K1       | 3                      | 3                        | 3                        |
| K2       | 3                      | 3                        | 3                        |
| K3       | 2                      | 3                        | 1                        |

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| L1       | 2                      | 0                        | 0                        |
| L2       | 7                      | 0                        | 2                        |
| L3       | 11                     | 0                        | 0                        |
| L4       | 7                      | 0                        | 1                        |
| L5       | 7                      | 0                        | 0                        |
| L6       | 6                      | 0                        | 0                        |

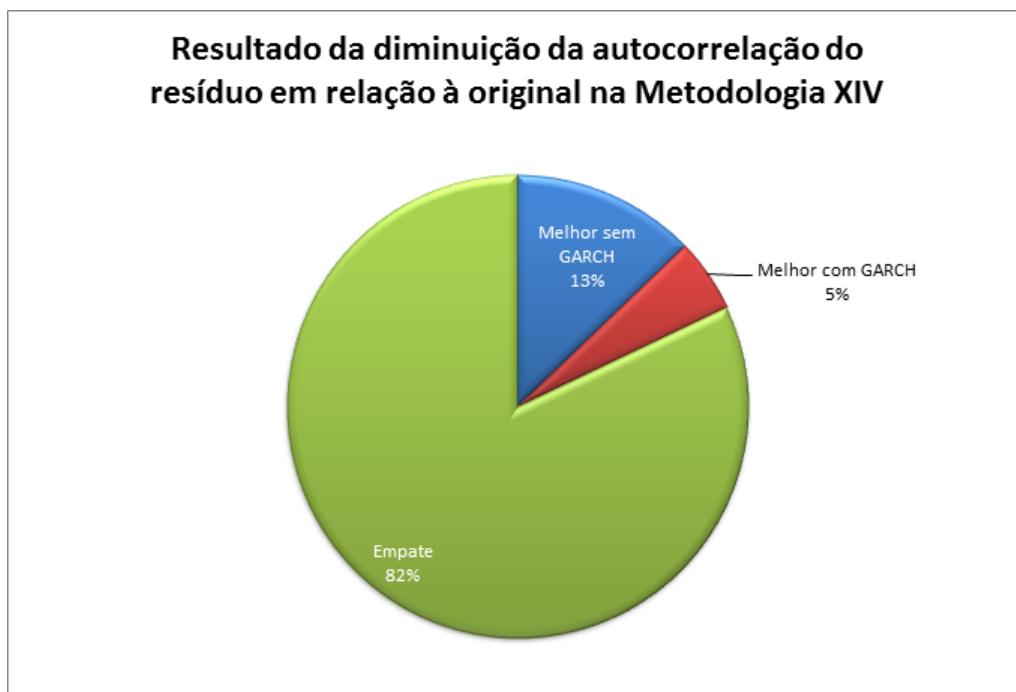


Figura 6.102: Gráfico com comparativo da redução relativa total da autocorrelação do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XIV

Tabela 6.88: Média e variância do dado original comparadas às do resíduo calculado sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XIV

| Conjunto | Média Original | Var. Original | Média Sem GARCH | Var. Sem GARCH | Média Com GARCH | Var. Com GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| A1       | 3,0E+04        | 1,8E+07       | 0,5             | 3,7E+05        | 0,4             | 3,8E+05        |
| A2       | 3,2E+04        | 1,1E+07       | 0,4             | 3,0E+05        | -1,1            | 3,0E+05        |
| A3       | 3,1E+04        | 1,4E+07       | 0,4             | 3,2E+05        | -0,4            | 3,2E+05        |
| B1       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,5             | 6,5E+02        | 0,4             | 1,1E+03        |
| B2       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,5             | 6,5E+02        | 0,4             | 1,1E+03        |
| B3       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,5             | 6,5E+02        | 0,4             | 1,1E+03        |
| C1       | 3,3E+04        | 8,1E+07       | 0,3             | 2,0E+07        | 0,2             | 2,2E+07        |
| C2       | 3,3E+04        | 4,0E+07       | 0,9             | 1,3E+07        | 2,8             | 1,7E+07        |
| C3       | 3,3E+04        | 5,7E+07       | 0,6             | 1,1E+07        | 0,8             | 1,3E+07        |
| D1       | 3,7E+04        | 4,1E+07       | 0,2             | 3,6E+06        | 0,7             | 3,6E+06        |
| D2       | 3,3E+04        | 1,2E+07       | 0,6             | 1,8E+06        | 0,7             | 1,9E+06        |
| D3       | 3,1E+04        | 1,0E+07       | -4,4            | 1,1E+06        | 5,9             | 1,5E+06        |
| E1       | 2,9E+04        | 5,8E+07       | 0,6             | 5,1E+07        | -4,7            | 5,1E+07        |
| E2       | 3,0E+04        | 5,8E+07       | 0,5             | 5,2E+07        | 0,6             | 5,3E+07        |
| E3       | 3,0E+04        | 6,0E+07       | 0,9             | 5,5E+07        | 0,8             | 5,6E+07        |
| F1       | 3,8E+04        | 3,9E+07       | 0,5             | 5,6E+06        | 0,4             | 5,6E+06        |
| F2       | 2,3E+04        | 5,4E+06       | 0,4             | 5,1E+05        | 0,4             | 5,8E+05        |
| F3       | 2,6E+04        | 6,0E+06       | 1,9             | 4,0E+05        | 0,6             | 4,8E+05        |
| G1       | 3,3E+04        | 3,3E+07       | 2,9             | 2,6E+06        | 0,1             | 2,6E+06        |
| G2       | 3,8E+04        | 1,9E+07       | 5,5             | 1,2E+06        | 2,6             | 1,3E+06        |
| G3       | 2,9E+04        | 3,6E+07       | 3,5             | 2,7E+06        | 0,4             | 2,7E+06        |
| H1       | 3,1E+04        | 3,6E+07       | -2,7            | 3,5E+07        | 38,2            | 3,5E+07        |
| H2       | 3,4E+04        | 8,1E+06       | 0,3             | 5,9E+06        | -16,0           | 5,1E+06        |
| H3       | 3,2E+04        | 7,3E+06       | 0,6             | 4,9E+06        | 0,1             | 5,1E+06        |
| I1       | 3,6E+04        | 1,2E+07       | 0,7             | 1,3E+06        | 0,2             | 1,4E+06        |
| I2       | 2,9E+04        | 1,2E+06       | 1,4             | 1,8E+05        | 0,2             | 1,9E+05        |
| I3       | 3,1E+04        | 3,3E+07       | 0,3             | 6,9E+06        | 0,7             | 7,0E+06        |
| J1       | 3,7E+04        | 1,2E+06       | 0,8             | 4,6E+05        | 0,5             | 5,1E+05        |
| J2       | 3,5E+04        | 1,5E+06       | 0,5             | 5,9E+05        | 0,5             | 6,7E+05        |
| J3       | 3,3E+04        | 1,3E+06       | 1,3             | 5,0E+05        | 0,6             | 5,8E+05        |
| K1       | 3,9E+04        | 6,9E+06       | 0,5             | 4,3E+05        | 0,6             | 4,8E+05        |
| K2       | 4,0E+04        | 6,7E+06       | -0,1            | 4,1E+05        | 0,3             | 4,6E+05        |

| Conjunto | Média<br>Orig. | Var.<br>Orig. | Média<br>Sem<br>GARCH | Var.<br>Sem<br>GARCH | Média<br>Com<br>GARCH | Var.<br>Com<br>GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| K3       | 3,6E+04        | 5,8E+06       | 0,6                   | 4,3E+05              | -2,3                  | 1,7E+06              |
| L1       | 3,4E+04        | 2,9E+07       | -4,7                  | 5,3E+06              | 0,4                   | 5,2E+06              |
| L2       | 3,1E+04        | 1,5E+07       | 0,7                   | 5,2E+06              | 0,7                   | 5,4E+06              |
| L3       | 3,5E+04        | 1,3E+07       | -0,3                  | 7,5E+06              | 1,8                   | 7,6E+06              |
| L4       | 3,7E+04        | 1,8E+07       | 8,3                   | 4,8E+06              | 4,0                   | 7,2E+06              |
| L5       | 3,1E+04        | 5,1E+07       | 0,6                   | 1,6E+06              | -0,2                  | 1,6E+06              |
| L6       | 3,2E+04        | 2,6E+07       | 1,0                   | 1,2E+06              | 0,9                   | 1,2E+06              |



Figura 6.103: Gráfico com comparativo da redução relativa total da variância do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XIV

### 6.2.15 Metodologia XV

Na Metodologia XV, o valor do parâmetro autoregressivo ( $p$ , na equação 4.5) foi testado sempre com o valor 1 (um), já o de médias móveis ( $q$ , na equação 4.5) com o valor zero. Por fim, o operador de diferenças ( $d$ , na equação 4.1) foi testado com o valor um. Cada conjunto foi testado duas vezes, uma com e a outra sem a utilização do modelo GARCH(1, 1).

A solução proposta em (IVES; MAGOTRA; STEARNS, 2002) em que o resíduo, quando ainda correlacionado, é novamente dado como entrada para o cálculo de um novo modelo, também foi adotada nessa metodologia.

Para a descompressão, serão necessários os seguintes itens:

1.  $QMod_{Met15}$ : 32 bits indicando quantos modelos foram calculados.
2. **Valor de ARCH**:  $QMod_{Met15} \times 32$  bits indicando  $\bar{\alpha}$  na equação 4.7.
3. **Valor de GARCH**:  $QMod_{Met15} \times 32$  bits indicando  $\bar{\beta}$  na equação 4.7.
4. **Parâmetros AR calculados**:  $QMod_{Met15} \times 32$  bits indicando os parâmetros AR calculados ( $\alpha_1, \dots, p$ , na equação 4.5).
5. **Parâmetros ARCH calculados**:  $QMod_{Met15} \times \bar{\alpha} \times 32$  bits indicando os parâmetros ARCH calculados ( $\sigma_1, \dots, \bar{p}$ , na equação 4.7).
6. **Parâmetros GARCH calculados**:  $QMod_{Met15} \times \bar{\beta} \times 32$  bits indicando os parâmetros GARCH calculados ( $h_1, \dots, \bar{q}$ , na equação 4.7).
7. **Resíduo do modelo**:  $QMod_{Met15}$  conjuntos de resíduos dos modelos calculados e comprimidos com a codificação aritmética. Tamanho variável, dependendo do resíduo calculado.

Portanto, o tamanho final do arquivo comprimido é descrito pela mesma equação da Metodologia V (equação 6.10).

#### 6.2.15.1 Métricas obtidas

Tabela 6.89: Comparativo de quantidade de experimentos cujas soluções convergiram com e sem a utilização do GARCH na metodologia XV

| Cenário   | Total experimentos | Convergiram | Não convergiram | % sucesso |
|-----------|--------------------|-------------|-----------------|-----------|
| Sem GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |
| Com GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |

Tabela 6.90: Razão de compressão dos experimentos sem e com GARCH na Metodologia XV. Valores em bytes.

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| A1       | 1152000          | 875944                       | 878869                       | 1,32                       | 1,31                       |
| A2       | 1152000          | 872251                       | 874017                       | 1,32                       | 1,32                       |
| A3       | 1152000          | 860849                       | 860372                       | 1,34                       | 1,34                       |
| B1       | 518592           | 164638                       | 169160                       | 3,15                       | 3,07                       |
| B2       | 518592           | 164638                       | 169160                       | 3,15                       | 3,07                       |
| B3       | 518592           | 164638                       | 169160                       | 3,15                       | 3,07                       |
| C1       | 288192           | 265329                       | 281290                       | 1,09                       | 1,02                       |
| C2       | 288192           | 263581                       | 260942                       | 1,09                       | 1,10                       |
| C3       | 288192           | 272450                       | 271467                       | 1,06                       | 1,06                       |
| D1       | 331200           | 282762                       | 280342                       | 1,17                       | 1,18                       |
| D2       | 331200           | 274744                       | 274426                       | 1,21                       | 1,21                       |
| D3       | 331200           | 281721                       | 280568                       | 1,18                       | 1,18                       |
| E1       | 33792            | 34492                        | 34616                        | 0,98                       | 0,98                       |

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| E2       | 33792            | 34588                        | 34714                        | 0,98                       | 0,97                       |
| E3       | 33792            | 34787                        | 34905                        | 0,97                       | 0,97                       |
| F1       | 220992           | 188195                       | 198097                       | 1,17                       | 1,12                       |
| F2       | 220992           | 150618                       | 162576                       | 1,47                       | 1,36                       |
| F3       | 220992           | 156308                       | 155688                       | 1,41                       | 1,42                       |
| G1       | 139392           | 110456                       | 101097                       | 1,26                       | 1,38                       |
| G2       | 139392           | 104686                       | 102412                       | 1,33                       | 1,36                       |
| G3       | 139392           | 113651                       | 111153                       | 1,23                       | 1,25                       |
| H1       | 360192           | 329017                       | 328935                       | 1,09                       | 1,10                       |
| H2       | 360192           | 316968                       | 317340                       | 1,14                       | 1,14                       |
| H3       | 360192           | 300821                       | 323714                       | 1,20                       | 1,11                       |
| I1       | 221184           | 169614                       | 188293                       | 1,30                       | 1,17                       |
| I2       | 221184           | 158651                       | 168246                       | 1,39                       | 1,31                       |
| I3       | 221184           | 194376                       | 194095                       | 1,14                       | 1,14                       |
| J1       | 591936           | 460073                       | 460311                       | 1,29                       | 1,29                       |
| J2       | 591936           | 464549                       | 466701                       | 1,27                       | 1,27                       |
| J3       | 591936           | 461303                       | 500011                       | 1,28                       | 1,18                       |
| K1       | 288000           | 229335                       | 226690                       | 1,26                       | 1,27                       |
| K2       | 288000           | 231595                       | 230672                       | 1,24                       | 1,25                       |
| K3       | 288000           | 227603                       | 214441                       | 1,27                       | 1,34                       |
| L1       | 480192           | 436952                       | 435957                       | 1,10                       | 1,10                       |
| L2       | 480192           | 428143                       | 405333                       | 1,12                       | 1,18                       |
| L3       | 480192           | 414785                       | 415524                       | 1,16                       | 1,16                       |
| L4       | 480192           | 409339                       | 396907                       | 1,17                       | 1,21                       |
| L5       | 480192           | 377259                       | 375707                       | 1,27                       | 1,28                       |
| L6       | 480192           | 382049                       | 388290                       | 1,26                       | 1,24                       |

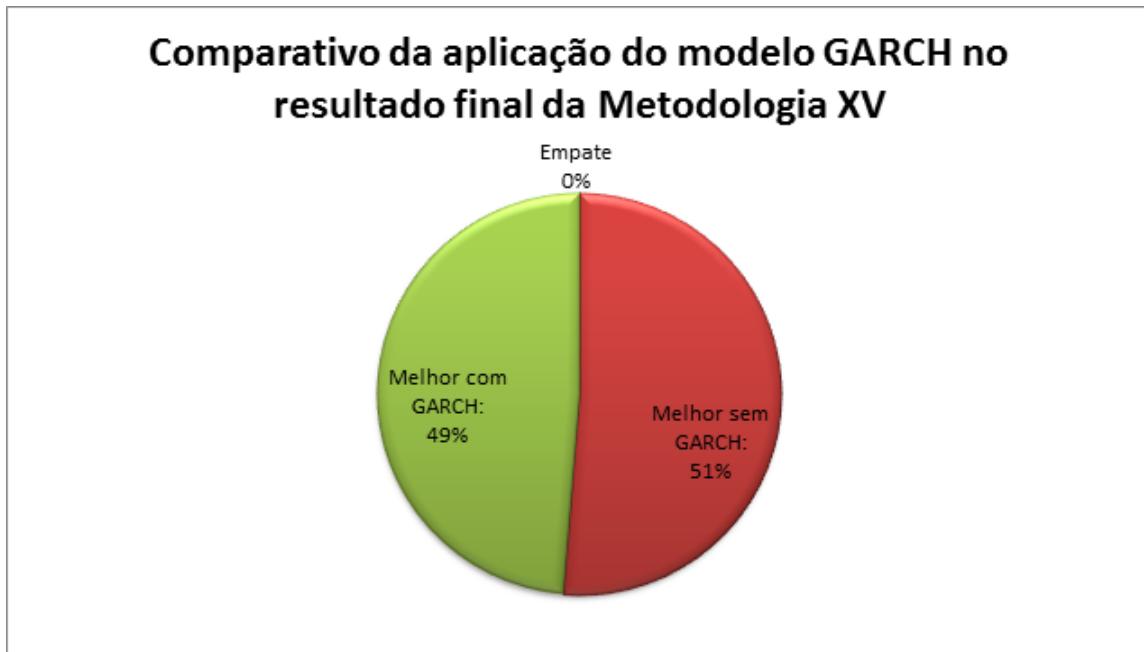


Figura 6.104: Gráfico com comparativo da razão de compressão na Metodologia XV

Tabela 6.91: Evolução da entropia do dado original e do resíduo calculado na metodologia XV

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| A1       | 11,30            | 11,08                        | 11,07                        |
| A2       | 11,30            | 10,62                        | 10,60                        |
| A3       | 11,27            | 10,72                        | 10,72                        |
| B1       | 7,64             | 3,24                         | 3,24                         |
| B2       | 7,64             | 3,24                         | 3,24                         |
| B3       | 7,64             | 3,24                         | 3,24                         |
| C1       | 12,34            | 12,21                        | 12,21                        |
| C2       | 13,18            | 12,89                        | 12,88                        |
| C3       | 13,17            | 12,87                        | 12,88                        |
| D1       | 9,48             | 9,48                         | 9,48                         |
| D2       | 12,38            | 11,94                        | 11,92                        |
| D3       | 6,45             | 6,37                         | 6,37                         |
| E1       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| E2       | 10,78            | 10,78                        | 10,78                        |
| E3       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| F1       | 10,20            | 10,12                        | 10,16                        |
| F2       | 8,20             | 7,34                         | 7,41                         |
| F3       | 9,27             | 7,27                         | 7,48                         |
| G1       | 12,03            | 11,87                        | 11,90                        |
| G2       | 11,79            | 11,55                        | 11,55                        |
| G3       | 12,06            | 11,91                        | 11,90                        |
| H1       | 8,44             | 8,44                         | 8,44                         |
| H2       | 12,29            | 12,11                        | 12,11                        |
| H3       | 12,33            | 12,09                        | 12,09                        |
| I1       | 8,14             | 7,98                         | 7,98                         |
| I2       | 9,59             | 7,95                         | 7,37                         |
| I3       | 8,15             | 8,02                         | 8,01                         |
| J1       | 8,50             | 6,63                         | 6,63                         |
| J2       | 8,52             | 6,63                         | 6,89                         |
| J3       | 8,53             | 7,30                         | 7,30                         |
| K1       | 10,94            | 9,92                         | 9,91                         |
| K2       | 10,89            | 9,75                         | 9,55                         |
| K3       | 10,87            | 10,06                        | 10,01                        |

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| L1       | 11,27            | 11,27                        | 11,27                        |
| L2       | 11,08            | 11,08                        | 11,08                        |
| L3       | 11,31            | 11,31                        | 11,31                        |
| L4       | 12,80            | 12,32                        | 12,03                        |
| L5       | 10,67            | 10,67                        | 10,67                        |
| L6       | 11,58            | 11,58                        | 11,58                        |

### Evolução de entropia geral na Metodologia XV

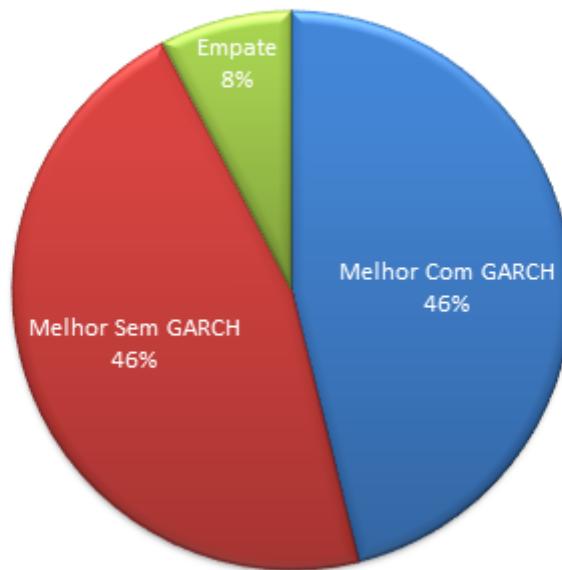


Figura 6.105: Gráfico com comparativo da evolução da entropia na Metodologia XV

Tabela 6.92: Tempo de execução (em segundos) dos algoritmos sem e com GARCH na Metodologia XV. Primeiro é exibido o tempo de execução sem a utilização do modelo GARCH, depois com o modelo. Parâmetros modelo se refere ao tempo gasto pelo algoritmo para o cálculo dos parâmetros do modelo, Resíduo refere-se ao tempo gasto pelo modelo para calcular o resíduo do modelo, Cod. Arit. refere-se ao tempo gasto pela codificação aritmética para comprimir o resíduo.

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| A1   | 27                   | < 1     | 3             | 30             | 190                  | 2       | 5             | 197            |
| A2   | 31                   | < 1     | 2             | 34             | 183                  | 1       | 2             | 186            |
| A3   | 28                   | < 1     | 2             | 30             | 189                  | 1       | 2             | 192            |
| B1   | 23                   | 1       | 3             | 26             | 117                  | < 1     | 1             | 118            |
| B2   | 25                   | 1       | 3             | 29             | 214                  | 1       | 3             | 218            |
| B3   | 22                   | 1       | 3             | 26             | 215                  | 1       | 3             | 219            |
| C1   | 13                   | < 1     | 1             | 14             | 68                   | < 1     | 1             | 69             |
| C2   | 14                   | < 1     | 1             | 15             | 117                  | < 1     | 1             | 118            |
| C3   | 11                   | 1       | 3             | 14             | 95                   | 1       | 3             | 98             |
| D1   | 15                   | < 1     | 1             | 16             | 74                   | 1       | 2             | 77             |
| D2   | 15                   | 1       | 2             | 18             | 80                   | < 1     | 1             | 81             |
| D3   | 15                   | 1       | 1             | 17             | 82                   | < 1     | 1             | 83             |
| E1   | 5                    | < 1     | < 1           | 5              | 19                   | < 1     | < 1           | 20             |
| E2   | 2                    | < 1     | < 1           | 3              | 22                   | < 1     | < 1           | 22             |
| E3   | 2                    | < 1     | < 1           | 2              | 31                   | < 1     | < 1           | 31             |
| F1   | 11                   | < 1     | 1             | 12             | 71                   | < 1     | < 1           | 71             |
| F2   | 6                    | < 1     | 1             | 8              | 138                  | 1       | 1             | 140            |
| F3   | 8                    | < 1     | 2             | 10             | 75                   | 1       | 2             | 78             |
| G1   | 9                    | < 1     | < 1           | 9              | 42                   | 1       | 1             | 43             |
| G2   | 7                    | < 1     | < 1           | 8              | 128                  | 1       | 1             | 129            |
| G3   | 10                   | < 1     | < 1           | 10             | 49                   | < 1     | < 1           | 50             |
| H1   | 17                   | < 1     | 1             | 18             | 65                   | < 1     | 3             | 69             |
| H2   | 14                   | < 1     | 3             | 17             | 310                  | 1       | 3             | 314            |
| H3   | 14                   | < 1     | 1             | 16             | 325                  | 1       | 3             | 330            |
| I1   | 7                    | < 1     | 2             | 9              | 55                   | 1       | 2             | 58             |
| I2   | 11                   | < 1     | < 1           | 12             | 69                   | < 1     | < 1           | 70             |
| I3   | 3                    | < 1     | < 1           | 4              | 17                   | < 1     | < 1           | 18             |
| J1   | 19                   | 1       | 1             | 22             | 71                   | < 1     | < 1           | 72             |
| J2   | 17                   | < 1     | 1             | 18             | 115                  | < 1     | 1             | 116            |

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| J3   | 24                   | 1       | 2             | 27             | 150                  | 2       | 2             | 153            |
| K1   | 13                   | < 1     | 1             | 14             | 68                   | < 1     | < 1           | 69             |
| K2   | 13                   | < 1     | 1             | 13             | 64                   | < 1     | 1             | 64             |
| K3   | 13                   | < 1     | 1             | 13             | 146                  | < 1     | 1             | 146            |
| L1   | 20                   | 1       | 5             | 25             | 136                  | 1       | 4             | 142            |
| L2   | 24                   | < 1     | 1             | 25             | 298                  | < 1     | 1             | 300            |
| L3   | 22                   | 1       | 4             | 27             | 126                  | 1       | 2             | 130            |
| L4   | 20                   | 1       | 4             | 25             | 123                  | 1       | 3             | 127            |
| L5   | 42                   | 1       | 2             | 44             | 97                   | 1       | 4             | 103            |
| L6   | 19                   | 1       | 5             | 25             | 108                  | < 1     | 4             | 113            |

**Tempo relativo de execução da predição dos  
parâmetros dos modelos no tempo total de execução  
do algoritmo na Metodologia XV**

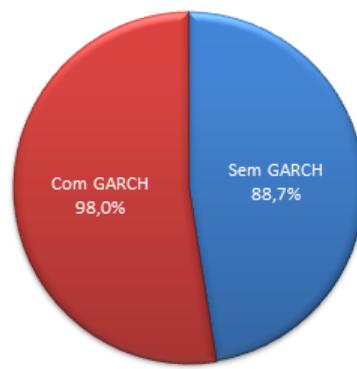


Figura 6.106: Gráfico com comparativo do tempo total relativo de cálculo dos parâmetros dos modelos sem e com GARCH na Metodologia XV

Tabela 6.93: Autocorrelação do dado original e dos resíduos gerados sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XV

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| A1       | 6                      | 0                        | 0                        |
| A2       | 5                      | 0                        | 0                        |
| A3       | 6                      | 0                        | 0                        |
| B1       | 6                      | 0                        | 0                        |
| B2       | 6                      | 0                        | 0                        |
| B3       | 6                      | 0                        | 0                        |
| C1       | 2                      | 0                        | 0                        |
| C2       | 1                      | 0                        | 0                        |
| C3       | 2                      | 0                        | 0                        |
| D1       | 2                      | 0                        | 1                        |
| D2       | 2                      | 0                        | 0                        |
| D3       | 2                      | 0                        | 0                        |
| E1       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E2       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E3       | 4                      | 0                        | 0                        |
| F1       | 1                      | 0                        | 1                        |
| F2       | 6                      | 0                        | 0                        |
| F3       | 6                      | 0                        | 1                        |
| G1       | 1                      | 0                        | 3                        |
| G2       | 2                      | 0                        | 0                        |
| G3       | 6                      | 0                        | 3                        |
| H1       | 1                      | 0                        | 0                        |
| H2       | 1                      | 0                        | 0                        |
| H3       | 1                      | 0                        | 0                        |
| I1       | 7                      | 0                        | 0                        |
| I2       | 1                      | 0                        | 0                        |
| I3       | 1                      | 0                        | 0                        |
| J1       | 3                      | 0                        | 0                        |
| J2       | 3                      | 0                        | 0                        |
| J3       | 8                      | 0                        | 0                        |
| K1       | 3                      | 0                        | 0                        |
| K2       | 3                      | 0                        | 0                        |
| K3       | 2                      | 0                        | 0                        |

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| L1       | 2                      | 0                        | 0                        |
| L2       | 7                      | 0                        | 0                        |
| L3       | 11                     | 0                        | 0                        |
| L4       | 7                      | 0                        | 1                        |
| L5       | 7                      | 0                        | 0                        |
| L6       | 6                      | 2                        | 0                        |

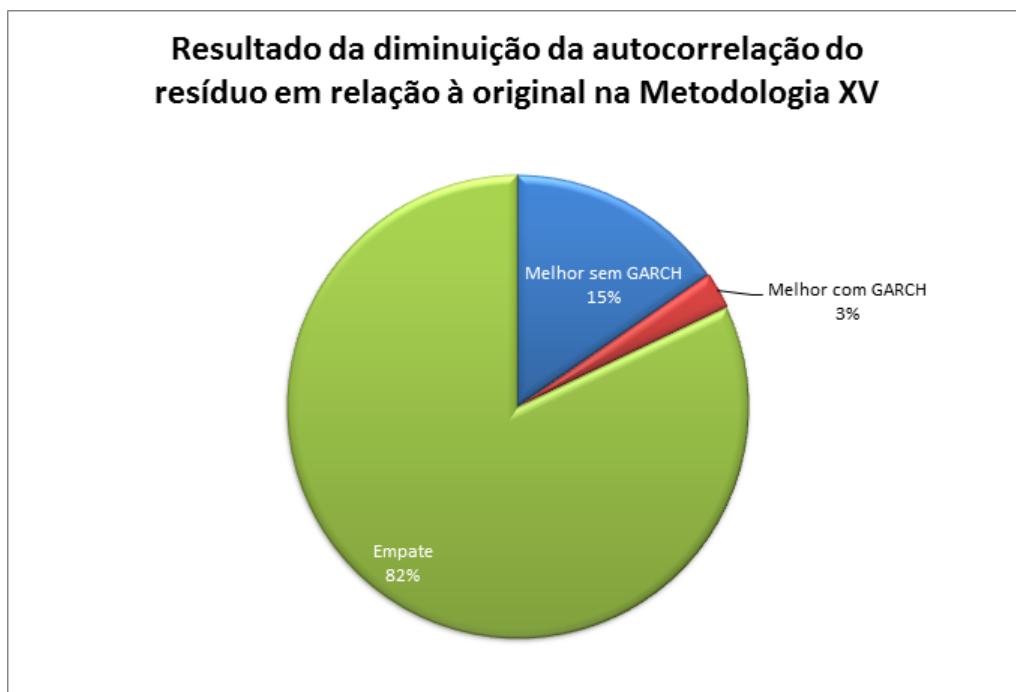


Figura 6.107: Gráfico com comparativo da redução relativa total da autocorrelação do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XV

Tabela 6.94: Média e variância do dado original comparadas às do resíduo calculado sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XV

| Conjunto | Média Original | Var. Original | Média Sem GARCH | Var. Sem GARCH | Média Com GARCH | Var. Com GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| A1       | 3,0E+04        | 1,8E+07       | 0,5             | 6,3E+05        | 0,2             | 6,2E+05        |
| A2       | 3,2E+04        | 1,1E+07       | 0,5             | 5,5E+05        | -1,8            | 5,6E+05        |
| A3       | 3,1E+04        | 1,4E+07       | 0,5             | 5,3E+05        | 1,2             | 5,3E+05        |
| B1       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,4             | 3,7E+01        | 0,4             | 6,2E+01        |
| B2       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,4             | 3,7E+01        | 0,4             | 6,2E+01        |
| B3       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,4             | 3,7E+01        | 0,4             | 6,2E+01        |
| C1       | 3,3E+04        | 8,1E+07       | 0,5             | 4,4E+07        | 0,5             | 4,8E+07        |
| C2       | 3,3E+04        | 4,0E+07       | 0,5             | 3,0E+07        | 1,3             | 3,3E+07        |
| C3       | 3,3E+04        | 5,7E+07       | 0,5             | 4,8E+07        | 0,6             | 2,6E+07        |
| D1       | 3,7E+04        | 4,1E+07       | 0,3             | 1,8E+07        | 9,3             | 1,5E+07        |
| D2       | 3,3E+04        | 1,2E+07       | 0,5             | 1,1E+07        | 0,2             | 7,7E+06        |
| D3       | 3,1E+04        | 1,0E+07       | 0,2             | 2,0E+07        | 0,8             | 3,0E+07        |
| E1       | 2,9E+04        | 5,8E+07       | -1,3            | 1,6E+08        | -8,1            | 1,6E+08        |
| E2       | 3,0E+04        | 5,8E+07       | -0,6            | 1,6E+08        | -8,0            | 1,6E+08        |
| E3       | 3,0E+04        | 6,0E+07       | -0,9            | 1,7E+08        | -8,2            | 1,7E+08        |
| F1       | 3,8E+04        | 3,9E+07       | 0,5             | 1,3E+07        | 7,2             | 1,6E+07        |
| F2       | 2,3E+04        | 5,4E+06       | 0,4             | 2,0E+06        | -1,3            | 4,0E+06        |
| F3       | 2,6E+04        | 6,0E+06       | 0,4             | 7,5E+05        | -4,7            | 1,4E+06        |
| G1       | 3,3E+04        | 3,3E+07       | 0,5             | 1,0E+06        | -0,9            | 1,3E+06        |
| G2       | 3,8E+04        | 1,9E+07       | 0,5             | 1,2E+06        | 1,6             | 7,9E+05        |
| G3       | 2,9E+04        | 3,6E+07       | 0,5             | 2,9E+06        | 1,0             | 4,7E+06        |
| H1       | 3,1E+04        | 3,6E+07       | 0,7             | 5,2E+07        | 0,3             | 5,3E+07        |
| H2       | 3,4E+04        | 8,1E+06       | 0,5             | 9,7E+06        | 10,5            | 9,4E+06        |
| H3       | 3,2E+04        | 7,3E+06       | 0,5             | 8,6E+06        | 7,9             | 1,5E+07        |
| I1       | 3,6E+04        | 1,2E+07       | 0,3             | 3,2E+06        | 4,9             | 6,8E+06        |
| I2       | 2,9E+04        | 1,2E+06       | 0,5             | 8,6E+05        | 7,0             | 2,4E+06        |
| I3       | 3,1E+04        | 3,3E+07       | 0,3             | 1,8E+07        | 0,2             | 5,6E+07        |
| J1       | 3,7E+04        | 1,2E+06       | 0,5             | 1,4E+07        | 0,9             | 1,7E+07        |
| J2       | 3,5E+04        | 1,5E+06       | 0,5             | 1,7E+07        | 0,4             | 2,0E+07        |
| J3       | 3,3E+04        | 1,3E+06       | 0,5             | 1,7E+07        | 0,4             | 2,1E+07        |
| K1       | 3,9E+04        | 6,9E+06       | 0,5             | 3,8E+06        | 0,7             | 6,7E+06        |
| K2       | 4,0E+04        | 6,7E+06       | 0,5             | 3,6E+06        | 0,1             | 6,3E+06        |

| Conjunto | Média<br>Orig. | Var.<br>Orig. | Média<br>Sem<br>GARCH | Var.<br>Sem<br>GARCH | Média<br>Com<br>GARCH | Var.<br>Com<br>GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| K3       | 3,6E+04        | 5,8E+06       | 0,5                   | 2,1E+06              | 0,4                   | 1,9E+06              |
| L1       | 3,4E+04        | 2,9E+07       | 0,5                   | 2,5E+07              | 0,7                   | 5,3E+07              |
| L2       | 3,1E+04        | 1,5E+07       | 0,5                   | 1,4E+07              | 1,9                   | 8,1E+06              |
| L3       | 3,5E+04        | 1,3E+07       | 0,5                   | 8,9E+06              | -0,2                  | 8,9E+06              |
| L4       | 3,7E+04        | 1,8E+07       | 0,4                   | 5,1E+06              | 2,2                   | 7,4E+06              |
| L5       | 3,1E+04        | 5,1E+07       | 0,6                   | 1,6E+06              | 0,4                   | 1,6E+06              |
| L6       | 3,2E+04        | 2,6E+07       | 0,5                   | 2,3E+06              | 1,1                   | 1,4E+06              |



Figura 6.108: Gráfico com comparativo da redução relativa total da variância do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XV

### 6.2.16 Metodologia XVI

A Metodologia XVI também utiliza a solução proposta em (IVES; MAGOTRA; STEARNS, 2002) para uma melhor descorrelação do resíduo. O valor do parâmetro autoregressivo ( $p$ , na equação 4.5) foi testado sempre com o valor 1 (um), assim como o valor do de médias móveis ( $q$ , na equação 4.5) e o operador diferença ( $d$ , na equação 4.1). Cada conjunto foi testado duas vezes, uma com e a outra sem a utilização do modelo GARCH(1, 1).

Para a descompressão, serão necessários os seguintes itens:

1.  **$QMod_{Met16}$** : 32 bits indicando quantos modelos foram calculados.
2. **Valor de ARCH**:  $QMod_{Met16} \times 32$  bits indicando  $\bar{\alpha}$  na equação 4.7.
3. **Valor de GARCH**:  $QMod_{Met16} \times 32$  bits indicando  $\bar{\beta}$  na equação 4.7.
4. **Parâmetros AR calculados**:  $QMod_{Met16} \times 32$  bits indicando os parâmetros AR calculados ( $\alpha_1, \dots, p$ , na equação 4.5).
5. **Parâmetros MA calculados**:  $QMod_{Met16} \times 32$  bits indicando os parâmetros AR calculados ( $\alpha_1, \dots, p$ , na equação 4.5).
6. **Parâmetros ARCH calculados**:  $QMod_{Met16} \times \bar{\alpha} \times 32$  bits indicando os parâmetros ARCH calculados ( $\sigma_1, \dots, \bar{p}$ , na equação 4.7).
7. **Parâmetros GARCH calculados**:  $QMod_{Met16} \times \bar{\beta} \times 32$  bits indicando os parâmetros GARCH calculados ( $h_1, \dots, \bar{q}$ , na equação 4.7).
8. **Resíduo do modelo**:  $QMod_{Met16}$  conjuntos de resíduos dos modelos calculados e comprimidos com a codificação aritmética. Tamanho variável, dependendo do resíduo calculado.

Portanto, o tamanho final do arquivo comprimido é descrito pela mesma equação da Metodologia VI (equação 6.12).

#### 6.2.16.1 Métricas obtidas

Tabela 6.95: Comparativo de quantidade de experimentos cujas soluções convergiram com e sem a utilização do GARCH na metodologia XVI

| Cenário   | Total experimentos | Convergiram | Não convergiram | % sucesso |
|-----------|--------------------|-------------|-----------------|-----------|
| Sem GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |
| Com GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |

Tabela 6.96: Razão de compressão dos experimentos sem e com GARCH na Metodologia XVI. Valores em bytes.

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| A1       | 1152000          | 867408                       | 879718                       | 1,33                       | 1,31                       |
| A2       | 1152000          | 814667                       | 815188                       | 1,41                       | 1,41                       |
| A3       | 1152000          | 850622                       | 850531                       | 1,35                       | 1,35                       |
| B1       | 518592           | 170570                       | 186837                       | 3,04                       | 2,78                       |
| B2       | 518592           | 170570                       | 186837                       | 3,04                       | 2,78                       |
| B3       | 518592           | 170570                       | 186837                       | 3,04                       | 2,78                       |
| C1       | 288192           | 260660                       | 256221                       | 1,11                       | 1,12                       |
| C2       | 288192           | 258546                       | 250990                       | 1,11                       | 1,15                       |
| C3       | 288192           | 261423                       | 259909                       | 1,10                       | 1,11                       |
| D1       | 331200           | 263553                       | 283959                       | 1,26                       | 1,17                       |
| D2       | 331200           | 256716                       | 264775                       | 1,29                       | 1,25                       |
| D3       | 331200           | 249241                       | 245918                       | 1,33                       | 1,35                       |
| E1       | 33792            | 32114                        | 32177                        | 1,05                       | 1,05                       |

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| E2       | 33792            | 32273                        | 32355                        | 1,05                       | 1,04                       |
| E3       | 33792            | 32603                        | 32618                        | 1,04                       | 1,04                       |
| F1       | 220992           | 188102                       | 190070                       | 1,17                       | 1,16                       |
| F2       | 220992           | 142583                       | 140579                       | 1,55                       | 1,57                       |
| F3       | 220992           | 145529                       | 142726                       | 1,52                       | 1,55                       |
| G1       | 139392           | 112252                       | 104455                       | 1,24                       | 1,33                       |
| G2       | 139392           | 108524                       | 103353                       | 1,28                       | 1,35                       |
| G3       | 139392           | 111444                       | 106819                       | 1,25                       | 1,30                       |
| H1       | 360192           | 329971                       | 330046                       | 1,09                       | 1,09                       |
| H2       | 360192           | 293597                       | 297422                       | 1,23                       | 1,21                       |
| H3       | 360192           | 299588                       | 300597                       | 1,20                       | 1,20                       |
| I1       | 221184           | 172092                       | 171086                       | 1,29                       | 1,29                       |
| I2       | 221184           | 146823                       | 146257                       | 1,51                       | 1,51                       |
| I3       | 221184           | 181616                       | 195423                       | 1,22                       | 1,13                       |
| J1       | 591936           | 411132                       | 387066                       | 1,44                       | 1,53                       |
| J2       | 591936           | 425522                       | 389503                       | 1,39                       | 1,52                       |
| J3       | 591936           | 424626                       | 415058                       | 1,39                       | 1,43                       |
| K1       | 288000           | 199116                       | 200196                       | 1,45                       | 1,44                       |
| K2       | 288000           | 204687                       | 198532                       | 1,41                       | 1,45                       |
| K3       | 288000           | 195925                       | 198093                       | 1,47                       | 1,45                       |
| L1       | 480192           | 396839                       | 404088                       | 1,21                       | 1,19                       |
| L2       | 480192           | 408448                       | 407100                       | 1,18                       | 1,18                       |
| L3       | 480192           | 416375                       | 415763                       | 1,15                       | 1,15                       |
| L4       | 480192           | 412280                       | 393637                       | 1,16                       | 1,22                       |
| L5       | 480192           | 378389                       | 377245                       | 1,27                       | 1,27                       |
| L6       | 480192           | 377208                       | 373274                       | 1,27                       | 1,29                       |

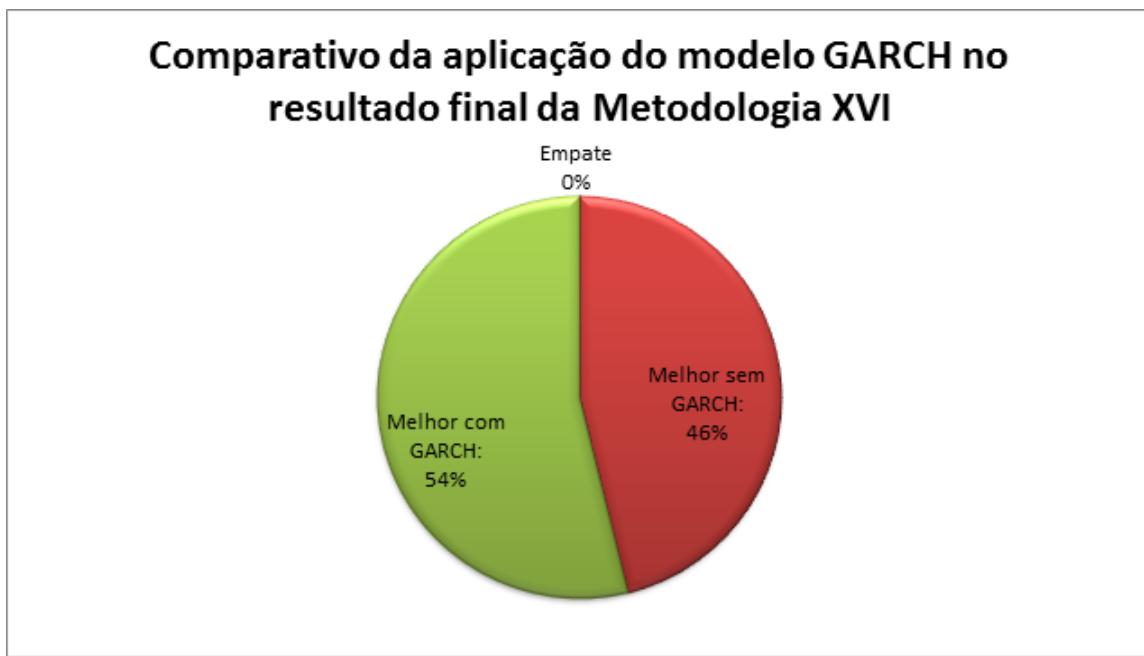


Figura 6.109: Gráfico com comparativo da razão de compressão na Metodologia XVI

Tabela 6.97: Evolução da entropia do dado original e do resíduo calculado na metodologia XVI

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| A1       | 11,30            | 11,14                        | 11,17                        |
| A2       | 11,30            | 10,62                        | 10,62                        |
| A3       | 11,27            | 10,77                        | 10,77                        |
| B1       | 3,98             | 3,98                         | 3,29                         |
| B2       | 3,98             | 3,98                         | 3,29                         |
| B3       | 3,98             | 3,98                         | 3,29                         |
| C1       | 12,33            | 12,32                        | 12,34                        |
| C2       | 12,67            | 12,67                        | 12,60                        |
| C3       | 12,71            | 12,71                        | 12,76                        |
| D1       | 9,93             | 9,90                         | 9,68                         |
| D2       | 11,25            | 11,24                        | 11,01                        |
| D3       | 8,29             | 8,29                         | 6,56                         |
| E1       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| E2       | 10,78            | 10,78                        | 10,78                        |
| E3       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| F1       | 10,81            | 10,81                        | 10,59                        |
| F2       | 7,79             | 7,79                         | 7,64                         |
| F3       | 9,19             | 9,19                         | 8,38                         |
| G1       | 11,35            | 11,34                        | 11,10                        |
| G2       | 10,98            | 10,97                        | 10,54                        |
| G3       | 11,49            | 11,47                        | 11,22                        |
| H1       | 8,44             | 8,44                         | 8,44                         |
| H2       | 12,29            | 12,24                        | 12,26                        |
| H3       | 12,33            | 12,20                        | 12,27                        |
| I1       | 8,01             | 8,01                         | 8,18                         |
| I2       | 7,39             | 7,11                         | 7,14                         |
| I3       | 8,43             | 8,43                         | 8,41                         |
| J1       | 10,00            | 10,00                        | 7,49                         |
| J2       | 10,15            | 10,15                        | 7,37                         |
| J3       | 7,86             | 7,86                         | 7,22                         |
| K1       | 9,99             | 9,99                         | 9,97                         |
| K2       | 9,98             | 9,98                         | 9,85                         |
| K3       | 10,05            | 10,05                        | 9,96                         |

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| L1       | 12,38            | 12,38                        | 12,33                        |
| L2       | 11,08            | 11,08                        | 11,08                        |
| L3       | 12,98            | 12,97                        | 12,98                        |
| L4       | 12,80            | 12,32                        | 11,94                        |
| L5       | 11,52            | 11,52                        | 10,67                        |
| L6       | 11,58            | 11,58                        | 11,58                        |

### Evolução de entropia geral na Metodologia XVI

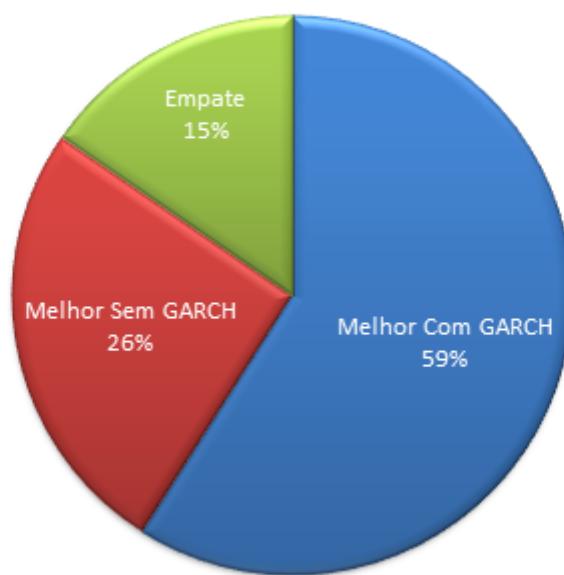


Figura 6.110: Gráfico com comparativo da evolução da entropia na Metodologia XVI

Tabela 6.98: Tempo de execução (em segundos) dos algoritmos sem e com GARCH na Metodologia XVI. Primeiro é exibido o tempo de execução sem a utilização do modelo GARCH, depois com o modelo. Parâmetros modelo se refere ao tempo gasto pelo algoritmo para o cálculo dos parâmetros do modelo, Resíduo refere-se ao tempo gasto pelo modelo para calcular o resíduo do modelo, Cod. Arit. refere-se ao tempo gasto pela codificação aritmética para comprimir o resíduo.

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| A1   | 406                  | 2       | 5             | 412            | 703                  | 1       | 3             | 706            |
| A2   | 124                  | 2       | 8             | 135            | 774                  | 1       | 6             | 782            |
| A3   | 132                  | 2       | 6             | 140            | 863                  | 3       | 7             | 873            |
| B1   | 77                   | < 1     | 1             | 78             | 345                  | 2       | 1             | 347            |
| B2   | 76                   | 1       | 1             | 77             | 343                  | < 1     | 1             | 344            |
| B3   | 77                   | < 1     | 1             | 78             | 339                  | < 1     | 1             | 340            |
| C1   | 56                   | < 1     | 1             | 57             | 123                  | < 1     | 1             | 124            |
| C2   | 57                   | < 1     | 2             | 59             | 120                  | < 1     | 1             | 121            |
| C3   | 51                   | < 1     | 2             | 52             | 114                  | < 1     | 2             | 116            |
| D1   | 45                   | < 1     | 1             | 46             | 206                  | < 1     | 1             | 207            |
| D2   | 135                  | 1       | 2             | 138            | 368                  | 1       | 1             | 371            |
| D3   | 125                  | < 1     | 1             | 126            | 105                  | 1       | 2             | 108            |
| E1   | 8                    | < 1     | < 1           | 8              | 34                   | < 1     | < 1           | 34             |
| E2   | 5                    | < 1     | < 1           | 6              | 38                   | < 1     | < 1           | 38             |
| E3   | 10                   | < 1     | < 1           | 10             | 40                   | < 1     | < 1           | 41             |
| F1   | 25                   | < 1     | 1             | 26             | 131                  | < 1     | 1             | 132            |
| F2   | 74                   | < 1     | 1             | 75             | 256                  | < 1     | < 1           | 257            |
| F3   | 25                   | < 1     | 2             | 27             | 98                   | 1       | 1             | 99             |
| G1   | 55                   | < 1     | < 1           | 55             | 142                  | 1       | 1             | 144            |
| G2   | 40                   | < 1     | < 1           | 41             | 179                  | < 1     | 1             | 181            |
| G3   | 60                   | < 1     | < 1           | 60             | 76                   | < 1     | < 1           | 77             |
| H1   | 71                   | 1       | 3             | 75             | 219                  | < 1     | 1             | 220            |
| H2   | 39                   | 1       | 3             | 43             | 407                  | < 1     | 1             | 408            |
| H3   | 37                   | < 1     | 1             | 38             | 354                  | 1       | 2             | 356            |
| I1   | 30                   | < 1     | 2             | 32             | 263                  | < 1     | 1             | 264            |
| I2   | 55                   | < 1     | < 1           | 55             | 201                  | < 1     | < 1           | 201            |
| I3   | 11                   | < 1     | < 1           | 12             | 111                  | < 1     | < 1           | 112            |
| J1   | 137                  | 1       | 1             | 138            | 319                  | 1       | 2             | 322            |
| J2   | 237                  | < 1     | 3             | 240            | 455                  | < 1     | 1             | 456            |

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| J3   | 74                   | 1       | 4             | 79             | 636                  | 1       | 1             | 637            |
| K1   | 30                   | 1       | 2             | 33             | 335                  | < 1     | 2             | 337            |
| K2   | 31                   | < 1     | 1             | 31             | 334                  | 1       | 2             | 336            |
| K3   | 96                   | 1       | 2             | 98             | 259                  | < 1     | 1             | 260            |
| L1   | 197                  | < 1     | 3             | 200            | 527                  | 1       | 2             | 530            |
| L2   | 75                   | 1       | 4             | 80             | 189                  | 2       | 4             | 195            |
| L3   | 117                  | 1       | 2             | 120            | 521                  | < 1     | 1             | 523            |
| L4   | 89                   | 1       | 4             | 94             | 202                  | 1       | 3             | 206            |
| L5   | 72                   | < 1     | 3             | 75             | 419                  | 1       | 2             | 423            |
| L6   | 181                  | 1       | 5             | 186            | 193                  | 1       | 4             | 199            |

**Tempo relativo de execução da predição dos parâmetros dos modelos no tempo total de execução do algoritmo na Metodologia XVI**

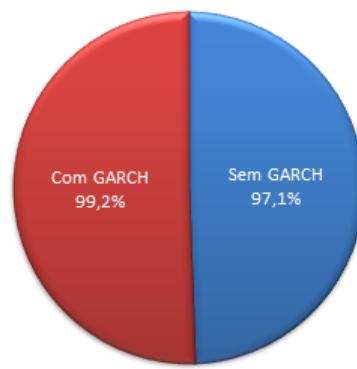


Figura 6.111: Gráfico com comparativo do tempo total relativo de cálculo dos parâmetros dos modelos sem e com GARCH na Metodologia XVI

Tabela 6.99: Autocorrelação do dado original e dos resíduos gerados sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XVI

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| A1       | 6                      | 0                        | 0                        |
| A2       | 5                      | 0                        | 0                        |
| A3       | 6                      | 0                        | 0                        |
| B1       | 6                      | 0                        | 3                        |
| B2       | 6                      | 0                        | 3                        |
| B3       | 6                      | 0                        | 3                        |
| C1       | 2                      | 0                        | 0                        |
| C2       | 1                      | 0                        | 1                        |
| C3       | 2                      | 0                        | 0                        |
| D1       | 2                      | 0                        | 21                       |
| D2       | 2                      | 0                        | 12                       |
| D3       | 2                      | 0                        | 0                        |
| E1       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E2       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E3       | 4                      | 0                        | 0                        |
| F1       | 1                      | 0                        | 14                       |
| F2       | 6                      | 0                        | 0                        |
| F3       | 6                      | 0                        | 0                        |
| G1       | 1                      | 0                        | 51                       |
| G2       | 2                      | 0                        | 6                        |
| G3       | 6                      | 0                        | 49                       |
| H1       | 1                      | 0                        | 0                        |
| H2       | 1                      | 0                        | 0                        |
| H3       | 1                      | 0                        | 0                        |
| I1       | 7                      | 0                        | 0                        |
| I2       | 1                      | 0                        | 0                        |
| I3       | 1                      | 0                        | 0                        |
| J1       | 3                      | 0                        | 0                        |
| J2       | 3                      | 0                        | 0                        |
| J3       | 8                      | 0                        | 0                        |
| K1       | 3                      | 0                        | 3                        |
| K2       | 3                      | 0                        | 3                        |
| K3       | 2                      | 0                        | 3                        |

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| L1       | 2                      | 0                        | 5                        |
| L2       | 7                      | 0                        | 2                        |
| L3       | 11                     | 0                        | 0                        |
| L4       | 7                      | 0                        | 1                        |
| L5       | 7                      | 0                        | 0                        |
| L6       | 6                      | 0                        | 0                        |

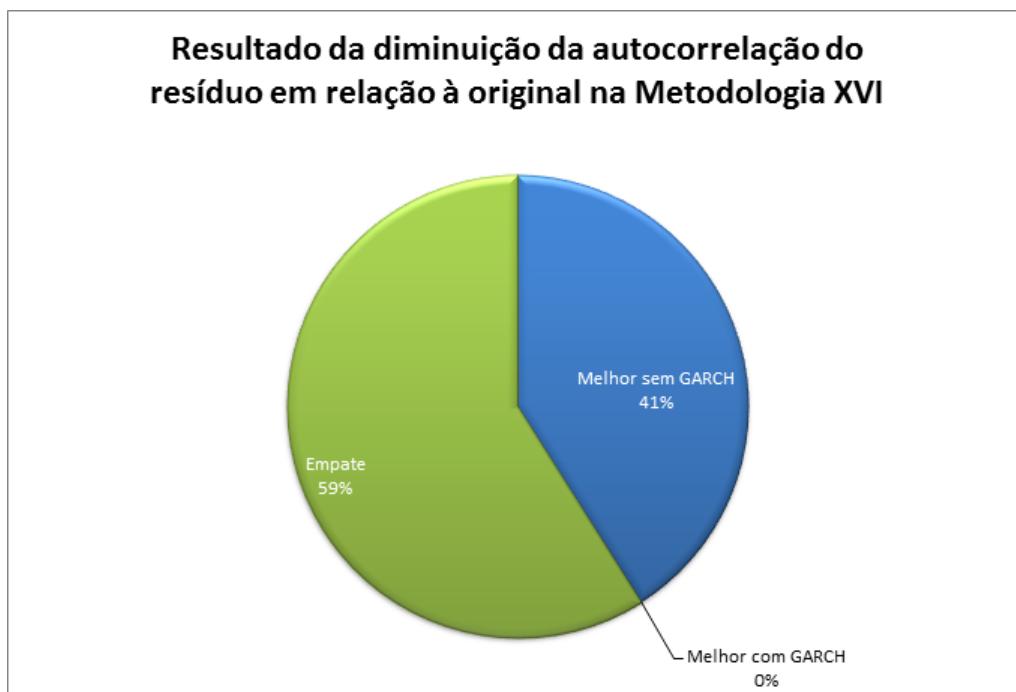


Figura 6.112: Gráfico com comparativo da redução relativa total da autocorrelação do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XVI

Tabela 6.100: Média e variância do dado original comparadas às do resíduo calculado sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XVI

| Conjunto | Média Original | Var. Original | Média Sem GARCH | Var. Sem GARCH | Média Com GARCH | Var. Com GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| A1       | 3,0E+04        | 1,8E+07       | 0,5             | 3,7E+05        | 0,5             | 4,2E+05        |
| A2       | 3,2E+04        | 1,1E+07       | 0,4             | 3,0E+05        | -1,1            | 3,0E+05        |
| A3       | 3,1E+04        | 1,4E+07       | 0,4             | 3,2E+05        | -0,4            | 3,2E+05        |
| B1       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,5             | 3,8E+01        | 0,5             | 2,6E+02        |
| B2       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,5             | 3,8E+01        | 0,5             | 2,6E+02        |
| B3       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,5             | 3,8E+01        | 0,5             | 2,6E+02        |
| C1       | 3,3E+04        | 8,1E+07       | 0,6             | 1,9E+07        | 0,2             | 2,2E+07        |
| C2       | 3,3E+04        | 4,0E+07       | 0,2             | 1,3E+07        | 2,8             | 1,7E+07        |
| C3       | 3,3E+04        | 5,7E+07       | 0,5             | 1,1E+07        | 0,8             | 1,3E+07        |
| D1       | 3,7E+04        | 4,1E+07       | 0,7             | 4,0E+06        | 1,1             | 1,2E+07        |
| D2       | 3,3E+04        | 1,2E+07       | 1,6             | 1,6E+06        | 0,5             | 1,3E+07        |
| D3       | 3,1E+04        | 1,0E+07       | -1,2            | 1,1E+06        | -1,0            | 1,3E+06        |
| E1       | 2,9E+04        | 5,8E+07       | 0,6             | 5,1E+07        | -4,7            | 5,1E+07        |
| E2       | 3,0E+04        | 5,8E+07       | 0,5             | 5,2E+07        | 0,6             | 5,3E+07        |
| E3       | 3,0E+04        | 6,0E+07       | 0,9             | 5,5E+07        | 0,8             | 5,6E+07        |
| F1       | 3,8E+04        | 3,9E+07       | 0,3             | 5,9E+06        | -3,1            | 8,2E+06        |
| F2       | 2,3E+04        | 5,4E+06       | 0,5             | 5,7E+05        | 1,4             | 5,4E+05        |
| F3       | 2,6E+04        | 6,0E+06       | 0,4             | 3,6E+05        | 4,3             | 2,6E+05        |
| G1       | 3,3E+04        | 3,3E+07       | 1,1             | 9,8E+05        | -0,8            | 1,1E+06        |
| G2       | 3,8E+04        | 1,9E+07       | 1,3             | 5,8E+05        | 2,7             | 4,7E+05        |
| G3       | 2,9E+04        | 3,6E+07       | -14,7           | 1,5E+06        | -0,9            | 3,8E+06        |
| H1       | 3,1E+04        | 3,6E+07       | -2,7            | 3,5E+07        | 38,2            | 3,5E+07        |
| H2       | 3,4E+04        | 8,1E+06       | 0,3             | 5,9E+06        | -23,3           | 4,7E+06        |
| H3       | 3,2E+04        | 7,3E+06       | 0,6             | 4,9E+06        | -0,4            | 5,1E+06        |
| I1       | 3,6E+04        | 1,2E+07       | 0,3             | 1,8E+06        | 0,2             | 3,5E+06        |
| I2       | 2,9E+04        | 1,2E+06       | 0,5             | 2,3E+05        | 0,1             | 2,8E+05        |
| I3       | 3,1E+04        | 3,3E+07       | 0,5             | 6,6E+06        | 0,4             | 3,8E+07        |
| J1       | 3,7E+04        | 1,2E+06       | 2,9             | 4,5E+05        | -1,2            | 9,4E+05        |
| J2       | 3,5E+04        | 1,5E+06       | -36,1           | 5,8E+05        | 0,3             | 7,4E+05        |
| J3       | 3,3E+04        | 1,3E+06       | 0,5             | 5,2E+05        | 0,0             | 5,8E+05        |
| K1       | 3,9E+04        | 6,9E+06       | 0,5             | 5,6E+05        | 1,1             | 4,4E+05        |
| K2       | 4,0E+04        | 6,7E+06       | 0,4             | 5,0E+05        | 2,5             | 3,8E+05        |

| Conjunto | Média<br>Orig. | Var.<br>Orig. | Média<br>Sem<br>GARCH | Var.<br>Sem<br>GARCH | Média<br>Com<br>GARCH | Var.<br>Com<br>GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| K3       | 3,6E+04        | 5,8E+06       | 3,8                   | 3,9E+05              | 0,2                   | 4,8E+05              |
| L1       | 3,4E+04        | 2,9E+07       | 192,1                 | 5,3E+06              | -9,6                  | 5,7E+06              |
| L2       | 3,1E+04        | 1,5E+07       | 0,7                   | 5,2E+06              | 0,7                   | 5,4E+06              |
| L3       | 3,5E+04        | 1,3E+07       | 14,7                  | 7,5E+06              | 12,0                  | 7,6E+06              |
| L4       | 3,7E+04        | 1,8E+07       | 8,3                   | 4,8E+06              | 4,0                   | 7,2E+06              |
| L5       | 3,1E+04        | 5,1E+07       | -4,7                  | 1,6E+06              | -0,2                  | 1,6E+06              |
| L6       | 3,2E+04        | 2,6E+07       | 1,0                   | 1,2E+06              | 0,9                   | 1,2E+06              |



Figura 6.113: Gráfico com comparativo da redução relativa total da variância do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XVI

### 6.2.17 Metodologia XVII

Na Metodologia XVII, escolheu-se utilizar o valor absoluto do dado a ser comprimido, o valor do parâmetro autoregressivo ( $p$ , na equação 4.5) foi testado sempre com o número de valores com autocorrelação superior a 0,6. O valor do parâmetro de médias móveis ( $q$ , na equação 4.5) foi sempre igual a zero, e o operador de diferenças ( $d$ , na equação 4.1) foi testado com o valor um. Cada conjunto foi testado duas vezes, uma com e a outra sem a utilização do modelo GARCH(1, 1). A tabela 6.39 ilustra o valor utilizado como parâmetro autoregressivo nos testes.

Para a descompressão, serão necessários os seguintes itens:

1. **Valor de AR:** 32 bits indicando  $p$  na equação 4.5.
2. **Valor de ARCH:** 32 bits indicando  $\bar{\alpha}$  na equação 4.7.
3. **Valor de GARCH:** 32 bits indicando  $\bar{\beta}$  na equação 4.7.
4. **Parâmetros AR calculados:**  $p \times 32$  bits indicando os parâmetros AR calculados ( $\alpha_1, \dots, p$ , na equação 4.5).
5. **Parâmetros ARCH calculados:**  $\bar{\alpha} \times 32$  bits indicando os parâmetros ARCH calculados ( $\sigma_1, \dots, \bar{p}$ , na equação 4.7).
6. **Parâmetros GARCH calculados:**  $\bar{\beta} \times 32$  bits indicando os parâmetros GARCH calculados ( $h_1, \dots, \bar{q}$ , na equação 4.7).
7. **Sinais:** é necessário enviar o conjunto de sinais do dado original, uma vez que assumimos que todos os valores são positivos. Como cada sinal ocupa 1 bit (0 ou 1), o tamanho necessário para o envio, em bits, corresponde à cardinalidade do dado inicial.

8. **Resíduo do modelo:** o conjunto de resíduos do modelo, comprimido com a codificação aritmética, também é necessário para a descompressão.

Portanto, o tamanho final do arquivo comprimido é descrito pela mesma equação da Metodologia VII (equação 6.14).

#### 6.2.17.1 Métricas obtidas

Tabela 6.101: Comparativo de quantidade de experimentos cujas soluções convergiram com e sem a utilização do GARCH na metodologia XVII

| Cenário   | Total experimentos | Convergiram | Não convergiram | % sucesso |
|-----------|--------------------|-------------|-----------------|-----------|
| Sem GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |
| Com GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |

Tabela 6.102: Razão de compressão dos experimentos sem e com GARCH na Metodologia XVII. Valores em bytes.

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| A1       | 1152000          | 954344                       | 893184                       | 1,21                       | 1,29                       |
| A2       | 1152000          | 887276                       | 887578                       | 1,30                       | 1,30                       |
| A3       | 1152000          | 931794                       | 934352                       | 1,24                       | 1,23                       |
| B1       | 518592           | 165773                       | 201734                       | 3,13                       | 2,57                       |
| B2       | 518592           | 165773                       | 201734                       | 3,13                       | 2,57                       |
| B3       | 518592           | 165773                       | 201734                       | 3,13                       | 2,57                       |
| C1       | 288192           | 289977                       | 289545                       | 0,99                       | 1,00                       |
| C2       | 288192           | 268616                       | 268355                       | 1,07                       | 1,07                       |

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| C3       | 288192           | 279327                       | 279471                       | 1,03                       | 1,03                       |
| D1       | 331200           | 305081                       | 304452                       | 1,09                       | 1,09                       |
| D2       | 331200           | 286850                       | 286746                       | 1,15                       | 1,16                       |
| D3       | 331200           | 270748                       | 269835                       | 1,22                       | 1,23                       |
| E1       | 33792            | 35948                        | 36013                        | 0,94                       | 0,94                       |
| E2       | 33792            | 36265                        | 36342                        | 0,93                       | 0,93                       |
| E3       | 33792            | 36369                        | 36429                        | 0,93                       | 0,93                       |
| F1       | 220992           | 211790                       | 211380                       | 1,04                       | 1,05                       |
| F2       | 220992           | 153063                       | 152177                       | 1,44                       | 1,45                       |
| F3       | 220992           | 140878                       | 138069                       | 1,57                       | 1,60                       |
| G1       | 139392           | 133970                       | 134053                       | 1,04                       | 1,04                       |
| G2       | 139392           | 123306                       | 123340                       | 1,13                       | 1,13                       |
| G3       | 139392           | 127013                       | 127089                       | 1,10                       | 1,10                       |
| H1       | 360192           | 351529                       | 351447                       | 1,02                       | 1,02                       |
| H2       | 360192           | 315746                       | 316270                       | 1,14                       | 1,14                       |
| H3       | 360192           | 319918                       | 320252                       | 1,13                       | 1,12                       |
| I1       | 221184           | 186000                       | 186135                       | 1,19                       | 1,19                       |
| I2       | 221184           | 153086                       | 158602                       | 1,44                       | 1,39                       |
| I3       | 221184           | 198730                       | 198325                       | 1,11                       | 1,12                       |
| J1       | 591936           | 341116                       | 353911                       | 1,74                       | 1,67                       |
| J2       | 591936           | 390343                       | 387674                       | 1,52                       | 1,53                       |
| J3       | 591936           | 353550                       | 353748                       | 1,67                       | 1,67                       |
| K1       | 288000           | 214269                       | 219172                       | 1,34                       | 1,31                       |
| K2       | 288000           | 212510                       | 220554                       | 1,36                       | 1,31                       |
| K3       | 288000           | 223964                       | 216077                       | 1,29                       | 1,33                       |
| L1       | 480192           | 435845                       | 436113                       | 1,10                       | 1,10                       |
| L2       | 480192           | 438310                       | 435345                       | 1,10                       | 1,10                       |
| L3       | 480192           | 444797                       | 445536                       | 1,08                       | 1,08                       |
| L4       | 480192           | 443013                       | 424111                       | 1,08                       | 1,13                       |
| L5       | 480192           | 412071                       | 410312                       | 1,17                       | 1,17                       |
| L6       | 480192           | 417488                       | 416981                       | 1,15                       | 1,15                       |

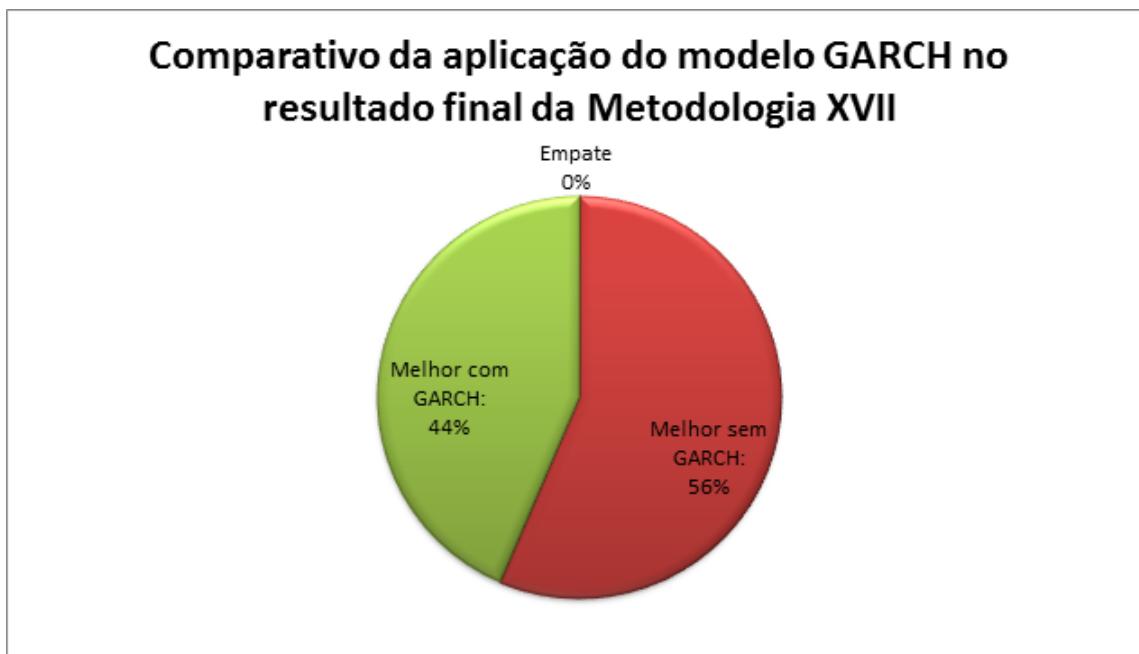


Figura 6.114: Gráfico com comparativo da razão de compressão na Metodologia XVII

Tabela 6.103: Evolução da entropia do dado original e do resíduo calculado na metodologia XVII

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| A1       | 11,30            | 11,17                        | 11,17                        |
| A2       | 11,30            | 10,67                        | 10,67                        |
| A3       | 11,27            | 10,80                        | 10,80                        |
| B1       | 7,64             | 3,10                         | 2,76                         |
| B2       | 7,64             | 3,10                         | 2,76                         |
| B3       | 7,64             | 3,10                         | 2,76                         |
| C1       | 12,34            | 12,18                        | 12,17                        |
| C2       | 13,18            | 12,79                        | 12,79                        |
| C3       | 13,17            | 12,80                        | 12,80                        |
| D1       | 9,48             | 9,48                         | 9,48                         |
| D2       | 12,38            | 11,72                        | 11,70                        |
| D3       | 6,45             | 6,28                         | 6,27                         |
| E1       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| E2       | 10,78            | 10,78                        | 10,78                        |
| E3       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| F1       | 10,20            | 10,07                        | 10,06                        |
| F2       | 8,20             | 7,17                         | 7,17                         |
| F3       | 9,27             | 7,38                         | 7,26                         |
| G1       | 12,03            | 11,71                        | 11,72                        |
| G2       | 11,79            | 11,37                        | 11,39                        |
| G3       | 12,06            | 11,77                        | 11,77                        |
| H1       | 8,44             | 8,44                         | 8,44                         |
| H2       | 12,29            | 12,21                        | 12,20                        |
| H3       | 12,33            | 12,18                        | 12,17                        |
| I1       | 8,14             | 7,85                         | 7,84                         |
| I2       | 9,59             | 7,75                         | 6,88                         |
| I3       | 8,15             | 7,99                         | 8,00                         |
| J1       | 8,50             | 7,00                         | 6,21                         |
| J2       | 8,52             | 6,61                         | 6,47                         |
| J3       | 8,53             | 7,42                         | 6,22                         |
| K1       | 10,94            | 10,07                        | 10,01                        |
| K2       | 10,89            | 9,92                         | 9,65                         |
| K3       | 10,87            | 9,94                         | 9,94                         |

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| L1       | 11,27            | 11,27                        | 11,27                        |
| L2       | 11,08            | 11,08                        | 11,08                        |
| L3       | 11,31            | 11,31                        | 11,31                        |
| L4       | 12,80            | 12,32                        | 12,07                        |
| L5       | 10,67            | 10,67                        | 10,67                        |
| L6       | 11,58            | 11,58                        | 11,58                        |

## **Evolução de entropia geral na Metodologia XVII**

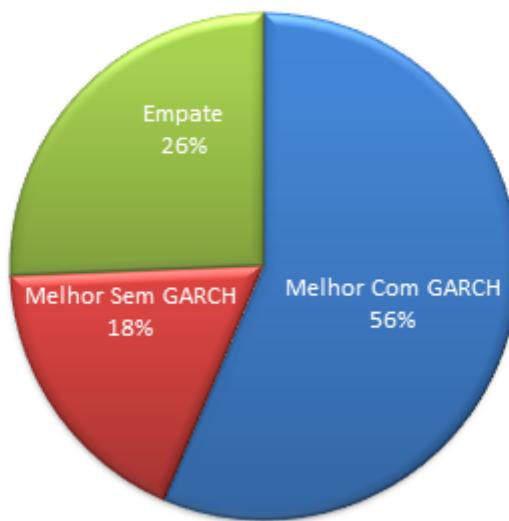


Figura 6.115: Gráfico com comparativo da evolução da entropia na Metodologia XVII

Tabela 6.104: Tempo de execução (em segundos) dos algoritmos sem e com GARCH na Metodologia XVII. Primeiro é exibido o tempo de execução sem a utilização do modelo GARCH, depois com o modelo. Parâmetros modelo se refere ao tempo gasto pelo algoritmo para o cálculo dos parâmetros do modelo, Resíduo refere-se ao tempo gasto pelo modelo para calcular o resíduo do modelo, Cod. Arit. refere-se ao tempo gasto pela codificação aritmética para comprimir o resíduo.

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| A1   | 54                   | < 1     | 3             | 57             | 611                  | 2       | 3             | 617            |
| A2   | 37                   | < 1     | 2             | 40             | 553                  | 1       | 7             | 561            |
| A3   | 108                  | 2       | 4             | 113            | 411                  | 1       | 2             | 414            |
| B1   | 35                   | < 1     | 2             | 37             | 633                  | 1       | 1             | 634            |
| B2   | 34                   | < 1     | 2             | 37             | 621                  | 1       | 2             | 623            |
| B3   | 34                   | 1       | 2             | 37             | 612                  | 1       | 1             | 615            |
| C1   | 13                   | < 1     | 1             | 14             | 57                   | 1       | 3             | 61             |
| C2   | 16                   | < 1     | 1             | 17             | 77                   | 1       | 2             | 80             |
| C3   | 13                   | < 1     | 1             | 14             | 85                   | 1       | 3             | 89             |
| D1   | 14                   | < 1     | 2             | 16             | 318                  | 1       | 3             | 323            |
| D2   | 18                   | 1       | 3             | 21             | 99                   | 1       | 2             | 102            |
| D3   | 13                   | < 1     | 1             | 14             | 88                   | < 1     | 1             | 89             |
| E1   | 6                    | < 1     | < 1           | 6              | 14                   | < 1     | < 1           | 14             |
| E2   | 1                    | < 1     | < 1           | 2              | 15                   | < 1     | < 1           | 16             |
| E3   | 5                    | < 1     | < 1           | 5              | 15                   | < 1     | < 1           | 15             |
| F1   | 16                   | < 1     | 2             | 19             | 68                   | 1       | 2             | 72             |
| F2   | 12                   | < 1     | < 1           | 13             | 219                  | < 1     | < 1           | 219            |
| F3   | 14                   | < 1     | < 1           | 15             | 341                  | < 1     | < 1           | 342            |
| G1   | 6                    | < 1     | 2             | 8              | 49                   | 1       | 1             | 51             |
| G2   | 5                    | < 1     | 1             | 7              | 57                   | < 1     | < 1           | 57             |
| G3   | 6                    | < 1     | 2             | 8              | 41                   | 1       | 1             | 42             |
| H1   | 18                   | 1       | 3             | 22             | 67                   | 1       | 4             | 72             |
| H2   | 19                   | 1       | 1             | 21             | 348                  | < 1     | 1             | 349            |
| H3   | 27                   | 1       | 3             | 31             | 127                  | < 1     | 3             | 131            |
| I1   | 10                   | < 1     | 1             | 11             | 222                  | 1       | 1             | 224            |
| I2   | 25                   | < 1     | < 1           | 25             | 242                  | 1       | 1             | 244            |
| I3   | 4                    | < 1     | < 1           | 4              | 45                   | < 1     | 1             | 45             |
| J1   | 20                   | 1       | 3             | 24             | 588                  | 2       | 2             | 592            |
| J2   | 20                   | < 1     | 1             | 21             | 561                  | < 1     | < 1           | 562            |

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| J3   | 49                   | 1       | 4             | 54             | 1.494                | < 1     | 1             | 1.495          |
| K1   | 15                   | < 1     | 1             | 15             | 261                  | 1       | 2             | 264            |
| K2   | 20                   | < 1     | 1             | 22             | 539                  | 1       | 2             | 542            |
| K3   | 14                   | 1       | 1             | 16             | 209                  | 1       | 2             | 212            |
| L1   | 38                   | 1       | 5             | 44             | 121                  | 1       | 4             | 127            |
| L2   | 23                   | 1       | 4             | 27             | 313                  | < 1     | 1             | 315            |
| L3   | 24                   | < 1     | 2             | 26             | 134                  | 1       | 1             | 136            |
| L4   | 41                   | 1       | 1             | 43             | 253                  | 1       | 3             | 258            |
| L5   | 91                   | 1       | 4             | 97             | 214                  | 1       | 1             | 217            |
| L6   | 40                   | < 1     | 5             | 45             | 168                  | 1       | 5             | 174            |

**Tempo relativo de execução da predição dos parâmetros dos modelos no tempo total de execução do algoritmo na Metodologia XVII**

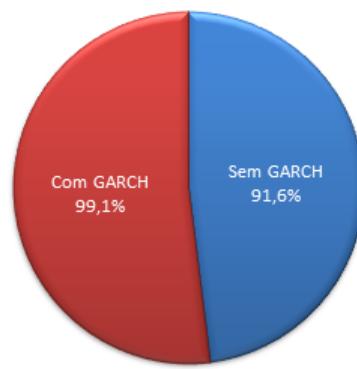


Figura 6.116: Gráfico com comparativo do tempo total relativo de cálculo dos parâmetros dos modelos sem e com GARCH na Metodologia XVII

Tabela 6.105: Autocorrelação do dado original e dos resíduos gerados sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XVII

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| A1       | 6                      | 0                        | 1                        |
| A2       | 5                      | 0                        | 0                        |
| A3       | 6                      | 0                        | 0                        |
| B1       | 6                      | 0                        | 3                        |
| B2       | 6                      | 0                        | 3                        |
| B3       | 6                      | 0                        | 3                        |
| C1       | 2                      | 7                        | 7                        |
| C2       | 1                      | 3                        | 3                        |
| C3       | 2                      | 3                        | 3                        |
| D1       | 2                      | 4                        | 4                        |
| D2       | 2                      | 3                        | 3                        |
| D3       | 2                      | 3                        | 3                        |
| E1       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E2       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E3       | 4                      | 0                        | 0                        |
| F1       | 1                      | 4                        | 4                        |
| F2       | 6                      | 3                        | 1                        |
| F3       | 6                      | 0                        | 2                        |
| G1       | 1                      | 1                        | 1                        |
| G2       | 2                      | 1                        | 1                        |
| G3       | 6                      | 1                        | 1                        |
| H1       | 1                      | 0                        | 0                        |
| H2       | 1                      | 0                        | 0                        |
| H3       | 1                      | 0                        | 0                        |
| I1       | 7                      | 1                        | 1                        |
| I2       | 1                      | 3                        | 3                        |
| I3       | 1                      | 4                        | 4                        |
| J1       | 3                      | 0                        | 4                        |
| J2       | 3                      | 2                        | 0                        |
| J3       | 8                      | 0                        | 0                        |
| K1       | 3                      | 2                        | 1                        |
| K2       | 3                      | 0                        | 1                        |
| K3       | 2                      | 2                        | 1                        |

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| L1       | 2                      | 5                        | 5                        |
| L2       | 7                      | 0                        | 0                        |
| L3       | 11                     | 0                        | 0                        |
| L4       | 7                      | 0                        | 1                        |
| L5       | 7                      | 0                        | 0                        |
| L6       | 6                      | 0                        | 0                        |

**Resultado da diminuição da autocorrelação do resíduo em relação à original na Metodologia XVII**

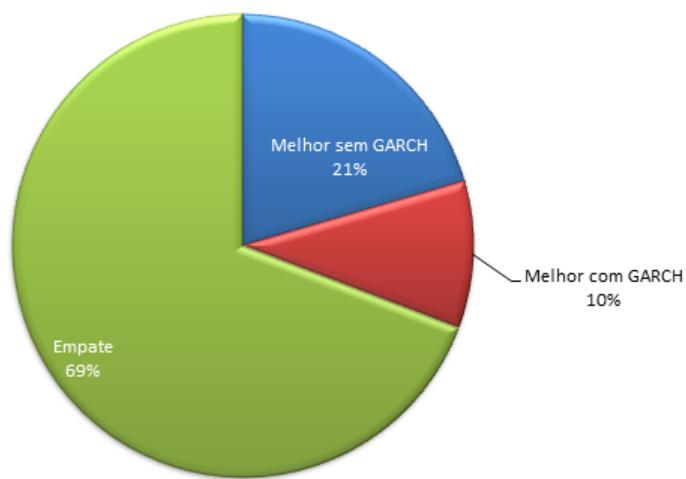


Figura 6.117: Gráfico com comparativo da redução relativa total da autocorrelação do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XVII

Tabela 6.106: Média e variância do dado original comparadas às do resíduo calculado sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XVII

| Conjunto | Média Original | Var. Original | Média Sem GARCH | Var. Sem GARCH | Média Com GARCH | Var. Com GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| A1       | 3,0E+04        | 1,8E+07       | 0,5             | 4,0E+05        | 1,8             | 4,2E+05        |
| A2       | 3,2E+04        | 1,1E+07       | 0,5             | 3,2E+05        | -0,7            | 3,2E+05        |
| A3       | 3,1E+04        | 1,4E+07       | 0,5             | 3,3E+05        | -0,7            | 3,4E+05        |
| B1       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,4             | 1,1E+01        | 0,4             | 1,0E+02        |
| B2       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,4             | 1,1E+01        | 0,4             | 1,0E+02        |
| B3       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,4             | 1,1E+01        | 0,4             | 1,0E+02        |
| C1       | 3,3E+04        | 8,1E+07       | 0,5             | 3,2E+07        | 0,4             | 3,2E+07        |
| C2       | 3,3E+04        | 4,0E+07       | 0,5             | 2,0E+07        | 0,3             | 2,1E+07        |
| C3       | 3,3E+04        | 5,7E+07       | 0,5             | 1,9E+07        | 1,2             | 1,9E+07        |
| D1       | 3,7E+04        | 4,1E+07       | 0,6             | 9,5E+06        | 0,2             | 9,9E+06        |
| D2       | 3,3E+04        | 1,2E+07       | 0,5             | 3,8E+06        | 5,7             | 3,9E+06        |
| D3       | 3,1E+04        | 1,0E+07       | 0,2             | 2,9E+06        | -1,9            | 3,0E+06        |
| E1       | 2,9E+04        | 5,8E+07       | -1,7            | 8,7E+07        | -9,8            | 8,7E+07        |
| E2       | 3,0E+04        | 5,8E+07       | -0,8            | 8,7E+07        | -8,8            | 8,7E+07        |
| E3       | 3,0E+04        | 6,0E+07       | -1,1            | 9,1E+07        | -9,3            | 9,1E+07        |
| F1       | 3,8E+04        | 3,9E+07       | 0,5             | 1,5E+07        | 0,8             | 1,5E+07        |
| F2       | 2,3E+04        | 5,4E+06       | 0,6             | 3,4E+05        | 0,4             | 3,7E+05        |
| F3       | 2,6E+04        | 6,0E+06       | 0,6             | 7,0E+04        | 0,6             | 8,4E+04        |
| G1       | 3,3E+04        | 3,3E+07       | 0,5             | 8,7E+06        | 0,7             | 8,7E+06        |
| G2       | 3,8E+04        | 1,9E+07       | 0,5             | 4,0E+06        | 0,9             | 4,0E+06        |
| G3       | 2,9E+04        | 3,6E+07       | 0,5             | 8,5E+06        | 0,6             | 8,5E+06        |
| H1       | 3,1E+04        | 3,6E+07       | 0,7             | 5,2E+07        | 0,3             | 5,3E+07        |
| H2       | 3,4E+04        | 8,1E+06       | 0,5             | 6,0E+06        | 8,6             | 6,1E+06        |
| H3       | 3,2E+04        | 7,3E+06       | 0,5             | 5,2E+06        | 0,4             | 5,4E+06        |
| I1       | 3,6E+04        | 1,2E+07       | 0,3             | 2,5E+06        | 5,0             | 2,5E+06        |
| I2       | 2,9E+04        | 1,2E+06       | 0,6             | 1,2E+05        | -0,4            | 2,2E+05        |
| I3       | 3,1E+04        | 3,3E+07       | 0,3             | 1,3E+07        | 4,1             | 1,3E+07        |
| J1       | 3,7E+04        | 1,2E+06       | 0,5             | 1,1E+04        | 0,5             | 4,4E+04        |
| J2       | 3,5E+04        | 1,5E+06       | 0,5             | 6,7E+04        | 0,5             | 9,4E+04        |
| J3       | 3,3E+04        | 1,3E+06       | 0,5             | 1,0E+04        | 0,5             | 4,7E+04        |
| K1       | 3,9E+04        | 6,9E+06       | 0,5             | 4,4E+05        | 0,6             | 5,5E+05        |
| K2       | 4,0E+04        | 6,7E+06       | 0,5             | 1,6E+05        | 0,3             | 4,2E+05        |

| Conjunto | Média<br>Orig. | Var.<br>Orig. | Média<br>Sem<br>GARCH | Var.<br>Sem<br>GARCH | Média<br>Com<br>GARCH | Var.<br>Com<br>GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| K3       | 3,6E+04        | 5,8E+06       | 0,5                   | 6,0E+05              | 0,6                   | 6,2E+05              |
| L1       | 3,4E+04        | 2,9E+07       | 0,5                   | 1,0E+07              | -0,3                  | 1,0E+07              |
| L2       | 3,1E+04        | 1,5E+07       | 0,5                   | 7,7E+06              | 1,9                   | 8,1E+06              |
| L3       | 3,5E+04        | 1,3E+07       | 0,5                   | 8,9E+06              | -0,2                  | 8,9E+06              |
| L4       | 3,7E+04        | 1,8E+07       | 0,4                   | 5,1E+06              | 4,6                   | 8,6E+06              |
| L5       | 3,1E+04        | 5,1E+07       | 0,5                   | 1,5E+06              | 0,3                   | 1,6E+06              |
| L6       | 3,2E+04        | 2,6E+07       | 0,5                   | 1,3E+06              | 0,4                   | 1,3E+06              |

**Redução da variância inicial do dado em relação ao resíduo gerado pelo modelo na Metodologia XVII**



Figura 6.118: Gráfico com comparativo da redução relativa total da variância do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XVII

### 6.2.18 Metodologia XVIII

A Metodologia XVIII também utiliza o valor absoluto do dado a ser comprimido, e utiliza a função de autocorrelação para escolher o valor do parâmetro autoregressivo ( $p$ , na equação 4.5). O operador de diferenças ( $d$ , na equação 4.1) foi testado sempre com o valor um.

Assim como antes, apenas os valores com autocorrelação superior a 0,6 foram escolhidos. O valor do parâmetro de médias móveis ( $q$ , na equação 4.5) foi sempre igual a um. Cada conjunto foi testado duas vezes, uma com e a outra sem a utilização do modelo GARCH(1, 1).

Para a descompressão, serão necessários os seguintes itens:

1. **Valor de AR:** 32 bits indicando  $p$  na equação 4.5.
2. **Valor de MA:** 32 bits indicando  $p$  na equação 4.5.
3. **Valor de ARCH:** 32 bits indicando  $\bar{\alpha}$  na equação 4.7.
4. **Valor de GARCH:** 32 bits indicando  $\bar{\beta}$  na equação 4.7.
5. **Parâmetros AR calculados:**  $p \times 32$  bits indicando os parâmetros AR calculados ( $\alpha_1, \dots, p$ , na equação 4.5).
6. **Parâmetros MA calculados:**  $q \times 32$  bits indicando os parâmetros AR calculados ( $\beta_1, \dots, p$ , na equação 4.5).
7. **Parâmetros ARCH calculados:**  $\bar{\alpha} \times 32$  bits indicando os parâmetros ARCH calculados ( $\sigma_1, \dots, \bar{p}$ , na equação 4.7).
8. **Parâmetros GARCH calculados:**  $\bar{\beta} \times 32$  bits indicando os parâmetros GARCH calculados ( $h_1, \dots, \bar{q}$ , na equação 4.7).

9. **Sinais:** é necessário enviar o conjunto de sinais do dado original, uma vez que assumimos que todos os valores são positivos. Como cada sinal ocupa 1 bit (0 ou 1), o tamanho necessário para o envio, em bits, corresponde à cardinalidade do dado inicial.
10. **Resíduo do modelo:** o conjunto de resíduos do modelo, comprimido com a codificação aritmética, também é necessário para a descompressão.

Portanto, o tamanho final do arquivo comprimido é descrito pela mesma equação da Metodologia XVIII (equação 6.16).

#### 6.2.18.1 Métricas obtidas

---

Tabela 6.107: Comparativo de quantidade de experimentos cujas soluções convergiram com e sem a utilização do GARCH na metodologia XVIII

| Cenário   | Total experimentos | Convergiram | Não convergiram | % sucesso |
|-----------|--------------------|-------------|-----------------|-----------|
| Sem GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |
| Com GARCH | 39                 | 38          | 1               | 97,44%    |

---

Tabela 6.108: Razão de compressão dos experimentos sem e com GARCH na Metodologia XVIII. Valores em bytes.

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| A1       | 1152000          | 938716                       | 946768                       | 1,23                       | 1,22                       |
| A2       | 1152000          | 882390                       | 880373                       | 1,31                       | 1,31                       |

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| A3       | 1152000          | 922165                       | 922605                       | 1,25                       | 1,25                       |
| B1       | 518592           | 166690                       | 201716                       | 3,11                       | 2,57                       |
| B2       | 518592           | 166690                       | 201716                       | 3,11                       | 2,57                       |
| B3       | 518592           | 166690                       | 201716                       | 3,11                       | 2,57                       |
| C1       | 288192           | 279763                       | 274233                       | 1,03                       | 1,05                       |
| C2       | 288192           | 277364                       | 269002                       | 1,04                       | 1,07                       |
| C3       | 288192           | 281342                       | 277921                       | 1,02                       | 1,04                       |
| D1       | 331200           | 300169                       | 299512                       | 1,10                       | 1,11                       |
| D2       | 331200           | 282243                       | 282579                       | 1,17                       | 1,17                       |
| D3       | 331200           | 272175                       | 268205                       | 1,22                       | 1,23                       |
| E1       | 33792            | 34226                        | 34289                        | 0,99                       | 0,99                       |
| E2       | 33792            | 34385                        | 34467                        | 0,98                       | 0,98                       |
| E3       | 33792            | 34715                        | 34730                        | 0,97                       | 0,97                       |
| F1       | 220992           | 198188                       | 198019                       | 1,12                       | 1,12                       |
| F2       | 220992           | 140753                       | 157684                       | 1,57                       | 1,40                       |
| F3       | 220992           | 140759                       | 137809                       | 1,57                       | 1,60                       |
| G1       | 139392           | 125888                       | 125915                       | 1,11                       | 1,11                       |
| G2       | 139392           | 114785                       | 114693                       | 1,21                       | 1,22                       |
| G3       | 139392           | 127534                       | 127543                       | 1,09                       | 1,09                       |
| H1       | 360192           | 352483                       | 352558                       | 1,02                       | 1,02                       |
| H2       | 360192           | 316109                       | 318045                       | 1,14                       | 1,13                       |
| H3       | 360192           | 322100                       | 321490                       | 1,12                       | 1,12                       |
| I1       | 221184           | 185758                       | 186214                       | 1,19                       | 1,19                       |
| I2       | 221184           | 147492                       | 144920                       | 1,50                       | 1,53                       |
| I3       | 221184           | 196326                       | 195367                       | 1,13                       | 1,13                       |
| J1       | 591936           | 337779                       | 352846                       | 1,75                       | 1,68                       |
| J2       | 591936           | 359470                       | 388265                       | 1,65                       | 1,52                       |
| J3       | 591936           | 373108                       | 465505                       | 1,59                       | 1,27                       |
| K1       | 288000           | 216968                       | 217569                       | 1,33                       | 1,32                       |
| K2       | 288000           | 212118                       | 220684                       | 1,36                       | 1,31                       |
| K3       | 288000           | 212083                       | 213744                       | 1,36                       | 1,35                       |
| L1       | 480192           | 430980                       | 427623                       | 1,11                       | 1,12                       |
| L2       | 480192           | 438460                       | 437112                       | 1,10                       | 1,10                       |
| L3       | 480192           | 444677                       | 443652                       | 1,08                       | 1,08                       |
| L4       | 480192           | 422552                       | 427004                       | 1,14                       | 1,12                       |

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| L5       | 480192           | 409320                       | 408783                       | 1,17                       | 1,17                       |
| L6       | 480192           | 407696                       | 405967                       | 1,18                       | 1,18                       |

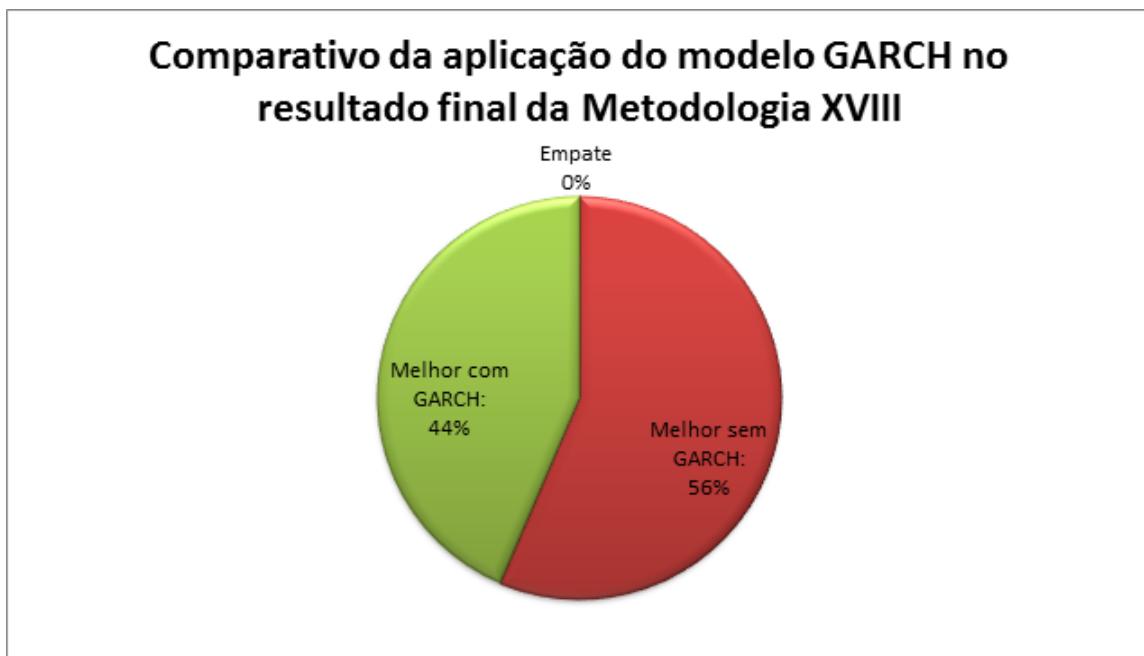


Figura 6.119: Gráfico com comparativo da razão de compressão na Metodologia XVIII

Tabela 6.109: Evolução da entropia do dado original e do resíduo calculado na metodologia XVIII

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| A1       | 11,30            | 11,06                        | 11,05                        |
| A2       | 11,30            | 10,57                        | 10,57                        |
| A3       | 11,27            | 10,73                        | 10,73                        |
| B1       | 7,64             | 3,14                         | 2,76                         |
| B2       | 7,64             | 3,14                         | 2,76                         |
| B3       | 7,64             | 3,14                         | 2,76                         |
| C1       | 12,34            | 12,27                        | 12,34                        |
| C2       | 13,18            | 12,67                        | 12,60                        |
| C3       | 13,17            | 12,74                        | 12,76                        |
| D1       | 9,48             | 9,48                         | 9,48                         |
| D2       | 12,38            | 11,39                        | 11,35                        |
| D3       | 6,45             | 6,45                         | 6,45                         |
| E1       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| E2       | 10,78            | 10,78                        | 10,78                        |
| E3       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| F1       | 10,20            | 10,20                        | 10,20                        |
| F2       | 8,20             | 7,14                         | 7,32                         |
| F3       | 9,27             | 7,40                         | 7,24                         |
| G1       | 12,03            | 11,71                        | 11,71                        |
| G2       | 11,79            | 11,25                        | 11,25                        |
| G3       | 12,06            | 11,82                        | 11,81                        |
| H1       | 8,44             | 8,44                         | 8,44                         |
| H2       | 12,29            | 12,24                        | 12,24                        |
| H3       | 12,33            | 12,20                        | 12,20                        |
| I1       | 8,14             | 8,01                         | 7,92                         |
| I2       | 9,59             | 7,37                         | 6,58                         |
| I3       | 8,15             | 8,15                         | 8,13                         |
| J1       | 8,50             | 7,25                         | 6,27                         |
| J2       | 8,52             | 7,34                         | 6,45                         |
| J3       | 8,53             | 7,17                         | 8,53                         |
| K1       | 10,94            | 9,88                         | 9,82                         |
| K2       | 10,89            | 9,88                         | 9,64                         |
| K3       | 10,87            | 9,79                         | 9,74                         |

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| L1       | 11,27            | 11,27                        | 11,27                        |
| L2       | 11,08            | 11,08                        | 11,08                        |
| L3       | 11,31            | 11,31                        | 11,31                        |
| L4       | 12,80            | 12,20                        | 11,93                        |
| L5       | 10,67            | 10,67                        | 10,67                        |
| L6       | 11,58            | 11,58                        | 11,58                        |

### **Evolução de entropia geral na Metodologia XVIII**

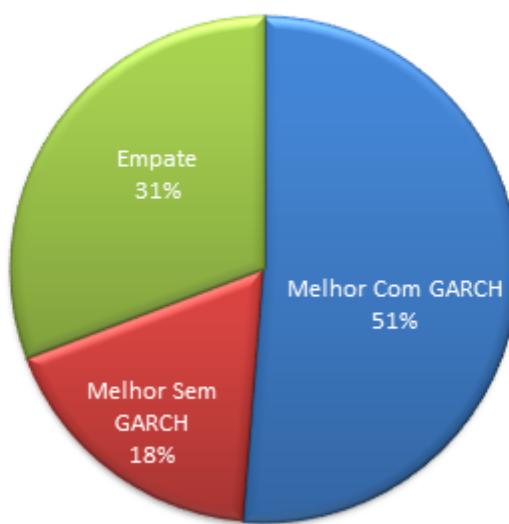


Figura 6.120: Gráfico com comparativo da evolução da entropia na Metodologia XVIII

Tabela 6.110: Tempo de execução (em segundos) dos algoritmos sem e com GARCH na Metodologia XVIII. Primeiro é exibido o tempo de execução sem a utilização do modelo GARCH, depois com o modelo. Parâmetros modelo se refere ao tempo gasto pelo algoritmo para o cálculo dos parâmetros do modelo, Resíduo refere-se ao tempo gasto pelo modelo para calcular o resíduo do modelo, Cod. Arit. refere-se ao tempo gasto pela codificação aritmética para comprimir o resíduo.

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| A1   | 184                  | < 1     | 2             | 186            | 214                  | 1       | 2             | 217            |
| A2   | 165                  | < 1     | 2             | 167            | 521                  | 1       | 2             | 524            |
| A3   | 165                  | < 1     | 1             | 167            | 235                  | 1       | 1             | 237            |
| B1   | 55                   | < 1     | < 1           | 56             | 215                  | < 1     | < 1           | 216            |
| B2   | 47                   | < 1     | < 1           | 48             | 223                  | < 1     | < 1           | 224            |
| B3   | 48                   | < 1     | < 1           | 48             | 216                  | < 1     | < 1           | 216            |
| C1   | 13                   | < 1     | 1             | 13             | 36                   | < 1     | 1             | 36             |
| C2   | 15                   | < 1     | < 1           | 15             | 41                   | < 1     | < 1           | 42             |
| C3   | 19                   | < 1     | < 1           | 20             | 34                   | < 1     | < 1           | 35             |
| D1   | 19                   | < 1     | 1             | 20             | 33                   | < 1     | 1             | 34             |
| D2   | 50                   | < 1     | 1             | 51             | 131                  | < 1     | 1             | 131            |
| D3   | 15                   | < 1     | 2             | 17             | 125                  | < 1     | < 1           | 126            |
| E1   | 3                    | < 1     | < 1           | 3              | 18                   | < 1     | < 1           | 18             |
| E2   | 3                    | < 1     | < 1           | 3              | 19                   | < 1     | < 1           | 19             |
| E3   | 4                    | < 1     | < 1           | 4              | 20                   | < 1     | < 1           | 20             |
| F1   | 14                   | < 1     | 1             | 14             | 28                   | < 1     | 1             | 29             |
| F2   | 28                   | < 1     | < 1           | 28             | 99                   | < 1     | < 1           | 100            |
| F3   | 22                   | < 1     | < 1           | 23             | 138                  | < 1     | < 1           | 139            |
| G1   | 6                    | < 1     | < 1           | 7              | 28                   | < 1     | < 1           | 29             |
| G2   | 33                   | < 1     | < 1           | 34             | 72                   | < 1     | < 1           | 72             |
| G3   | 10                   | < 1     | 1             | 12             | 20                   | < 1     | < 1           | 21             |
| H1   | 27                   | < 1     | 1             | 28             | 79                   | < 1     | 1             | 80             |
| H2   | 17                   | < 1     | 1             | 18             | 60                   | < 1     | 1             | 60             |
| H3   | 9                    | < 1     | 1             | 10             | 47                   | < 1     | 1             | 48             |
| I1   | 16                   | < 1     | < 1           | 17             | 90                   | < 1     | < 1           | 91             |
| I2   | 21                   | < 1     | < 1           | 21             | 62                   | < 1     | < 1           | 62             |
| I3   | 6                    | < 1     | < 1           | 7              | 25                   | < 1     | < 1           | 26             |
| J1   | 135                  | < 1     | 1             | 136            | 485                  | < 1     | < 1           | 486            |
| J2   | 97                   | < 1     | < 1           | 98             | 348                  | < 1     | < 1           | 349            |

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| J3   | 268                  | < 1     | 1             | 268            | < 1                  | < 1     | 2             | 2              |
| K1   | 15                   | < 1     | < 1           | 16             | 62                   | < 1     | < 1           | 63             |
| K2   | 87                   | < 1     | < 1           | 88             | 220                  | < 1     | < 1           | 220            |
| K3   | 42                   | < 1     | < 1           | 42             | 77                   | < 1     | < 1           | 78             |
| L1   | 59                   | < 1     | 1             | 60             | 47                   | < 1     | 1             | 48             |
| L2   | 17                   | < 1     | 1             | 18             | 61                   | < 1     | 1             | 62             |
| L3   | 14                   | < 1     | 1             | 15             | 57                   | < 1     | 1             | 59             |
| L4   | 25                   | < 1     | 1             | 26             | 98                   | < 1     | 1             | 99             |
| L5   | 96                   | < 1     | 1             | 97             | 93                   | < 1     | 1             | 94             |
| L6   | 86                   | < 1     | 1             | 87             | 83                   | < 1     | 1             | 84             |

**Tempo relativo de execução da predição dos parâmetros dos modelos no tempo total de execução do algoritmo na Metodologia XVIII**

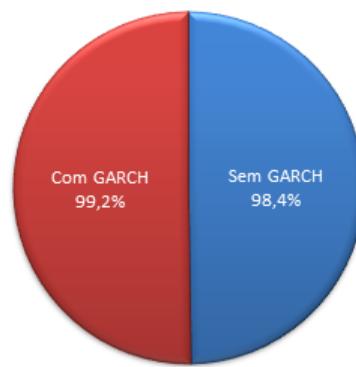


Figura 6.121: Gráfico com comparativo do tempo total relativo de cálculo dos parâmetros dos modelos sem e com GARCH na Metodologia XVIII

Tabela 6.111: Autocorrelação do dado original e dos resíduos gerados sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XVIII

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| A1       | 6                      | 0                        | 1                        |
| A2       | 5                      | 0                        | 0                        |
| A3       | 6                      | 0                        | 0                        |
| B1       | 6                      | 0                        | 3                        |
| B2       | 6                      | 0                        | 3                        |
| B3       | 6                      | 0                        | 3                        |
| C1       | 2                      | 0                        | 0                        |
| C2       | 1                      | 0                        | 1                        |
| C3       | 2                      | 0                        | 0                        |
| D1       | 2                      | 4                        | 4                        |
| D2       | 2                      | 3                        | 0                        |
| D3       | 2                      | 3                        | 3                        |
| E1       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E2       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E3       | 4                      | 0                        | 0                        |
| F1       | 1                      | 4                        | 4                        |
| F2       | 6                      | 0                        | 6                        |
| F3       | 6                      | 0                        | 0                        |
| G1       | 1                      | 1                        | 1                        |
| G2       | 2                      | 1                        | 1                        |
| G3       | 6                      | 1                        | 1                        |
| H1       | 1                      | 0                        | 0                        |
| H2       | 1                      | 0                        | 1                        |
| H3       | 1                      | 0                        | 0                        |
| I1       | 7                      | 0                        | 1                        |
| I2       | 1                      | 0                        | 0                        |
| I3       | 1                      | 1                        | 1                        |
| J1       | 3                      | 0                        | 7                        |
| J2       | 3                      | 3                        | 7                        |
| J3       | 8                      | 2                        | 8                        |
| K1       | 3                      | 0                        | 0                        |
| K2       | 3                      | 0                        | 2                        |
| K3       | 2                      | 0                        | 1                        |

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| L1       | 2                      | 0                        | 0                        |
| L2       | 7                      | 0                        | 2                        |
| L3       | 11                     | 0                        | 0                        |
| L4       | 7                      | 0                        | 1                        |
| L5       | 7                      | 0                        | 0                        |
| L6       | 6                      | 0                        | 0                        |

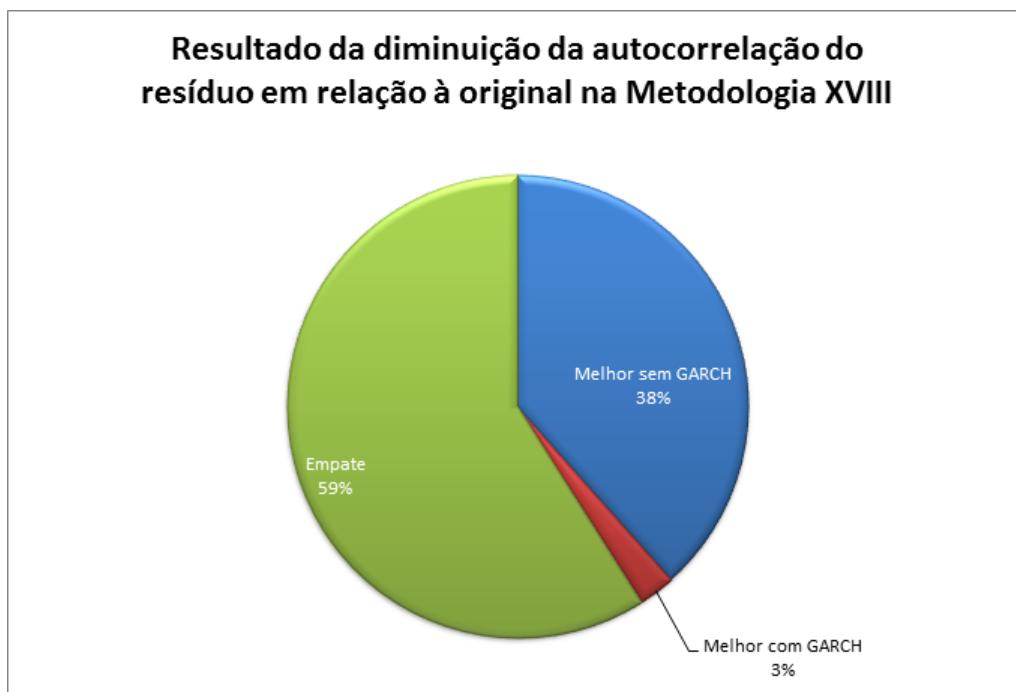


Figura 6.122: Gráfico com comparativo da redução relativa total da autocorrelação do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XVIII

Tabela 6.112: Média e variância do dado original comparadas às do resíduo calculado sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XVIII

| Conjunto | Média Original | Var. Original | Média Sem GARCH | Var. Sem GARCH | Média Com GARCH | Var. Com GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| A1       | 3,0E+04        | 1,8E+07       | 0,1             | 3,5E+05        | -0,3            | 3,7E+05        |
| A2       | 3,2E+04        | 1,1E+07       | 0,7             | 2,8E+05        | -0,8            | 2,8E+05        |
| A3       | 3,1E+04        | 1,4E+07       | 0,5             | 3,0E+05        | -1,4            | 3,1E+05        |
| B1       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,4             | 1,1E+01        | 0,4             | 1,0E+02        |
| B2       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,4             | 1,1E+01        | 0,4             | 1,0E+02        |
| B3       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,4             | 1,1E+01        | 0,4             | 1,0E+02        |
| C1       | 3,3E+04        | 8,1E+07       | 0,3             | 2,0E+07        | 0,2             | 2,2E+07        |
| C2       | 3,3E+04        | 4,0E+07       | 0,9             | 1,3E+07        | 2,8             | 1,7E+07        |
| C3       | 3,3E+04        | 5,7E+07       | 0,6             | 1,1E+07        | 0,8             | 1,3E+07        |
| D1       | 3,7E+04        | 4,1E+07       | 0,2             | 3,6E+06        | 0,7             | 3,6E+06        |
| D2       | 3,3E+04        | 1,2E+07       | 0,6             | 1,8E+06        | 0,7             | 1,9E+06        |
| D3       | 3,1E+04        | 1,0E+07       | -4,4            | 1,1E+06        | 5,9             | 1,5E+06        |
| E1       | 2,9E+04        | 5,8E+07       | 0,6             | 5,1E+07        | -4,7            | 5,1E+07        |
| E2       | 3,0E+04        | 5,8E+07       | 0,5             | 5,2E+07        | 0,6             | 5,3E+07        |
| E3       | 3,0E+04        | 6,0E+07       | 0,9             | 5,5E+07        | 0,8             | 5,6E+07        |
| F1       | 3,8E+04        | 3,9E+07       | 0,5             | 5,6E+06        | 0,4             | 5,6E+06        |
| F2       | 2,3E+04        | 5,4E+06       | 1,1             | 2,3E+05        | 0,3             | 3,7E+05        |
| F3       | 2,6E+04        | 6,0E+06       | 0,4             | 7,0E+04        | 0,6             | 8,3E+04        |
| G1       | 3,3E+04        | 3,3E+07       | 2,9             | 2,6E+06        | 0,1             | 2,6E+06        |
| G2       | 3,8E+04        | 1,9E+07       | 5,5             | 1,2E+06        | 2,6             | 1,3E+06        |
| G3       | 2,9E+04        | 3,6E+07       | 3,5             | 2,7E+06        | 0,4             | 2,7E+06        |
| H1       | 3,1E+04        | 3,6E+07       | -2,7            | 3,5E+07        | 38,2            | 3,5E+07        |
| H2       | 3,4E+04        | 8,1E+06       | 0,3             | 5,9E+06        | -16,0           | 5,1E+06        |
| H3       | 3,2E+04        | 7,3E+06       | 0,6             | 4,9E+06        | 0,1             | 5,1E+06        |
| I1       | 3,6E+04        | 1,2E+07       | 0,7             | 1,3E+06        | 0,2             | 1,4E+06        |
| I2       | 2,9E+04        | 1,2E+06       | 1,4             | 8,3E+04        | 0,0             | 1,5E+05        |
| I3       | 3,1E+04        | 3,3E+07       | 0,3             | 6,9E+06        | 0,7             | 7,0E+06        |
| J1       | 3,7E+04        | 1,2E+06       | 0,5             | 1,1E+04        | 0,5             | 6,1E+04        |
| J2       | 3,5E+04        | 1,5E+06       | 0,5             | 4,6E+04        | 0,5             | 9,1E+04        |
| J3       | 3,3E+04        | 1,3E+06       | 3,3E+04         | 1,3E+06        | 3,3E+04         | 1,3E+06        |
| K1       | 3,9E+04        | 6,9E+06       | 0,5             | 2,5E+05        | 1,3             | 2,6E+05        |
| K2       | 4,0E+04        | 6,7E+06       | 0,6             | 1,6E+05        | 0,2             | 4,2E+05        |

| Conjunto | Média<br>Orig. | Var.<br>Orig. | Média<br>Sem<br>GARCH | Var.<br>Sem<br>GARCH | Média<br>Com<br>GARCH | Var.<br>Com<br>GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| K3       | 3,6E+04        | 5,8E+06       | 1,1                   | 3,1E+05              | 0,5                   | 3,5E+05              |
| L1       | 3,4E+04        | 2,9E+07       | -4,7                  | 5,3E+06              | 0,4                   | 5,2E+06              |
| L2       | 3,1E+04        | 1,5E+07       | 0,7                   | 5,2E+06              | 0,7                   | 5,4E+06              |
| L3       | 3,5E+04        | 1,3E+07       | -0,3                  | 7,5E+06              | 1,8                   | 7,6E+06              |
| L4       | 3,7E+04        | 1,8E+07       | 0,2                   | 3,7E+06              | 3,3                   | 6,9E+06              |
| L5       | 3,1E+04        | 5,1E+07       | 0,6                   | 1,3E+06              | 0,2                   | 1,3E+06              |
| L6       | 3,2E+04        | 2,6E+07       | -0,7                  | 1,1E+06              | 0,1                   | 1,1E+06              |



Figura 6.123: Gráfico com comparativo da redução relativa total da variância do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XVIII

### 6.2.19 Metodologia XIX

A Metodologia XIX utiliza o valor absoluto do dado a ser comprimido. A função de autocorrelação para escolher os valores dos parâmetros autoregressivo ( $p$ , na equação 4.5) e de médias móveis ( $q$ , na equação 4.5). Assim como antes, apenas os valores com autocorrelação superior a 0,6 foram escolhidos. O operador diferença ( $d$  na equação 4.1) foi testado com o valor um. Cada conjunto foi testado duas vezes, uma com e a outra sem a utilização do modelo GARCH(1, 1).

Para a descompressão, serão necessários os seguintes itens:

1. **Valor de AR:** 32 bits indicando  $p$  na equação 4.5.
2. **Valor de MA:** 32 bits indicando  $p$  na equação 4.5.
3. **Valor de ARCH:** 32 bits indicando  $\bar{\alpha}$  na equação 4.7.
4. **Valor de GARCH:** 32 bits indicando  $\bar{\beta}$  na equação 4.7.
5. **Parâmetros AR calculados:**  $p \times 32$  bits indicando os parâmetros AR calculados ( $\alpha_1, \dots, p$ , na equação 4.5).
6. **Parâmetros MA calculados:**  $q \times 32$  bits indicando os parâmetros AR calculados ( $\beta_1, \dots, p$ , na equação 4.5).
7. **Parâmetros ARCH calculados:**  $\bar{\alpha} \times 32$  bits indicando os parâmetros ARCH calculados ( $\sigma_1, \dots, \bar{p}$ , na equação 4.7).
8. **Parâmetros GARCH calculados:**  $\bar{\beta} \times 32$  bits indicando os parâmetros GARCH calculados ( $h_1, \dots, \bar{q}$ , na equação 4.7).
9. **Sinais:** é necessário enviar o conjunto de sinais do dado original, uma vez que assumimos que todos os valores são positivos. Como cada sinal ocupa 1 bit (0

ou 1), o tamanho necessário para o envio, em bits, corresponde à cardinalidade do dado inicial.

10. **Resíduo do modelo:** o conjunto de resíduos do modelo, comprimido com a codificação aritmética, também é necessário para a descompressão.

Portanto, o tamanho final do arquivo comprimido é descrito pela mesma equação da Metodologia XIX (equação 6.18).

#### *6.2.19.1 Métricas obtidas*

---

Tabela 6.113: Comparativo de quantidade de experimentos cujas soluções convergiram com e sem a utilização do GARCH na metodologia XIX

| Cenário   | Total experimentos | Convergiram | Não convergiram | % sucesso |
|-----------|--------------------|-------------|-----------------|-----------|
| Sem GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |
| Com GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |

---

Tabela 6.114: Razão de compressão dos experimentos sem e com GARCH na Metodologia XIX. Valores em bytes.

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| A1       | 1152000          | 938071                       | 924975                       | 1,23                       | 1,25                       |
| A2       | 1152000          | 885032                       | 875013                       | 1,30                       | 1,32                       |
| A3       | 1152000          | 922778                       | 915800                       | 1,25                       | 1,26                       |
| B1       | 518592           | 159456                       | 197492                       | 3,25                       | 2,63                       |

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| B2       | 518592           | 159456                       | 197492                       | 3,25                       | 2,63                       |
| B3       | 518592           | 159456                       | 197492                       | 3,25                       | 2,63                       |
| C1       | 288192           | 279763                       | 274233                       | 1,03                       | 1,05                       |
| C2       | 288192           | 277364                       | 269002                       | 1,04                       | 1,07                       |
| C3       | 288192           | 281342                       | 277921                       | 1,02                       | 1,04                       |
| D1       | 331200           | 300169                       | 299512                       | 1,10                       | 1,11                       |
| D2       | 331200           | 282243                       | 282579                       | 1,17                       | 1,17                       |
| D3       | 331200           | 272175                       | 268205                       | 1,22                       | 1,23                       |
| E1       | 33792            | 34226                        | 34289                        | 0,99                       | 0,99                       |
| E2       | 33792            | 34385                        | 34467                        | 0,98                       | 0,98                       |
| E3       | 33792            | 34715                        | 34730                        | 0,97                       | 0,97                       |
| F1       | 220992           | 198188                       | 198019                       | 1,12                       | 1,12                       |
| F2       | 220992           | 143486                       | 139419                       | 1,54                       | 1,59                       |
| F3       | 220992           | 140607                       | 136204                       | 1,57                       | 1,62                       |
| G1       | 139392           | 125888                       | 125915                       | 1,11                       | 1,11                       |
| G2       | 139392           | 114785                       | 114693                       | 1,21                       | 1,22                       |
| G3       | 139392           | 127534                       | 127543                       | 1,09                       | 1,09                       |
| H1       | 360192           | 352483                       | 352558                       | 1,02                       | 1,02                       |
| H2       | 360192           | 316109                       | 318045                       | 1,14                       | 1,13                       |
| H3       | 360192           | 322100                       | 321490                       | 1,12                       | 1,12                       |
| I1       | 221184           | 185758                       | 186214                       | 1,19                       | 1,19                       |
| I2       | 221184           | 154053                       | 144262                       | 1,44                       | 1,53                       |
| I3       | 221184           | 196326                       | 195367                       | 1,13                       | 1,13                       |
| J1       | 591936           | 349603                       | 339247                       | 1,69                       | 1,74                       |
| J2       | 591936           | 363014                       | 358589                       | 1,63                       | 1,65                       |
| J3       | 591936           | 310391                       | 340884                       | 1,91                       | 1,74                       |
| K1       | 288000           | 219562                       | 218068                       | 1,31                       | 1,32                       |
| K2       | 288000           | 212108                       | 208893                       | 1,36                       | 1,38                       |
| K3       | 288000           | 218428                       | 210403                       | 1,32                       | 1,37                       |
| L1       | 480192           | 430980                       | 427623                       | 1,11                       | 1,12                       |
| L2       | 480192           | 438460                       | 437112                       | 1,10                       | 1,10                       |
| L3       | 480192           | 444677                       | 443652                       | 1,08                       | 1,08                       |
| L4       | 480192           | 413862                       | 426293                       | 1,16                       | 1,13                       |
| L5       | 480192           | 410788                       | 405782                       | 1,17                       | 1,18                       |
| L6       | 480192           | 408349                       | 413364                       | 1,18                       | 1,16                       |

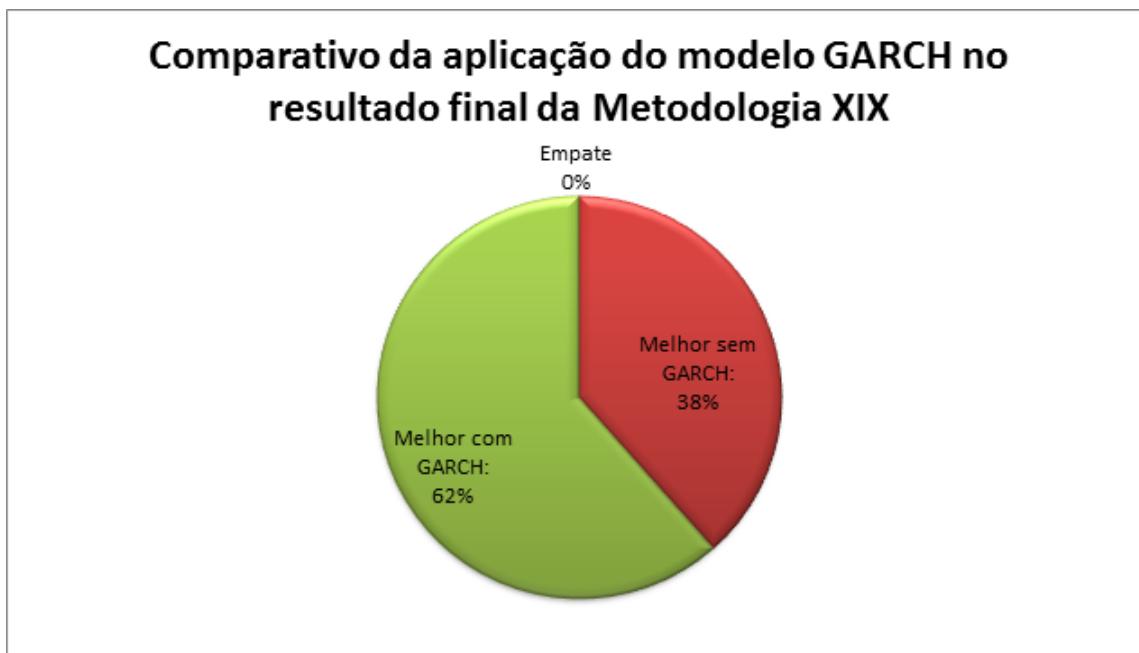


Figura 6.124: Gráfico com comparativo da razão de compressão na Metodologia XIX

Tabela 6.115: Evolução da entropia do dado original e do resíduo calculado na metodologia XIX

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| A1       | 11,30            | 10,97                        | 10,88                        |
| A2       | 11,30            | 10,47                        | 10,49                        |
| A3       | 11,27            | 10,62                        | 10,62                        |
| B1       | 7,64             | 2,91                         | 2,48                         |
| B2       | 7,64             | 2,91                         | 2,48                         |
| B3       | 7,64             | 2,91                         | 2,48                         |
| C1       | 12,34            | 12,27                        | 12,34                        |
| C2       | 13,18            | 12,67                        | 12,60                        |
| C3       | 13,17            | 12,74                        | 12,76                        |
| D1       | 9,48             | 9,48                         | 9,48                         |
| D2       | 12,38            | 11,39                        | 11,35                        |
| D3       | 6,45             | 6,45                         | 6,45                         |
| E1       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| E2       | 10,78            | 10,78                        | 10,78                        |
| E3       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| F1       | 10,20            | 10,20                        | 10,20                        |
| F2       | 8,20             | 7,17                         | 7,14                         |
| F3       | 9,27             | 7,55                         | 7,24                         |
| G1       | 12,03            | 11,71                        | 11,71                        |
| G2       | 11,79            | 11,25                        | 11,25                        |
| G3       | 12,06            | 11,82                        | 11,81                        |
| H1       | 8,44             | 8,44                         | 8,44                         |
| H2       | 12,29            | 12,24                        | 12,24                        |
| H3       | 12,33            | 12,20                        | 12,20                        |
| I1       | 8,14             | 8,01                         | 7,92                         |
| I2       | 9,59             | 7,18                         | 6,56                         |
| I3       | 8,15             | 8,15                         | 8,13                         |
| J1       | 8,50             | 7,12                         | 6,95                         |
| J2       | 8,52             | 7,36                         | 7,35                         |
| J3       | 8,53             | 7,00                         | 6,91                         |
| K1       | 10,94            | 9,78                         | 9,73                         |
| K2       | 10,89            | 9,72                         | 9,48                         |
| K3       | 10,87            | 9,86                         | 9,57                         |

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| L1       | 11,27            | 11,27                        | 11,27                        |
| L2       | 11,08            | 11,08                        | 11,08                        |
| L3       | 11,31            | 11,31                        | 11,31                        |
| L4       | 12,80            | 12,00                        | 11,93                        |
| L5       | 10,67            | 10,67                        | 10,67                        |
| L6       | 11,58            | 11,58                        | 11,58                        |

### Evolução de entropia geral na Metodologia XIX

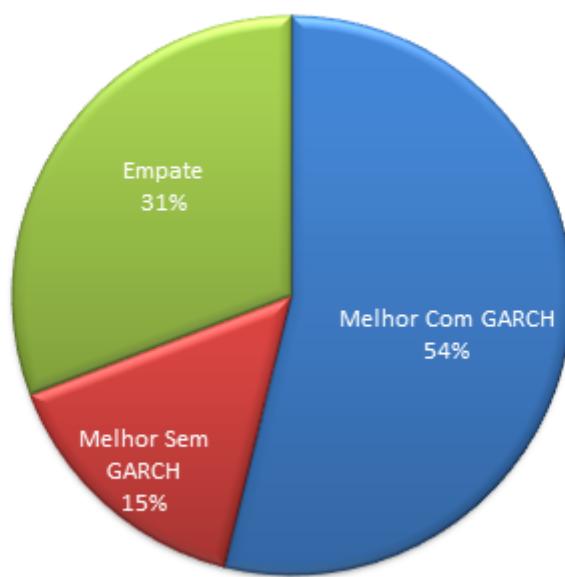


Figura 6.125: Gráfico com comparativo da evolução da entropia na Metodologia XIX

Tabela 6.116: Tempo de execução (em segundos) dos algoritmos sem e com GARCH na Metodologia XIX. Primeiro é exibido o tempo de execução sem a utilização do modelo GARCH, depois com o modelo. Parâmetros modelo se refere ao tempo gasto pelo algoritmo para o cálculo dos parâmetros do modelo, Resíduo refere-se ao tempo gasto pelo modelo para calcular o resíduo do modelo, Cod. Arit. refere-se ao tempo gasto pela codificação aritmética para comprimir o resíduo.

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| A1   | 390                  | < 1     | 2             | 393            | 828                  | 1       | 2             | 831            |
| A2   | 510                  | 1       | 8             | 519            | 944                  | 1       | 2             | 946            |
| A3   | 517                  | < 1     | 4             | 521            | 1.167                | 3       | 7             | 1.176          |
| B1   | 610                  | < 1     | 1             | 611            | 886                  | < 1     | 1             | 887            |
| B2   | 731                  | < 1     | 1             | 732            | 1.493                | 1       | 1             | 1.495          |
| B3   | 727                  | 1       | 2             | 731            | 1.475                | 2       | 2             | 1.479          |
| C1   | 53                   | 1       | 3             | 57             | 129                  | < 1     | 1             | 130            |
| C2   | 43                   | 1       | 2             | 46             | 125                  | 1       | 2             | 128            |
| C3   | 51                   | < 1     | 1             | 52             | 119                  | 1       | 2             | 122            |
| D1   | 52                   | < 1     | 1             | 53             | 118                  | 1       | 3             | 122            |
| D2   | 142                  | 1       | 3             | 145            | 389                  | 1       | 3             | 392            |
| D3   | 41                   | < 1     | 2             | 43             | 384                  | < 1     | 1             | 385            |
| E1   | 8                    | < 1     | < 1           | 9              | 37                   | < 1     | < 1           | 37             |
| E2   | 6                    | < 1     | < 1           | 7              | 42                   | < 1     | < 1           | 42             |
| E3   | 9                    | < 1     | < 1           | 10             | 43                   | < 1     | < 1           | 44             |
| F1   | 25                   | < 1     | 2             | 28             | 87                   | < 1     | 1             | 89             |
| F2   | 144                  | < 1     | < 1           | 145            | 352                  | 1       | 1             | 354            |
| F3   | 284                  | < 1     | < 1           | 285            | 619                  | 1       | 1             | 622            |
| G1   | 21                   | < 1     | 2             | 23             | 89                   | 1       | 1             | 91             |
| G2   | 63                   | < 1     | 2             | 65             | 192                  | 1       | < 1           | 193            |
| G3   | 23                   | < 1     | 1             | 24             | 76                   | 1       | 2             | 78             |
| H1   | 72                   | < 1     | 1             | 73             | 242                  | 1       | 4             | 246            |
| H2   | 42                   | 1       | 2             | 45             | 224                  | < 1     | 3             | 227            |
| H3   | 40                   | 1       | 1             | 42             | 144                  | 1       | 3             | 149            |
| I1   | 34                   | 1       | 2             | 36             | 284                  | < 1     | 1             | 286            |
| I2   | 87                   | < 1     | < 1           | 87             | 331                  | 1       | 1             | 332            |
| I3   | 16                   | < 1     | < 1           | 17             | 43                   | < 1     | < 1           | 44             |
| J1   | 706                  | < 1     | 1             | 708            | 1.339                | < 1     | 1             | 1.340          |
| J2   | 420                  | < 1     | 1             | 421            | 867                  | < 1     | 1             | 869            |

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| J3   | 1.623                | 1       | 3             | 1.627          | 2.609                | 1       | 1             | 2.610          |
| K1   | 248                  | 1       | 2             | 251            | 566                  | 1       | 2             | 569            |
| K2   | 626                  | < 1     | 1             | 627            | 1.238                | 1       | 2             | 1.242          |
| K3   | 134                  | 1       | 2             | 136            | 446                  | < 1     | < 1           | 447            |
| L1   | 201                  | < 1     | 4             | 204            | 144                  | 1       | 5             | 150            |
| L2   | 80                   | 1       | 1             | 82             | 197                  | 2       | 4             | 202            |
| L3   | 61                   | 1       | 5             | 67             | 188                  | < 1     | 5             | 194            |
| L4   | 142                  | < 1     | 1             | 143            | 286                  | 1       | 3             | 291            |
| L5   | 394                  | 1       | 3             | 398            | 879                  | < 1     | 1             | 880            |
| L6   | 348                  | < 1     | 1             | 350            | 354                  | < 1     | 2             | 356            |

**Tempo relativo de execução da predição dos parâmetros dos modelos no tempo total de execução do algoritmo na Metodologia XIX**

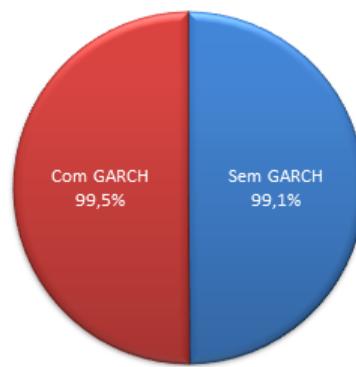


Figura 6.126: Gráfico com comparativo do tempo total relativo de cálculo dos parâmetros dos modelos sem e com GARCH na Metodologia XIX

Tabela 6.117: Autocorrelação do dado original e dos resíduos gerados sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XIX

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| A1       | 6                      | 0                        | 0                        |
| A2       | 5                      | 0                        | 0                        |
| A3       | 6                      | 0                        | 0                        |
| B1       | 6                      | 0                        | 2                        |
| B2       | 6                      | 0                        | 2                        |
| B3       | 6                      | 0                        | 2                        |
| C1       | 2                      | 0                        | 0                        |
| C2       | 1                      | 0                        | 1                        |
| C3       | 2                      | 0                        | 0                        |
| D1       | 2                      | 4                        | 4                        |
| D2       | 2                      | 3                        | 0                        |
| D3       | 2                      | 3                        | 3                        |
| E1       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E2       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E3       | 4                      | 0                        | 0                        |
| F1       | 1                      | 4                        | 4                        |
| F2       | 6                      | 0                        | 2                        |
| F3       | 6                      | 0                        | 0                        |
| G1       | 1                      | 1                        | 1                        |
| G2       | 2                      | 1                        | 1                        |
| G3       | 6                      | 1                        | 1                        |
| H1       | 1                      | 0                        | 0                        |
| H2       | 1                      | 0                        | 1                        |
| H3       | 1                      | 0                        | 0                        |
| I1       | 7                      | 0                        | 1                        |
| I2       | 1                      | 0                        | 0                        |
| I3       | 1                      | 1                        | 1                        |
| J1       | 3                      | 0                        | 1                        |
| J2       | 3                      | 2                        | 0                        |
| J3       | 8                      | 0                        | 1                        |
| K1       | 3                      | 0                        | 1                        |
| K2       | 3                      | 0                        | 1                        |
| K3       | 2                      | 0                        | 1                        |

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| L1       | 2                      | 0                        | 0                        |
| L2       | 7                      | 0                        | 2                        |
| L3       | 11                     | 0                        | 0                        |
| L4       | 7                      | 0                        | 1                        |
| L5       | 7                      | 0                        | 0                        |
| L6       | 6                      | 0                        | 4                        |

**Resultado da diminuição da autocorrelação do resíduo em relação à original na Metodologia XIX**

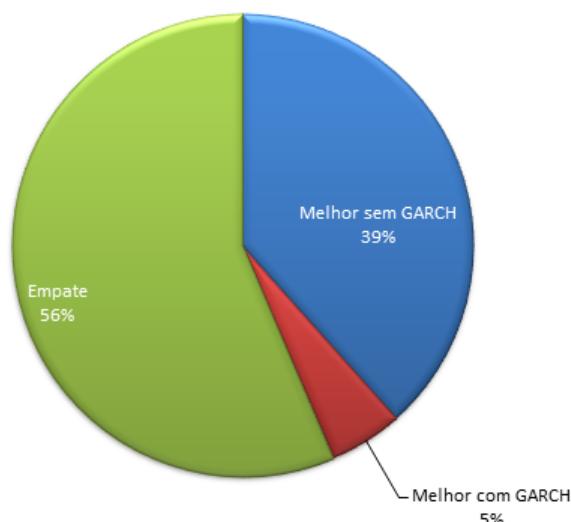


Figura 6.127: Gráfico com comparativo da redução relativa total da autocorrelação do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XIX

Tabela 6.118: Média e variância do dado original comparadas às do resíduo calculado sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XIX

| Conjunto | Média Original | Var. Original | Média Sem GARCH | Var. Sem GARCH | Média Com GARCH | Var. Com GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| A1       | 3,0E+04        | 1,8E+07       | 93,7            | 3,0E+05        | 1,2             | 2,9E+05        |
| A2       | 3,2E+04        | 1,1E+07       | 35,3            | 2,4E+05        | -1,3            | 2,9E+05        |
| A3       | 3,1E+04        | 1,4E+07       | -0,8            | 2,5E+05        | 0,4             | 3,0E+05        |
| B1       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,5             | 8,0E+00        | 0,4             | 4,5E+01        |
| B2       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,5             | 8,0E+00        | 0,4             | 4,5E+01        |
| B3       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,5             | 8,0E+00        | 0,4             | 4,5E+01        |
| C1       | 3,3E+04        | 8,1E+07       | 0,3             | 2,0E+07        | 0,2             | 2,2E+07        |
| C2       | 3,3E+04        | 4,0E+07       | 0,9             | 1,3E+07        | 2,8             | 1,7E+07        |
| C3       | 3,3E+04        | 5,7E+07       | 0,6             | 1,1E+07        | 0,8             | 1,3E+07        |
| D1       | 3,7E+04        | 4,1E+07       | 0,2             | 3,6E+06        | 0,7             | 3,6E+06        |
| D2       | 3,3E+04        | 1,2E+07       | 0,6             | 1,8E+06        | 0,7             | 1,9E+06        |
| D3       | 3,1E+04        | 1,0E+07       | -4,4            | 1,1E+06        | 5,9             | 1,5E+06        |
| E1       | 2,9E+04        | 5,8E+07       | 0,6             | 5,1E+07        | -4,7            | 5,1E+07        |
| E2       | 3,0E+04        | 5,8E+07       | 0,5             | 5,2E+07        | 0,6             | 5,3E+07        |
| E3       | 3,0E+04        | 6,0E+07       | 0,9             | 5,5E+07        | 0,8             | 5,6E+07        |
| F1       | 3,8E+04        | 3,9E+07       | 0,5             | 5,6E+06        | 0,4             | 5,6E+06        |
| F2       | 2,3E+04        | 5,4E+06       | 1,7             | 2,2E+05        | 0,7             | 3,2E+05        |
| F3       | 2,6E+04        | 6,0E+06       | -2,1            | 5,4E+04        | -1,9            | 7,3E+04        |
| G1       | 3,3E+04        | 3,3E+07       | 2,9             | 2,6E+06        | 0,1             | 2,6E+06        |
| G2       | 3,8E+04        | 1,9E+07       | 5,5             | 1,2E+06        | 2,6             | 1,3E+06        |
| G3       | 2,9E+04        | 3,6E+07       | 3,5             | 2,7E+06        | 0,4             | 2,7E+06        |
| H1       | 3,1E+04        | 3,6E+07       | -2,7            | 3,5E+07        | 38,2            | 3,5E+07        |
| H2       | 3,4E+04        | 8,1E+06       | 0,3             | 5,9E+06        | -16,0           | 5,1E+06        |
| H3       | 3,2E+04        | 7,3E+06       | 0,6             | 4,9E+06        | 0,1             | 5,1E+06        |
| I1       | 3,6E+04        | 1,2E+07       | 0,7             | 1,3E+06        | 0,2             | 1,4E+06        |
| I2       | 2,9E+04        | 1,2E+06       | 2,3             | 7,5E+04        | 0,1             | 1,4E+05        |
| I3       | 3,1E+04        | 3,3E+07       | 0,3             | 6,9E+06        | 0,7             | 7,0E+06        |
| J1       | 3,7E+04        | 1,2E+06       | 0,9             | 7,6E+03        | -1,3            | 8,8E+03        |
| J2       | 3,5E+04        | 1,5E+06       | 3,2             | 3,2E+04        | -1,6            | 3,3E+04        |
| J3       | 3,3E+04        | 1,3E+06       | 0,2             | 7,2E+03        | 1,1             | 8,2E+03        |
| K1       | 3,9E+04        | 6,9E+06       | 17,8            | 2,1E+05        | 6,6             | 3,6E+05        |
| K2       | 4,0E+04        | 6,7E+06       | 3,2             | 1,1E+05        | -2,1            | 1,1E+05        |

| Conjunto | Média<br>Orig. | Var.<br>Orig. | Média<br>Sem<br>GARCH | Var.<br>Sem<br>GARCH | Média<br>Com<br>GARCH | Var.<br>Com<br>GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| K3       | 3,6E+04        | 5,8E+06       | 0,2                   | 2,3E+05              | 0,1                   | 3,8E+05              |
| L1       | 3,4E+04        | 2,9E+07       | -4,7                  | 5,3E+06              | 0,4                   | 5,2E+06              |
| L2       | 3,1E+04        | 1,5E+07       | 0,7                   | 5,2E+06              | 0,7                   | 5,4E+06              |
| L3       | 3,5E+04        | 1,3E+07       | -0,3                  | 7,5E+06              | 1,8                   | 7,6E+06              |
| L4       | 3,7E+04        | 1,8E+07       | 2,2                   | 2,9E+06              | 1,2                   | 6,7E+06              |
| L5       | 3,1E+04        | 5,1E+07       | -74,7                 | 1,2E+06              | -2,7                  | 1,2E+06              |
| L6       | 3,2E+04        | 2,6E+07       | 42,2                  | 9,8E+05              | 0,3                   | 1,2E+06              |



Figura 6.128: Gráfico com comparativo da redução relativa total da variância do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XIX

### 6.2.20 Metodologia XX

A Metodologia XX utiliza parâmetros fixos para o modelo, de forma que eles não precisam ser enviados para o decodificador. O parâmetro autoregressivo ( $p$ , na equação 4.5) foi testado sempre com o valor um, assim como o de médias móveis ( $q$ , na equação 4.5) e o coeficiente de diferenças ( $d$ , na equação 4.1). Cada conjunto foi testado duas vezes, uma com e a outra sem a utilização do modelo GARCH(1, 1).

Os parâmetros escolhidos representam a média dos experimentos anteriores. Seus valores estão enumerados na tabela 6.58. Para a descompressão, serão necessários os seguintes itens:

1. **Existência do GARCH:** 1 bit indicando ao decodificador se o modelo GARCH foi usado.
2. **Resíduo do modelo:** o conjunto de resíduos do modelo, comprimido com a codificação aritmética, também é necessário para a descompressão.

Portanto, o tamanho final do arquivo comprimido é descrito pela mesma equação da Metodologia X (equação 6.20).

#### 6.2.20.1 Métricas obtidas

---

Tabela 6.119: Comparativo de quantidade de experimentos cujas soluções convergiram com e sem a utilização do GARCH na metodologia XX

| Cenário   | Total experimentos | Convergiram | Não convergiram | % sucesso |
|-----------|--------------------|-------------|-----------------|-----------|
| Sem GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |
| Com GARCH | 39                 | 39          | 0               | 100%      |

Tabela 6.120: Razão de compressão dos experimentos sem e com GARCH na Metodologia XX. Valores em bytes.

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| A1       | 1152000          | 894659                       | 894658                       | 1,29                       | 1,29                       |
| A2       | 1152000          | 842363                       | 842365                       | 1,37                       | 1,37                       |
| A3       | 1152000          | 835116                       | 835118                       | 1,38                       | 1,38                       |
| B1       | 518592           | 270019                       | 270032                       | 1,92                       | 1,92                       |
| B2       | 518592           | 270019                       | 270032                       | 1,92                       | 1,92                       |
| B3       | 518592           | 270019                       | 270032                       | 1,92                       | 1,92                       |
| C1       | 288192           | 272073                       | 272073                       | 1,06                       | 1,06                       |
| C2       | 288192           | 250794                       | 250794                       | 1,15                       | 1,15                       |
| C3       | 288192           | 260687                       | 260687                       | 1,11                       | 1,11                       |
| D1       | 331200           | 285849                       | 285850                       | 1,16                       | 1,16                       |
| D2       | 331200           | 268149                       | 268149                       | 1,24                       | 1,24                       |
| D3       | 331200           | 252800                       | 252796                       | 1,31                       | 1,31                       |
| E1       | 33792            | 33898                        | 33898                        | 1,00                       | 1,00                       |
| E2       | 33792            | 34144                        | 34144                        | 0,99                       | 0,99                       |
| E3       | 33792            | 34257                        | 34257                        | 0,99                       | 0,99                       |
| F1       | 220992           | 196083                       | 196083                       | 1,13                       | 1,13                       |
| F2       | 220992           | 153687                       | 153666                       | 1,44                       | 1,44                       |
| F3       | 220992           | 165398                       | 165398                       | 1,34                       | 1,34                       |
| G1       | 139392           | 125410                       | 125410                       | 1,11                       | 1,11                       |
| G2       | 139392           | 113641                       | 113640                       | 1,23                       | 1,23                       |
| G3       | 139392           | 126183                       | 126185                       | 1,10                       | 1,10                       |
| H1       | 360192           | 345887                       | 345887                       | 1,04                       | 1,04                       |
| H2       | 360192           | 293436                       | 293436                       | 1,23                       | 1,23                       |
| H3       | 360192           | 298347                       | 298347                       | 1,21                       | 1,21                       |
| I1       | 221184           | 173238                       | 173240                       | 1,28                       | 1,28                       |
| I2       | 221184           | 150229                       | 150227                       | 1,47                       | 1,47                       |
| I3       | 221184           | 183145                       | 183140                       | 1,21                       | 1,21                       |
| J1       | 591936           | 388351                       | 388351                       | 1,52                       | 1,52                       |
| J2       | 591936           | 387994                       | 387994                       | 1,53                       | 1,53                       |
| J3       | 591936           | 387265                       | 387265                       | 1,53                       | 1,53                       |

| Conjunto | Tamanho Original | Tamanho Comprimido Com GARCH | Tamanho Comprimido Sem GARCH | Razão Compressão Sem GARCH | Razão Compressão Com GARCH |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| K1       | 288000           | 216996                       | 217037                       | 1,33                       | 1,33                       |
| K2       | 288000           | 197211                       | 197204                       | 1,46                       | 1,46                       |
| K3       | 288000           | 200198                       | 200199                       | 1,44                       | 1,44                       |
| L1       | 480192           | 407548                       | 407548                       | 1,18                       | 1,18                       |
| L2       | 480192           | 406557                       | 406565                       | 1,18                       | 1,18                       |
| L3       | 480192           | 421521                       | 421522                       | 1,14                       | 1,14                       |
| L4       | 480192           | 403713                       | 403702                       | 1,19                       | 1,19                       |
| L5       | 480192           | 388986                       | 388980                       | 1,23                       | 1,23                       |
| L6       | 480192           | 394957                       | 394957                       | 1,22                       | 1,22                       |

**Comparativo da aplicação do modelo GARCH no resultado final da Metodologia XX**

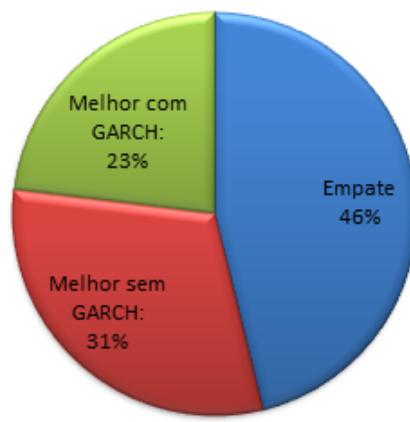


Figura 6.129: Gráfico com comparativo da razão de compressão na Metodologia XX

Tabela 6.121: Evolução da entropia do dado original e do resíduo calculado na metodologia XX

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| A1       | 11,30            | 11,30                        | 11,30                        |
| A2       | 11,30            | 11,02                        | 11,02                        |
| A3       | 11,27            | 11,20                        | 11,20                        |
| B1       | 7,64             | 5,00                         | 5,00                         |
| B2       | 7,64             | 5,00                         | 5,00                         |
| B3       | 7,64             | 5,00                         | 5,00                         |
| C1       | 12,34            | 12,22                        | 12,22                        |
| C2       | 13,18            | 12,82                        | 12,82                        |
| C3       | 13,17            | 12,83                        | 12,82                        |
| D1       | 9,48             | 9,48                         | 9,48                         |
| D2       | 12,38            | 11,76                        | 11,76                        |
| D3       | 6,45             | 6,33                         | 6,33                         |
| E1       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| E2       | 10,78            | 10,78                        | 10,78                        |
| E3       | 10,80            | 10,80                        | 10,80                        |
| F1       | 10,20            | 10,12                        | 10,13                        |
| F2       | 8,20             | 7,75                         | 7,76                         |
| F3       | 9,27             | 8,91                         | 8,92                         |
| G1       | 12,03            | 11,81                        | 11,81                        |
| G2       | 11,79            | 11,46                        | 11,45                        |
| G3       | 12,06            | 11,87                        | 11,86                        |
| H1       | 8,44             | 8,44                         | 8,44                         |
| H2       | 12,29            | 12,27                        | 12,26                        |
| H3       | 12,33            | 12,20                        | 12,19                        |
| I1       | 8,14             | 7,94                         | 7,94                         |
| I2       | 9,59             | 8,49                         | 8,49                         |
| I3       | 8,15             | 8,05                         | 8,03                         |
| J1       | 8,50             | 7,75                         | 7,75                         |
| J2       | 8,52             | 7,84                         | 7,84                         |
| J3       | 8,53             | 7,77                         | 7,77                         |
| K1       | 10,94            | 10,37                        | 10,37                        |
| K2       | 10,89            | 10,33                        | 10,32                        |
| K3       | 10,87            | 10,33                        | 10,33                        |

| Conjunto | Entropia Inicial | Entropia do Resíduo sem GARC | Entropia do Resíduo com GARC |
|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| L1       | 11,27            | 11,27                        | 11,27                        |
| L2       | 11,08            | 11,08                        | 11,08                        |
| L3       | 11,31            | 11,31                        | 11,31                        |
| L4       | 12,80            | 12,11                        | 12,11                        |
| L5       | 10,67            | 10,67                        | 10,67                        |
| L6       | 11,58            | 11,58                        | 11,58                        |

### Evolução de entropia geral na Metodologia XX

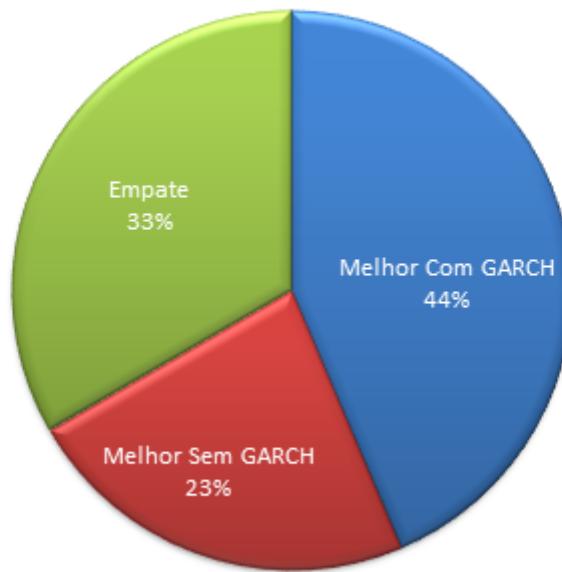


Figura 6.130: Gráfico com comparativo da evolução da entropia na Metodologia XX

Tabela 6.122: Tempo de execução (em segundos) dos algoritmos sem e com GARCH na Metodologia XX. Primeiro é exibido o tempo de execução sem a utilização do modelo GARCH, depois com o modelo. Parâmetros modelo se refere ao tempo gasto pelo algoritmo para o cálculo dos parâmetros do modelo, Resíduo refere-se ao tempo gasto pelo modelo para calcular o resíduo do modelo, Cod. Arit. refere-se ao tempo gasto pela codificação aritmética para comprimir o resíduo.

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| A1   | 31                   | < 1     | 3             | 35             | 47                   | 1       | 3             | 51             |
| A2   | 29                   | < 1     | 3             | 32             | 40                   | 1       | 3             | 44             |
| A3   | 56                   | < 1     | 3             | 59             | 43                   | 1       | 3             | 46             |
| B1   | 59                   | 1       | 2             | 62             | 217                  | 1       | 2             | 220            |
| B2   | 65                   | < 1     | 1             | 66             | 221                  | < 1     | 1             | 222            |
| B3   | 55                   | < 1     | 2             | 58             | 219                  | < 1     | 1             | 220            |
| C1   | 6                    | < 1     | 1             | 7              | 23                   | < 1     | 4             | 27             |
| C2   | 12                   | < 1     | 1             | 13             | 25                   | 1       | 1             | 26             |
| C3   | 15                   | < 1     | 1             | 16             | 26                   | < 1     | 1             | 28             |
| D1   | 18                   | < 1     | 1             | 19             | 92                   | 1       | 2             | 95             |
| D2   | 43                   | < 1     | 3             | 46             | 42                   | 1       | 3             | 47             |
| D3   | 26                   | < 1     | 1             | 27             | 45                   | < 1     | 1             | 46             |
| E1   | 1                    | < 1     | < 1           | 2              | 6                    | < 1     | < 1           | 6              |
| E2   | 2                    | < 1     | < 1           | 2              | 5                    | < 1     | < 1           | 5              |
| E3   | 1                    | < 1     | < 1           | 1              | 11                   | < 1     | < 1           | 12             |
| F1   | 17                   | < 1     | 3             | 20             | 27                   | 1       | 1             | 29             |
| F2   | 29                   | < 1     | < 1           | 29             | 116                  | 1       | 1             | 118            |
| F3   | 10                   | < 1     | 2             | 12             | 38                   | 1       | 2             | 41             |
| G1   | 4                    | < 1     | 1             | 5              | 13                   | < 1     | 1             | 14             |
| G2   | 15                   | < 1     | 1             | 16             | 22                   | 1       | 2             | 24             |
| G3   | 5                    | < 1     | 1             | 6              | 22                   | < 1     | 1             | 23             |
| H1   | 14                   | < 1     | 2             | 16             | 37                   | 1       | 1             | 38             |
| H2   | 19                   | 1       | 4             | 23             | 34                   | < 1     | 1             | 35             |
| H3   | 14                   | < 1     | 1             | 15             | 36                   | 1       | 3             | 40             |
| I1   | 25                   | < 1     | 2             | 28             | 36                   | < 1     | 1             | 37             |
| I2   | 11                   | < 1     | < 1           | 12             | 79                   | 1       | 1             | 81             |
| I3   | 3                    | < 1     | 1             | 4              | 11                   | < 1     | 1             | 11             |
| J1   | 82                   | < 1     | 1             | 83             | 112                  | < 1     | 1             | 113            |
| J2   | 40                   | 1       | 2             | 43             | 188                  | 1       | 2             | 191            |

| Conj | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total | Parâmetros<br>modelo | Resíduo | Cod.<br>Arit. | Tempo<br>total |
|------|----------------------|---------|---------------|----------------|----------------------|---------|---------------|----------------|
| J3   | 65                   | 1       | 1             | 67             | 198                  | 2       | 2             | 202            |
| K1   | 27                   | 1       | 2             | 30             | 127                  | < 1     | 1             | 128            |
| K2   | 27                   | < 1     | 1             | 28             | 130                  | 1       | 2             | 133            |
| K3   | 41                   | < 1     | 1             | 42             | 125                  | < 1     | 1             | 126            |
| L1   | 28                   | < 1     | 2             | 29             | 41                   | < 1     | 2             | 43             |
| L2   | 8                    | 1       | 3             | 12             | 79                   | 1       | 2             | 82             |
| L3   | 23                   | 1       | 2             | 27             | 39                   | < 1     | 2             | 41             |
| L4   | 28                   | < 1     | 1             | 29             | 157                  | 1       | 4             | 162            |
| L5   | 36                   | 1       | 6             | 42             | 48                   | 1       | 5             | 54             |
| L6   | 53                   | < 1     | 3             | 56             | 28                   | 1       | 2             | 31             |

**Tempo relativo de execução da predição dos  
parâmetros dos modelos no tempo total de execução  
do algoritmo na Metodologia XX**

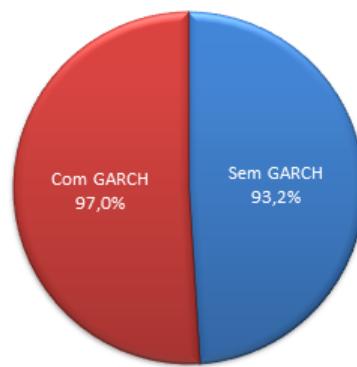


Figura 6.131: Gráfico com comparativo do tempo total relativo de cálculo dos parâmetros dos modelos sem e com GARCH na Metodologia XX

Tabela 6.123: Autocorrelação do dado original e dos resíduos gerados sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XX

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| A1       | 6                      | 3                        | 3                        |
| A2       | 5                      | 3                        | 3                        |
| A3       | 6                      | 3                        | 3                        |
| B1       | 6                      | 4                        | 4                        |
| B2       | 6                      | 4                        | 4                        |
| B3       | 6                      | 4                        | 4                        |
| C1       | 2                      | 5                        | 5                        |
| C2       | 1                      | 3                        | 3                        |
| C3       | 2                      | 5                        | 5                        |
| D1       | 2                      | 1                        | 1                        |
| D2       | 2                      | 4                        | 4                        |
| D3       | 2                      | 3                        | 3                        |
| E1       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E2       | 4                      | 0                        | 0                        |
| E3       | 4                      | 0                        | 0                        |
| F1       | 1                      | 4                        | 4                        |
| F2       | 6                      | 1                        | 1                        |
| F3       | 6                      | 1                        | 1                        |
| G1       | 1                      | 1                        | 1                        |
| G2       | 2                      | 1                        | 1                        |
| G3       | 6                      | 1                        | 1                        |
| H1       | 1                      | 1                        | 1                        |
| H2       | 1                      | 0                        | 0                        |
| H3       | 1                      | 0                        | 0                        |
| I1       | 7                      | 1                        | 1                        |
| I2       | 1                      | 4                        | 4                        |
| I3       | 1                      | 4                        | 4                        |
| J1       | 3                      | 7                        | 7                        |
| J2       | 3                      | 7                        | 7                        |
| J3       | 8                      | 7                        | 7                        |
| K1       | 3                      | 1                        | 1                        |
| K2       | 3                      | 1                        | 1                        |
| K3       | 2                      | 1                        | 1                        |

| Conjunto | Autocorrelação Inicial | Autocorrelação Sem GARCH | Autocorrelação Com GARCH |
|----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| L1       | 2                      | 5                        | 5                        |
| L2       | 7                      | 0                        | 0                        |
| L3       | 11                     | 4                        | 4                        |
| L4       | 7                      | 1                        | 1                        |
| L5       | 7                      | 3                        | 3                        |
| L6       | 6                      | 1                        | 1                        |

**Resultado da diminuição da autocorrelação do resíduo em relação à original na Metodologia XX**

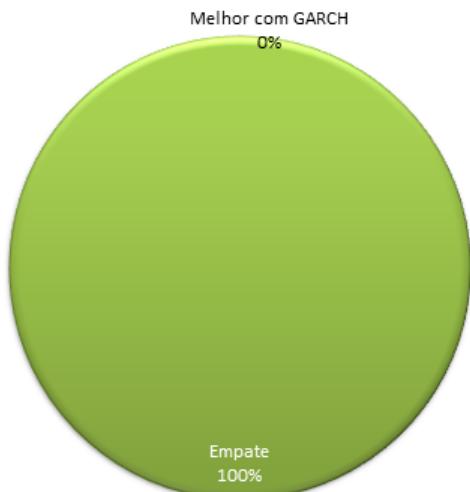


Figura 6.132: Gráfico com comparativo da redução relativa total da autocorrelação do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XX

Tabela 6.124: Média e variância do dado original comparadas às do resíduo calculado sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XX

| Conjunto | Média Original | Var. Original | Média Sem GARCH | Var. Sem GARCH | Média Com GARCH | Var. Com GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| A1       | 3,0E+04        | 1,8E+07       | 0,3             | 7,3E+05        | 0,0             | 7,3E+05        |
| A2       | 3,2E+04        | 1,1E+07       | 0,5             | 5,0E+05        | 2,0             | 5,0E+05        |
| A3       | 3,1E+04        | 1,4E+07       | 8,4             | 5,8E+05        | 0,5             | 5,8E+05        |
| B1       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,6             | 1,2E+04        | 0,4             | 1,2E+04        |
| B2       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,6             | 1,2E+04        | 0,4             | 1,2E+04        |
| B3       | 2,8E+04        | 4,5E+05       | 0,6             | 1,2E+04        | 0,4             | 1,2E+04        |
| C1       | 3,3E+04        | 8,1E+07       | 0,5             | 3,0E+07        | 0,3             | 3,0E+07        |
| C2       | 3,3E+04        | 4,0E+07       | 0,5             | 1,8E+07        | 0,5             | 1,8E+07        |
| C3       | 3,3E+04        | 5,7E+07       | 0,5             | 1,8E+07        | 0,6             | 1,8E+07        |
| D1       | 3,7E+04        | 4,1E+07       | 0,6             | 9,9E+06        | -7,3            | 9,9E+06        |
| D2       | 3,3E+04        | 1,2E+07       | -7,3            | 3,7E+06        | 6,8             | 3,7E+06        |
| D3       | 3,1E+04        | 1,0E+07       | 0,8             | 2,8E+06        | 3,1             | 2,8E+06        |
| E1       | 2,9E+04        | 5,8E+07       | 0,6             | 8,1E+07        | -7,3            | 8,1E+07        |
| E2       | 3,0E+04        | 5,8E+07       | 0,7             | 8,1E+07        | 0,5             | 8,1E+07        |
| E3       | 3,0E+04        | 6,0E+07       | 0,6             | 8,5E+07        | 0,6             | 8,5E+07        |
| F1       | 3,8E+04        | 3,9E+07       | 0,5             | 1,5E+07        | -6,9            | 1,5E+07        |
| F2       | 2,3E+04        | 5,4E+06       | -5,8            | 1,4E+06        | 0,4             | 1,4E+06        |
| F3       | 2,6E+04        | 6,0E+06       | 0,6             | 1,4E+06        | 2,3             | 1,4E+06        |
| G1       | 3,3E+04        | 3,3E+07       | 0,6             | 1,0E+07        | 0,6             | 1,0E+07        |
| G2       | 3,8E+04        | 1,9E+07       | -7,4            | 4,6E+06        | 0,1             | 4,6E+06        |
| G3       | 2,9E+04        | 3,6E+07       | 0,5             | 9,9E+06        | -7,3            | 9,9E+06        |
| H1       | 3,1E+04        | 3,6E+07       | 0,7             | 8,9E+07        | 0,7             | 8,9E+07        |
| H2       | 3,4E+04        | 8,1E+06       | 0,5             | 6,0E+06        | 8,4             | 6,0E+06        |
| H3       | 3,2E+04        | 7,3E+06       | 0,5             | 5,0E+06        | -7,4            | 5,0E+06        |
| I1       | 3,6E+04        | 1,2E+07       | -7,2            | 2,9E+06        | 3,9             | 2,9E+06        |
| I2       | 2,9E+04        | 1,2E+06       | -0,2            | 4,2E+05        | 0,7             | 4,2E+05        |
| I3       | 3,1E+04        | 3,3E+07       | 0,3             | 1,2E+07        | 0,2             | 1,2E+07        |
| J1       | 3,7E+04        | 1,2E+06       | 0,5             | 9,4E+05        | 0,5             | 9,4E+05        |
| J2       | 3,5E+04        | 1,5E+06       | 8,4             | 1,2E+06        | 0,5             | 1,2E+06        |
| J3       | 3,3E+04        | 1,3E+06       | 8,4             | 1,0E+06        | 0,5             | 1,0E+06        |
| K1       | 3,9E+04        | 6,9E+06       | -7,4            | 1,2E+06        | 0,8             | 1,2E+06        |
| K2       | 4,0E+04        | 6,7E+06       | 1,0             | 1,1E+06        | 0,5             | 1,1E+06        |

| Conjunto | Média<br>Orig. | Var.<br>Orig. | Média<br>Sem<br>GARCH | Var.<br>Sem<br>GARCH | Média<br>Com<br>GARCH | Var.<br>Com<br>GARCH |
|----------|----------------|---------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| K3       | 3,6E+04        | 5,8E+06       | 8,4                   | 1,1E+06              | 0,6                   | 1,1E+06              |
| L1       | 3,4E+04        | 2,9E+07       | 0,5                   | 9,7E+06              | 0,4                   | 9,7E+06              |
| L2       | 3,1E+04        | 1,5E+07       | 0,5                   | 7,3E+06              | 5,0                   | 7,3E+06              |
| L3       | 3,5E+04        | 1,3E+07       | 0,5                   | 1,1E+07              | 0,5                   | 1,1E+07              |
| L4       | 3,7E+04        | 1,8E+07       | 0,5                   | 6,1E+06              | 0,0                   | 6,1E+06              |
| L5       | 3,1E+04        | 5,1E+07       | 8,4                   | 1,9E+06              | 1,0                   | 1,9E+06              |
| L6       | 3,2E+04        | 2,6E+07       | 8,4                   | 1,5E+06              | 0,5                   | 1,5E+06              |



Figura 6.133: Gráfico com comparativo da redução relativa total da variância do resíduo sem e com a utilização do modelo GARCH na Metodologia XX

## 6.3 Resultados Consolidados

### 6.3.1 Razão de compressão

**Consolidado da razão de compressão em todas as metodologias**

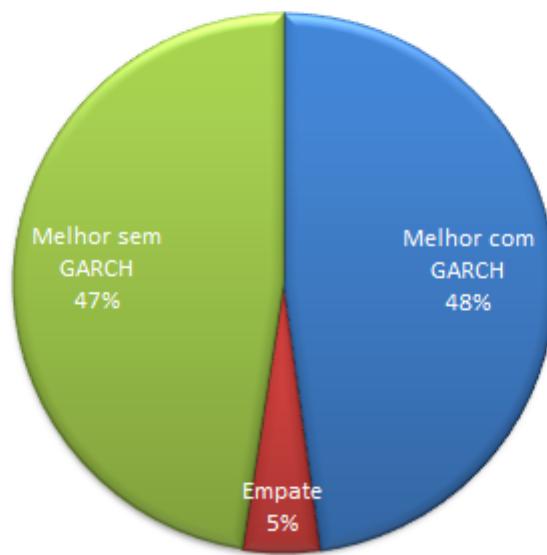


Figura 6.134: Consolidação da razão de compressão envolvendo todas as metodologias

A tabela 6.125 sumariza os resultados obtidos pelo tipo de arquivo testado. Em dados pré-stack, o GARCH conseguiu uma razão de compressão melhor em 48% dos testes, empatou em 4% e foi inferior também em 48%. Nesse caso, a utilização ou não do GARCH, olhando as razões de compressão globais para pré-stack foi indiferente. Para dados pós-stack, o GARCH foi melhor em 46%, pior em 47% e indiferente em 7% dos testes. Dados cujas características são desconhecidas (marcados como *Não Disponível* na tabela 6.125) representam 53%, 2% e 45% de ganho, empate e perda, respectivamente.

Tabela 6.125: Compilado da razão de compressão entre dados pré e pós-stack

| Tipo de dado experimentos | Melhor com GARCH | Empate | Melhor sem GARCH |
|---------------------------|------------------|--------|------------------|
| Não Disponível            | 53%              | 2%     | 45%              |
| Pós-stack                 | 46%              | 7%     | 47%              |
| Pré-stack                 | 48%              | 4%     | 48%              |

Já a tabela 6.126 compila os resultados de dados migrados e não migrados. Nos dados migrados, metade dos testes foi melhor sem a utilização do GARCH, em 7% houve empate e no restante a utilização do GARCH foi mais vantajosa. Para dados não migrados, uma inversão ocorre, metade dos testes foi favorável ao GARCH, em 4% a utilização ou não do GARCH foi indiferente e em 46% dos testes em dados não migrados, o GARCH não apresentou uma solução melhor. Em dados onde a informação de migração não foi encontrada, a utilização do GARCH foi favorável em 53% dos testes, irrelevante em 2% e desfavorável nos 45% restantes.

Tabela 6.126: Compilado da razão de compressão entre dados migrados e não migrados

| Tipo de dado experimentos | Melhor com GARCH | Empate | Melhor sem GARCH |
|---------------------------|------------------|--------|------------------|
| Não Disponível            | 53%              | 2%     | 45%              |
| Não Migrado               | 50%              | 4%     | 46%              |
| Migrado                   | 43%              | 7%     | 50%              |

Na tabela 6.127, são mostrados os resultados de acordo com o ruído estimado no dado. Em dados com ruído estimado em alto, a utilização do GARCH só foi superior em 29% dos testes, em 9% houve empate e inferior em 61% dos testes. Em dados com ruído estimado em baixo, o GARCH foi superior em 51% dos testes, em 2% houve empate e nos 47% restantes foi inferior. Em dados com ruído estimado em médio, o GARCH foi superior em 53% dos casos de teste, empatou em 5% e perdeu em 42% dos testes. Esses resultados mostram que o GARCH conseguiu gerar conjuntos de resíduos mais propícios para a compressão do que os modelos AR, ARMA e ARIMA puramente para arquivos com ruído baixo ou médio.

---

Tabela 6.127: Compilado da razão de compressão entre dados com relação ao ruído estimado do dado

| Ruido estimado no dado | Melhor com GARCH | Empate | Melhor sem GARCH |
|------------------------|------------------|--------|------------------|
| Alto                   | 29%              | 9%     | 61%              |
| Baixo                  | 51%              | 2%     | 47%              |
| Médio                  | 53%              | 5%     | 42%              |

A tabela 6.128 mostra a diferença de desempenho das soluções sem e com GARCH em dados sintéticos. Para dados sintéticos, o GARCH alcançou uma razão de compressão melhor em 47% das vezes, empatou em 3% e foi superado em 50% dos testes. Já para dados não sintéticos, esses valores mudam para 49%, 5% e 46%, respectivamente.

Tabela 6.128: Compilado da razão de compressão entre dados sintéticos e não-sintéticos

| Tipo de dado experimentos | Melhor com GARCH | Empate | Melhor sem GARCH |
|---------------------------|------------------|--------|------------------|
| Não Sintético             | 49%              | 5%     | 46%              |
| Sintético                 | 47%              | 3%     | 50%              |

### 6.3.2 Evolução Entropia

#### Resultado consolidado da redução de entropia

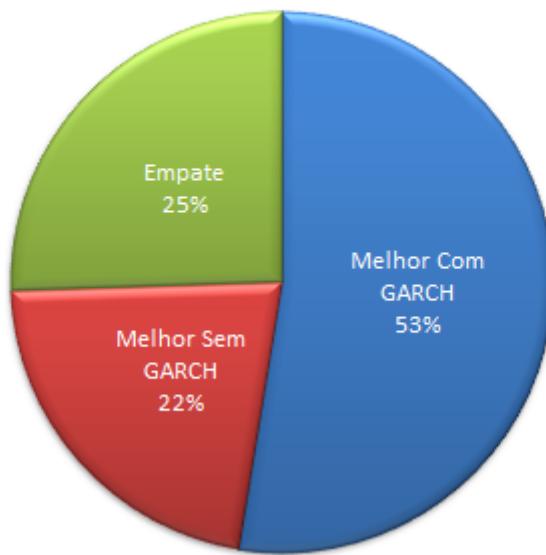


Figura 6.135: Consolidação da evolução da entropia envolvendo todas as metodologias. Em 53% dos testes, a utilização do GARCH trouxe um resíduo com entropia menos elevada do que a não utilização do modelo.

A tabela 6.129 apresenta a evolução da entropia de dados pré e pós-stack

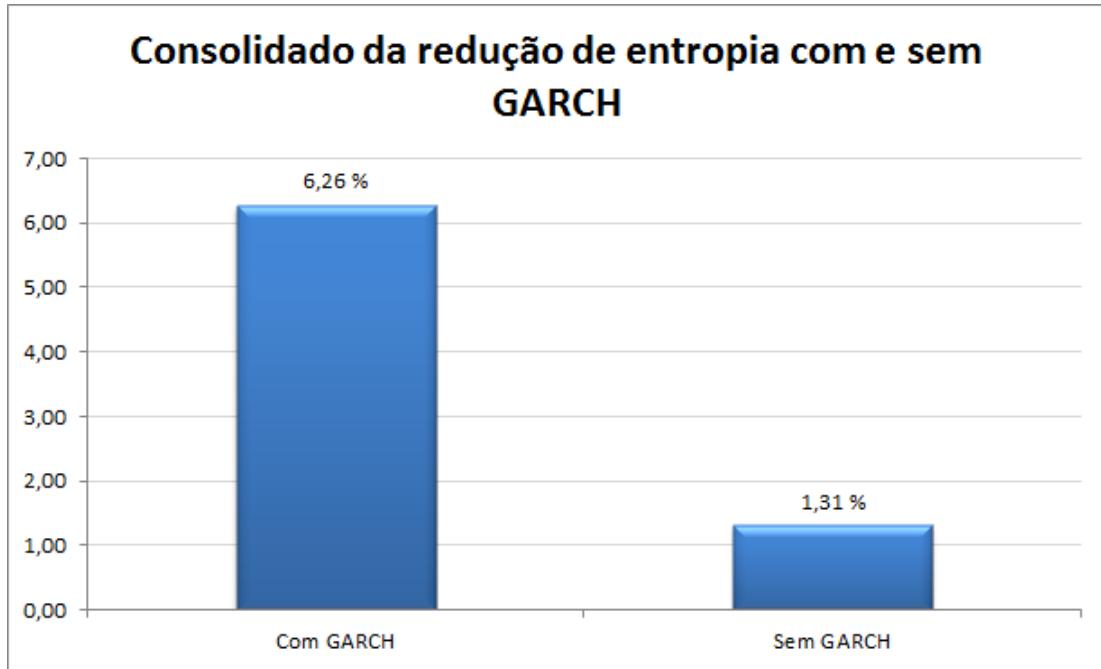


Figura 6.136: Medição da evolução da entropia total envolvendo todas as metodologias.

levando em consideração todas as metodologias de teste. Em dados pré-stack, a utilização do GARCH foi positiva em 56% dos testes, inferior em 20% e irrelevante em quase um quarto dos testes. Para dados pós-stack, houve vantagem utilizando o GARCH em 37% dos testes e desvantagem em 26%; nos 37% restantes a utilização do modelo foi irrelevante. Para dados sem informação disponível, o uso do GARCH apresentou ganhos em 63%, em 30% houve piora na evolução da entropia do resíduo em relação ao dado original e, com 7% dos testes, não houve diferença na utilização do modelo com GARCH.

Tabela 6.129: Compilado da evolução da entropia entre dados pré e pós-stack

| Tipo de dado experimentos | Melhor sem GARCH | Empate | Melhor com GARCH |
|---------------------------|------------------|--------|------------------|
| Não Disponível            | 30%              | 7%     | 63%              |

| Tipo de dado experimentos | Melhor sem GARCH | Empate | Melhor com GARCH |
|---------------------------|------------------|--------|------------------|
| Pós-stack                 | 26%              | 37%    | 37%              |
| Pré-stack                 | 20%              | 24%    | 56%              |

Já a tabela 6.130 compila os resultados da evolução da entropia de dados migrados e não migrados. Em dados migrados, 42% dos testes apresentaram melhor desempenho com GARCH, 35% não apresentaram diferença e nos 23% restantes a utilização do GARCH trouxe um conjunto de resíduos com entropia superior a do dado original. Em dados não migrados, mais da metade dos testes com a utilização do GARCH obteve um conjunto de resíduos com entropia inferior, em 23% houve empate e nos 21% restantes a não utilização do modelo GARCH trouxe resíduos com entropia superior. Para dados sem a informação de migrado ou não disponível, os índices de ganho, empate e perda na utilização do GARCH foram, respectivamente, 63%, 7% e 30%.

---

Tabela 6.130: Compilado da evolução da entropia entre dados migrados e não migrados

| Tipo de dado experimentos | Melhor sem GARCH | Empate | Melhor com GARCH |
|---------------------------|------------------|--------|------------------|
| Não Disponível            | 30%              | 7%     | 63%              |
| Não Migrado               | 21%              | 23%    | 56%              |
| Migrado                   | 23%              | 35%    | 42%              |

Na tabela 6.131, são mostrados os resultados da evolução da entropia de acordo com o ruído estimado no dado. Em dados com ruído estimado em alto, o GARCH foi inferior em 14% dos testes, houve empate em 55% e ganho sem GARCH em 31% dos testes realizados. Em dados com ruído estimado em baixo, o GARCH foi superior em 55% dos testes, irrelevante em 31% e perdeu nos 14% restantes. Para dados com ruído estimado em médio, a utilização do GARCH foi melhor em 59% dos testes, empatou em 9% e foi vencida nos 32% que sobram.

---

Tabela 6.131: Compilado da evolução da entropia entre dados com relação ao ruído estimado do dado

| Ruido<br>estimado<br>no dado | Melhor sem<br>GARCH | Empate | Melhor com<br>GARCH |
|------------------------------|---------------------|--------|---------------------|
| Alto                         | 14%                 | 55%    | 31%                 |
| Baixo                        | 14%                 | 31%    | 55%                 |
| Médio                        | 32%                 | 9%     | 59%                 |

A tabela 6.132 mostra a diferença de desempenho das soluções sem e com GARCH em dados sintéticos. Para dados sintéticos, o GARCH alcançou uma entropia melhor em 61% das vezes, empatou em 9% e foi superado em 30% dos testes. Já para dados não sintéticos, esses valores mudam para 49%, 33% e 19%, respectivamente.

Tabela 6.132: Compilado da evolução da entropia entre dados sintéticos e não-sintéticos

| Tipo de dado experimentos | Melhor sem GARCH | Empate | Melhor com GARCH |
|---------------------------|------------------|--------|------------------|
| Não Sintético             | 19%              | 33%    | 49%              |
| Sintético                 | 30%              | 9%     | 61%              |

### 6.3.3 Evolução da Correlação

#### **Consolidado da evolução de correlação de todas as metodologias sem e com GARCH**

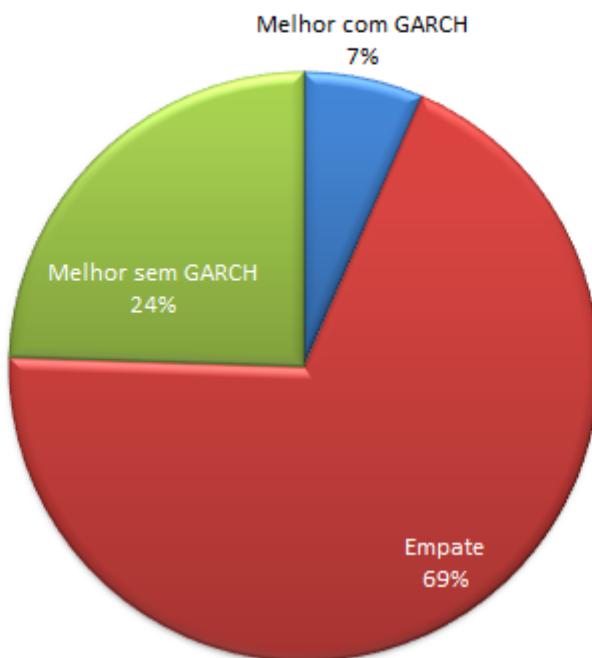


Figura 6.137: Consolidação da razão de compressão envolvendo todas as metodologias

A tabela 6.133 apresenta a evolução da correlação de dados pré e pós-stack levando em consideração todas as metodologias de teste. Em dados pré-stack, a utilização do GARCH foi positiva em 6% dos testes, inferior em 28% e irrelevante em dois terços dos testes. Para dados pós-stack, houve vantagem utilizando o GARCH em 9% dos testes e desvantagem em 20%; nos 71% restantes a utilização do modelo foi irrelevante. Para dados sem informação disponível, não houve testes em que o GARCH tenha apresentado algum ganho, em 7% houve piora na evolução da correlação do resíduo em relação ao dado original e, com 93% dos testes, não houve diferença na utilização do modelo com GARCH.

---

Tabela 6.133: Compilado da evolução da correlação entre dados pré e pós-stack

| Tipo de<br>dado experimentos | Melhor com<br>GARCH | Empate | Melhor sem<br>GARCH |
|------------------------------|---------------------|--------|---------------------|
| Não Disponível               | 0%                  | 93%    | 7%                  |
| Pós-stack                    | 9%                  | 71%    | 20%                 |
| Pré-stack                    | 6%                  | 66%    | 28%                 |

---

Já a tabela 6.134 compila os resultados de dados migrados e não migrados. Em dados migrados, 43% dos testes apresentaram melhor desempenho com GARCH, 7% não apresentaram diferença e na metade restante a utilização do GARCH trouxe um conjunto de resíduos mais correlacionados do que a não utilização dele. Em dados não migrados, entretanto, metade dos testes com a utilização do GARCH obteve um conjunto de resíduos mais descorrelacionado, em 4% houve empate e nos 46% restantes a não utilização do modelo GARCH trouxe resíduos mais descorrelacionados. Para dados sem a informação de migrado ou não disponível, os índices de ganho, empate e perda na utilização do GARCH foram, respectivamente, 53%, 2%

e 45%.

---

Tabela 6.134: Compilado da evolução da correlação entre dados migrados e não migrados

| Tipo de dado experimentos | Melhor com GARCH | Empate | Melhor sem GARCH |
|---------------------------|------------------|--------|------------------|
| Não Disponível            | 53%              | 2%     | 45%              |
| Não Migrado               | 50%              | 4%     | 46%              |
| Migrado                   | 43%              | 7%     | 50%              |

Na tabela 6.135, são mostrados os resultados de acordo com o ruído estimado no dado. Em dados com ruído estimado em alto, o GARCH foi inferior em 29% dos testes, houve empate em 9% e ganho sem GARCH em 61% dos testes realizados. Em dados com ruído estimado em baixo, o GARCH foi superior em 51% dos testes, irrelevant e em 2% e perdeu nos 47% restantes. Para dados com ruído estimado em médio, a utilização do GARCH foi melhor em 53% dos testes, empatou em 5% e foi vencida nos 42% que sobram.

---

Tabela 6.135: Compilado da evolução da entropia entre dados com relação ao ruído estimado do dado

| Ruido estimado no dado | Melhor com GARCH | Empate | Melhor sem GARCH |
|------------------------|------------------|--------|------------------|
| Alto                   | 29%              | 9%     | 61%              |
| Baixo                  | 51%              | 2%     | 47%              |
| Médio                  | 53%              | 5%     | 42%              |

A tabela 6.136 mostra a diferença de desempenho da correlação das soluções sem e com GARCH em dados sintéticos. Para dados sintéticos, o GARCH alcançou uma razão de compressão melhor em 47% das vezes, empatou em 3% e foi superado em 50% dos testes. Já para dados não sintéticos, esses valores mudam para 49%, 5% e 46%, respectivamente.

---

Tabela 6.136: Compilado da evolução da correlação entre dados sintéticos e não-sintéticos

| Tipo de dado experimentos | Melhor com GARCH | Empate | Melhor sem GARCH |
|---------------------------|------------------|--------|------------------|
| Não Sintético             | 7%               | 68%    | 25%              |
| Sintético                 | 5%               | 71%    | 24%              |

#### 6.3.4 Evolução Variância

A tabela 6.137 apresenta a evolução da variância de dados pré e pós-stack levando em consideração todas as metodologias de teste. Em dados pré-stack, a utilização do GARCH foi positiva em 16% dos testes, inferior em 80% e irrelevante nos outros 4%. Para dados pós-stack, houve vantagem utilizando o GARCH em 12% dos testes e desvantagem em 87%; nos 1% restantes a utilização do modelo foi irrelevante. Para dados sem informação disponível, houve ganho em 22% dos testes e piora nos 78% restantes.

**Resultado consolidado da evolução da variância do resíduo gerado em comparação ao dado original em todas as metodologias**

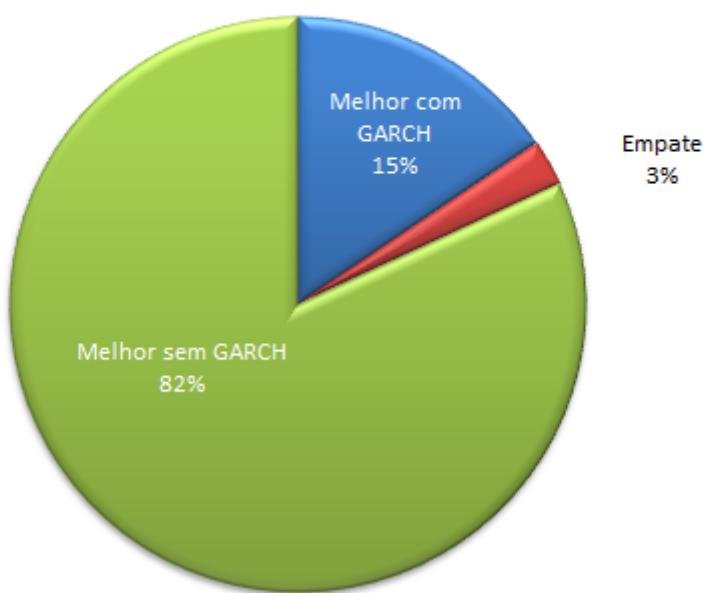


Figura 6.138: Consolidação da evolução da variância envolvendo todas as metodologias

---

Tabela 6.137: Compilado da evolução da variância entre dados pré e pós-stack

| Tipo de dado experimentos | Melhor com GARCH | Empate | Melhor sem GARCH |
|---------------------------|------------------|--------|------------------|
| Não Disponível            | 22%              | 0%     | 78%              |
| Pós-stack                 | 12%              | 1%     | 87%              |
| Pré-stack                 | 16%              | 4%     | 80%              |

Já a tabela 6.138 compila os resultados de dados migrados e não migrados. Em dados migrados, 15% dos testes apresentaram melhor desempenho com GARCH, 1% não apresentou diferença e nos 81% restantes a utilização do GARCH trouxe um conjunto de resíduos com variância superior do que a não utilização dele. Em dados não migrados, os valores são bem parecidos, com uma pequena variação de três pontos percentuais a mais ao empate e a menos na utilização sem GARCH. Para dados sem a informação de migrado ou não disponível, os índices de ganho, empate e perda na utilização do GARCH foram, respectivamente, 78%, 0% e 22%.

---

Tabela 6.138: Compilado da evolução da correlação entre dados migrados e não migrados

| Tipo de dado experimentos | Melhor com GARCH | Empate | Melhor sem GARCH |
|---------------------------|------------------|--------|------------------|
| Não Disponível            | 22%              | 0%     | 78%              |
| Não Migrado               | 15%              | 4%     | 81%              |
| Migrado                   | 15%              | 1%     | 85%              |

Na tabela 6.139, são mostrados os resultados de acordo com o ruído estimado no dado. Em dados com ruído estimado em alto, o GARCH foi inferior em 17% dos testes, houve empate em 1% e ganho sem GARCH em 82% dos testes realizados. Em dados com ruído estimado em baixo, o GARCH foi superior em 17% dos testes, irrelevante em 2% e perdeu nos 81% restantes. Para dados com ruído estimado em médio, a utilização do GARCH foi melhor em 13% dos testes, empatou em 4% e foi vencida nos 83% que sobram.

---

Tabela 6.139: Compilado da evolução da variância entre dados com relação ao ruído estimado do dado

| Ruido<br>estimado<br>no dado | Melhor com<br>GARCH | Empate | Melhor sem<br>GARCH |
|------------------------------|---------------------|--------|---------------------|
| Alto                         | 17%                 | 1%     | 82%                 |
| Baixo                        | 17%                 | 2%     | 81%                 |
| Médio                        | 13%                 | 4%     | 83%                 |

A tabela 6.140 mostra a diferença de desempenho da correlação das soluções sem e com GARCH em dados sintéticos. Para dados sintéticos, o GARCH alcançou uma evolução da variância melhor em 16% das vezes, empatou em 4% e foi superado em 80% dos testes. Já para dados não sintéticos, esses valores mudam para 15%, 2% e 83%, respectivamente.

---

Tabela 6.140: Compilado da evolução da variância entre dados sintéticos e não-sintéticos

| Tipo de dado experimentos | Melhor com GARCH | Empate | Melhor sem GARCH |
|---------------------------|------------------|--------|------------------|
| Não Sintético             | 15%              | 2%     | 83%              |
| Sintético                 | 16%              | 4%     | 80%              |

## 7 CONCLUSÃO

## REFERÊNCIAS

- ABRAMSON, N. **Information Theory and Coding.** [S.l.]: McGraw Hill, 1963.
- AMARO, A. **Uma Introdução à Econometria.** [S.l.]: Lulu Enterprises Incorporated, 2010.
- ANP. **PADRÃO ANP1B Formatação e Procedimentos para a Entrega de Dados Sísmicos.** [S.l.]: Agência Nacional do Petróleo, 2004.
- BERA, A. K.; HIGGINS, M. L. ARCH MODELS: properties, estimation and testing. **Journal of Economic Surveys**, [S.l.], v.7, n.4, p.305–366, 1993.
- BOLLERSLEV, T. Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity. **Journal Of Econometrics**, [S.l.], v.31, p.307–327, 1986.
- BORDLEY, T. Linear predictive coding of marine seismic data. **Acoustics, Speech and Signal Processing, IEEE Transactions on**, [S.l.], v.31, n.4, p.828–835, Aug 1983.
- BOX, G.; JENKINS, G. **Times Series Analysis:** forecasting and control. [S.l.]: Holden-Day, 1976. (Holden-Day series in time series analysis and digital processing).
- CORMEN, T. H. et al. **Introduction to Algorithms.** [S.l.]: The MIT Press, 2009.
- DAGUM, E.; CHOLETTE, P. **Benchmarking, Temporal Distribution, and Reconciliation Methods for Time Series.** [S.l.]: Springer, 2006. (Lecture notes in statistics).
- DIAS, R. **O uso racional da energia.** [S.l.]: Unesp, 2006.

- ENGLE, R. F. Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation. **Econometrica**, [S.l.], v.50, n.4, p.987–1007, 1982.
- FAN, J.; KIRLIN, R.; STEARNS, S. D. Enhancements of bi-level coding for seismic waveform compression. In: CIRCUITS AND SYSTEMS, 1994., PROCEEDINGS OF THE 37TH MIDWEST SYMPOSIUM ON. **Anais...** [S.l.: s.n.], 1994. v.2, p.931–934 vol.2.
- FARGUES, M.; STEARNS, S. D.; COUTU, G. Seismic data compression using adaptive filters. In: CIRCUITS AND SYSTEMS, 1994., PROCEEDINGS OF THE 37TH MIDWEST SYMPOSIUM ON. **Anais...** [S.l.: s.n.], 1994. v.2, p.957–960 vol.2.
- HONEA, D.; STEARNS, S. D. Lossless waveform compression: a case study. In: SIGNALS, SYSTEMS AND COMPUTERS, 1993. 1993 CONFERENCE RECORD OF THE TWENTY-SEVENTH ASILOMAR CONFERENCE ON. **Anais...** [S.l.: s.n.], 1993. p.1514–1518 vol.2.
- HOPPE, R. H. W. **Optimization Theory**. Disponível em [http://www.math.uh.edu/~rohop/fall\\_06/](http://www.math.uh.edu/~rohop/fall_06/). Acesso em 26/06/2014 às 23:51.
- HUBER, P. **Biologia Marinha**. [S.l.]: McGraw Hill Brasil, 2012.
- HUFFMAN, D. A Method for the Construction of Minimum-Redundancy Codes. **Proceedings of the IRE**, [S.l.], v.40, n.9, p.1098–1101, 1952.
- IVES, R.; MAGOTRA, N.; STEARNS, S. D. Effects of multiple-pass filtering in lossless predictive compression of waveform data. **Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on**, [S.l.], v.40, n.11, p.2448–2453, Nov 2002.
- KAASTRA, I.; BOYD, M. Designing a neural network for forecasting financial and economic time series. **Neurocomputing**, [S.l.], v.10, n.3, p.215 – 236, 1996. Financial Applications, Part {II}.

- KHENE, M.; ABDUL-JAUWAD, S. H. Adaptive seismic compression by wavelet shrinkage. In: STATISTICAL SIGNAL AND ARRAY PROCESSING, 2000. PROCEEDINGS OF THE TENTH IEEE WORKSHOP ON. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2000. p.544–548.
- KIELY, A. et al. Adaptive Linear Filtering Compression on realtimeensor networks. In: PERVASIVE COMPUTING AND COMMUNICATIONS, 2009. PERCOM 2009. IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2009. p.1–10.
- KNUTH, D. E. Dynamic huffman coding. **Journal of Algorithms**, [S.l.], v.6, n.2, p.163 – 180, 1985.
- LEVINE, J.; YOUNG, M. **UNIX For Dummies**. [S.l.]: Wiley, 2011.
- LIU, G. et al. Volcanic Earthquake Timing Using Wireless Sensor Networks. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION PROCESSING IN SENSOR NETWORKS, 12., New York, NY, USA. **Proceedings...** ACM, 2013. p.91–102. (IPSN '13).
- MANDYAM, G.; MAGOTRA, N.; MCCOY, W. Lossless seismic data compression using adaptive linear prediction. In: GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 1996. IGARSS '96. 'REMOTE SENSING FOR A SUSTAINABLE FUTURE.', INTERNATIONAL. **Anais...** [S.l.: s.n.], 1996. v.2, p.1029–1031 vol.2.
- MEYER, M. **Explorations in Computer Science**. [S.l.]: Jones and Bartlett Publishers, 2005. (Jones and Bartlett illuminated series).
- MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de Séries Temporais**. 2.ed. [S.l.]: Blucher, 2008. (ABE - Projeto Fisher).
- MOUSA, W. A.; AL-SHUHAIL, A. A. **Processing of Seismic Reflection Data Using MATLAB**. [S.l.]: Morgan & Claypool Publishers, 2011.

NIJIM, Y.; STEARNS, S. D.; MIKHAEL, W. Evaluation of differentiation for lossless compression of several signal classes. In: CIRCUITS AND SYSTEMS, 1994., PROCEEDINGS OF THE 37TH MIDWEST SYMPOSIUM ON. **Anais...** [S.l.: s.n.], 1994. v.2, p.939–942 vol.2.

NIJIM, Y.; STEARNS, S. D.; MIKHAEL, W. Lossless compression of seismic signals using least square, frequency domain pole-zero modeling. In: CIRCUITS AND SYSTEMS, 1995. ISCAS '95., 1995 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON. **Anais...** [S.l.: s.n.], 1995. v.2, p.1106–1109 vol.2.

NIJIM, Y.; STEARNS, S. D.; MIKHAEL, W. Pole-zero modeling for the lossless compression of seismic signals. In: CIRCUITS AND SYSTEMS, 1997. ISCAS '97., PROCEEDINGS OF 1997 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON. **Anais...** [S.l.: s.n.], 1997. v.4, p.2537–2540 vol.4.

NIJIM, Y.; STEARNS, S. D.; MIKHAEL, W. Quantitative performance evaluation of the lossless compression approach using pole-zero modeling. **Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on**, [S.l.], v.38, n.1, p.39–43, Jan 2000.

NIJIM, Y.; STEARNS, S.; MIKHAEL, W. Lossless compression of seismic signals using differentiation. **Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on**, [S.l.], v.34, n.1, p.52–56, Jan 1996.

NOCEDAL, J.; WRIGHT, S. **Numerical Optimization (Springer Series in Operations Research and Financial Engineering)**. [S.l.]: Springer, 2000.

NUNES, F. T.; DINIZ-EHRHARDT, M. A. **Programação Quadrática Sequencial e Condições de Qualificação**. [S.l.]: Universidade Estadual de Campinas, 2010.

O'NEIL, M. A.; BURTSCHER, M. Floating-point Data Compression at 75 Gb/s on a GPU. In: FOURTH WORKSHOP ON GENERAL PURPOSE PROCESSING

ON GRAPHICS PROCESSING UNITS, New York, NY, USA. **Proceedings...** ACM, 2011. p.7:1–7:7. (GPGPU-4).

PETERSON, C.; HUTT, C. Lossless compression of seismic data. In: SIGNALS, SYSTEMS AND COMPUTERS, 1992. 1992 CONFERENCE RECORD OF THE TWENTY-SIXTH ASILOMAR CONFERENCE ON. **Anais...** [S.l.: s.n.], 1992. p.712–716 vol.2.

REDDY, T.; DEVI, K.; GANGASHETTY, S. Nonlinear principal component analysis for seismic data compression. In: RECENT ADVANCES IN INFORMATION TECHNOLOGY (RAIT), 2012 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2012. p.927–932.

SALOMON, D. **Data Compression:** the complete reference. [S.l.]: Springer, 2004.

SAVAZZI, S.; MOLTENI, D.; SPAGNOLINI, U. Energy-aware compress and forward systems for wireless monitoring of time-varying fields. In: PERSONAL INDOOR AND MOBILE RADIO COMMUNICATIONS (PIMRC), 2010 IEEE 21ST INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2010. p.1384–1389.

SAYOOD, K. **Lossless Compression Handbook (Communications, Networking and Multimedia).** [S.l.]: Academic Press, 2003.

SAYOOD, K. **Introduction to Data Compression (The Morgan Kaufmann Series in Multimedia Information and Systems).** [S.l.]: Morgan Kaufmann, 2005.

SEG Y rev 1 Data Exchange format. [S.l.]: SEG Technical Standards Committee, 2002.

SEWARD, D. **Estatística Aplicada à Administração e à Economia.** [S.l.]: McGraw Hill Brasil, 2008.

- SHANNON, C. E. A Mathematical Theory of Communication. **The Bell System Technical Journal**, [S.l.], v.27, p.379–423, 623–656, 1948.
- SOARES, A. C. C. P. P. **Métodos Geofísicos em Obras Lineares**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — Programa de PósGraduação em Engenharia Civil da PUC-Rio.
- SPANIAS, A.; JONSSON, S.; STEARNS, S. Transform coding algorithms for seismic data compression. In: CIRCUITS AND SYSTEMS, 1990., IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON. **Anais...** [S.l.: s.n.], 1990. p.1573–1576 vol.2.
- SPANIAS, A.; JONSSON, S.; STEARNS, S. D. Transform methods for seismic data compression. **Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on**, [S.l.], v.29, n.3, p.407–416, May 1991.
- STEARNS, S. Arithmetic coding in lossless waveform compression. **Signal Processing, IEEE Transactions on**, [S.l.], v.43, n.8, p.1874–1879, 1995.
- STEARNS, S. D. Waveform data compression with exact recovery. In: DATA COMPRESSION CONFERENCE, 1991. DCC '91. **Anais...** [S.l.: s.n.], 1991. p.464–.
- STEARNS, S. D.; TAN, L.-Z.; MAGOTRA, N. Lossless compression of waveform data for efficient storage and transmission. **Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on**, [S.l.], v.31, n.3, p.645–654, 1993.
- TELFORD, W. et al. **Applied Geophysics**. [S.l.]: Cambridge University Press, 1990. (Monograph series).
- VITTER, J. S. Design and Analysis of Dynamic Huffman Codes. **J. ACM**, New York, NY, USA, v.34, n.4, p.825–845, Oct. 1987.
- WANG, W.; MISHRA, P. **A Partitioned Bitmask-based Technique for Lossless Seismic Data Compression**. [S.l.]: University of Florida, 2008.

WERNICK, E. **Rochas magmáticas conceitos fundamentais e classificação modal, química, termodinâmica e tectônica.** [S.l.]: UNESP, 2004.

WHITTLE, P. **Hypothesis Testing in Time Series Analysis.** [S.l.]: Almqvist & Wiksell, 1951. (Statistics).

WITTEN, I. H.; NEAL, R. M.; CLEARY, J. G. Arithmetic Coding for Data Compression. **Commun. ACM**, New York, NY, USA, v.30, n.6, p.520–540, June 1987.

WU, W. et al. Adaptive Seismic Data Compression Using Wavelet Packets. In: GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 2006. IGARSS 2006. IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2006. p.787–789.

YILMAZ, O. **Seismic Data Analysis. Processing, Inversion, and Interpretation of Seismic Data.** [S.l.]: Society of Exploration Geophysicists, 2001. (Investigations in Geophysics).

ZHENG, F.; LIU, S. A fast compression algorithm for seismic data from non-cable seismographs. In: INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES (WICT), 2012 WORLD CONGRESS ON. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2012. p.1215–1219.