

# Trabalho 01

Jardel Batista Gonçalves<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Colégio Técnico Industrial – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)  
Caixa Postal 5071 – 97110-970 – Santa Maria – RS – Brasil

jardel.goncalves@redes.ufsm.br

**Abstract.** *The objective of this work is to compare the sorting algorithms Bubble Sort, Insertion Sort, Selection Sort, Quick Sort, and Merge Sort on linked lists. Both the implementation of the sorting algorithms and the generation of the linked lists and their keys were carried out by the students themselves.*

**Resumo.** *O objetivo deste trabalho é comparar os algoritmos de ordenação Bubble Sort, Insertion Sort, Selection Sort, Quick Sort e Merge Sort em listas encadeadas. Tanto a implementação dos algoritmos de ordenação quanto a geração das listas encadeadas e suas chaves foram realizadas pelos próprios alunos.*

## 1. Desenvolvimento

Para avaliar a ordenação de listas com 100 elementos, foram realizadas 7000 repetições para garantir que o tempo total de ordenação fosse relevante. As Figuras 1 e 2 mostram o tempo total necessário para ordenar as listas de 100 elementos, utilizando os cinco algoritmos de ordenação desenvolvidos.

O tempo apresentado em todas as tabelas está em segundos.

| TEMPO DE ORDENAÇÃO – 100 ELEMENTOS – N1 VALEND0 7000 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| BUBBLE SORT  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| TIPO 1   | 0,787 | 0,809 | 0,818 | 0,802 | 0,808 | 0,786 | 0,794 | 0,773 | 0,719 | 0,815 |
| TIPO 2   | 0,358 | 0,393 | 0,411 | 0,392 | 0,392 | 0,439 | 0,378 | 0,345 | 0,333 | 0,391 |
| TIPO 3   | 0,906 | 0,839 | 0,876 | 0,915 | 0,810 | 0,903 | 0,792 | 0,889 | 0,896 | 0,875 |
| TIPO 4   | 0,445 | 0,569 | 0,488 | 0,577 | 0,588 | 0,541 | 0,593 | 0,608 | 0,470 | 0,507 |
| INSERTION SORT                                       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| TIPO 1   | 0,088 | 0,124 | 0,092 | 0,145 | 0,098 | 0,126 | 0,134 | 0,105 | 0,145 | 0,080 |
| TIPO 2   | 0,159 | 0,104 | 0,130 | 0,218 | 0,152 | 0,177 | 0,179 | 0,138 | 0,206 | 0,159 |
| TIPO 3   | 0,052 | 0,065 | 0,067 | 0,048 | 0,069 | 0,093 | 0,100 | 0,079 | 0,084 | 0,101 |
| TIPO 4   | 0,188 | 0,114 | 0,174 | 0,137 | 0,156 | 0,161 | 0,200 | 0,210 | 0,178 | 0,132 |
| SELECTION SORT                                       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| TIPO 1   | 0,237 | 0,228 | 0,266 | 0,206 | 0,257 | 0,220 | 0,259 | 0,262 | 0,261 | 0,247 |
| TIPO 2   | 0,250 | 0,231 | 0,233 | 0,261 | 0,296 | 0,267 | 0,274 | 0,279 | 0,252 | 0,204 |
| TIPO 3   | 0,226 | 0,201 | 0,235 | 0,212 | 0,204 | 0,206 | 0,226 | 0,245 | 0,232 | 0,228 |
| TIPO 4   | 0,272 | 0,248 | 0,244 | 0,212 | 0,234 | 0,202 | 0,248 | 0,276 | 0,239 | 0,266 |

Figura 1: Ordenação das listas de 100 elementos utilizando o *bubble sort*, *insertion sort* e o *selection sort* [Autor 2023].

| QUICK SORT |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TIPO 1     | 0,027 | 0,068 | 0,050 | 0,034 | 0,057 | 0,048 | 0,094 | 0,064 | 0,053 | 0,047 |
| TIPO 2     | 0,176 | 0,139 | 0,104 | 0,142 | 0,113 | 0,127 | 0,130 | 0,165 | 0,153 | 0,152 |
| TIPO 3     | 0,163 | 0,090 | 0,181 | 0,127 | 0,140 | 0,185 | 0,109 | 0,113 | 0,109 | 0,145 |
| TIPO 4     | 0,070 | 0,060 | 0,142 | 0,100 | 0,063 | 0,091 | 0,149 | 0,107 | 0,095 | 0,109 |
| -----      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| MERGE SORT |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| TIPO 1     | 0,057 | 0,058 | 0,075 | 0,064 | 0,073 | 0,066 | 0,037 | 0,038 | 0,062 | 0,127 |
| TIPO 2     | 0,079 | 0,074 | 0,053 | 0,016 | 0,047 | 0,036 | 0,086 | 0,060 | 0,068 | 0,047 |
| TIPO 3     | 0,047 | 0,060 | 0,057 | 0,022 | 0,040 | 0,066 | 0,053 | 0,032 | 0,062 | 0,074 |
| TIPO 4     | 0,107 | 0,044 | 0,078 | 0,062 | 0,042 | 0,037 | 0,041 | 0,028 | 0,076 | 0,085 |
| -----      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

**Figura 2: Ordenação das listas de 100 elementos utilizando o *quick sort* e o *merge sort* [Autor 2023].**

Para avaliar a ordenação das listas com 5000 elementos, foram realizadas 100 repetições para garantir que o tempo total de ordenação fosse relevante. As Figuras 3 e 4 mostram o tempo total necessário para ordenar as listas de 5000 elementos, utilizando os cinco algoritmos de ordenação desenvolvidos.

| TEMPO DE ORDENAÇÃO - 5000 ELEMENTOS - N2 VALEND0 100 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| BUBBLE SORT  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| TIPO 1   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 34,327   | 33,907 | 34,317 | 34,271 | 34,362 | 34,361 | 33,961 | 34,344 | 33,884 | 33,988 |  |
| TIPO 2   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 17,195   | 17,051 | 17,315 | 16,820 | 17,068 | 17,000 | 17,176 | 17,277 | 16,965 | 16,921 |  |
| TIPO 3   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 33,896   | 33,881 | 33,897 | 34,022 | 34,095 | 33,812 | 34,063 | 34,216 | 33,596 | 33,456 |  |
| TIPO 4   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 26,189   | 26,155 | 25,790 | 25,830 | 25,642 | 26,308 | 26,069 | 26,095 | 26,235 | 25,773 |  |
| INSERTION SORT                                       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| TIPO 1   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 6,121  | 5,935  | 5,955  | 6,066  | 5,940  | 5,965  | 6,084  | 6,002  | 5,991  | 6,010  |  |
| TIPO 2   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 7,696  | 7,693  | 7,665  | 7,666  | 7,689  | 7,679  | 7,607  | 7,596  | 7,681  | 7,787  |  |
| TIPO 3   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 2,978  | 3,079  | 2,932  | 3,004  | 2,929  | 2,948  | 2,984  | 2,993  | 2,965  | 3,021  |  |
| TIPO 4   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 7,485  | 7,454  | 7,452  | 7,430  | 7,529  | 7,559  | 7,449  | 7,461  | 7,477  | 7,585  |  |
| SELECTION SORT                                       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| TIPO 1   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 9,571  | 9,647  | 9,554  | 9,894  | 9,572  | 9,524  | 9,534  | 9,547  | 9,539  | 9,581  |  |
| TIPO 2   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 9,196  | 9,299  | 9,259  | 9,240  | 9,329  | 9,218  | 9,277  | 9,256  | 9,234  | 9,350  |  |
| TIPO 3   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 9,712  | 9,521  | 9,576  | 9,522  | 9,528  | 9,656  | 9,531  | 9,509  | 9,658  | 9,615  |  |
| TIPO 4   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 9,285  | 9,240  | 9,381  | 9,411  | 9,304  | 9,324  | 9,404  | 9,337  | 9,353  | 9,317  |  |

**Figura 3: Ordenação das listas de 5000 elementos utilizando o *bubble sort*, *insertion sort* e o *selection sort* [Autor 2023].**

| QUICK SORT |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TIPO 1     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 0,124      | 0,147 | 0,124 | 0,109 | 0,112 | 0,136 | 0,127 | 0,132 | 0,154 | 0,102 |
| TIPO 2     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 4,592      | 4,699 | 4,649 | 4,640 | 4,648 | 4,653 | 4,681 | 4,718 | 4,670 | 4,680 |
| TIPO 3     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 4,693      | 4,780 | 4,805 | 4,800 | 4,772 | 4,734 | 4,805 | 4,696 | 4,745 | 4,715 |
| TIPO 4     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 0,149      | 0,180 | 0,150 | 0,181 | 0,171 | 0,155 | 0,182 | 0,184 | 0,121 | 0,141 |
| MERGE SORT |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| TIPO 1     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 0,147      | 0,146 | 0,103 | 0,161 | 0,157 | 0,095 | 0,147 | 0,167 | 0,156 | 0,148 |
| TIPO 2     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 0,086      | 0,125 | 0,108 | 0,080 | 0,115 | 0,101 | 0,104 | 0,132 | 0,122 | 0,130 |
| TIPO 3     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 0,132      | 0,080 | 0,108 | 0,103 | 0,128 | 0,087 | 0,129 | 0,100 | 0,137 | 0,093 |
| TIPO 4     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 0,112      | 0,163 | 0,142 | 0,132 | 0,126 | 0,135 | 0,070 | 0,139 | 0,114 | 0,108 |

**Figura 4: Ordenação das listas de 5000 elementos utilizando o *quick sort* e o *merge sort* [Autor 2023].**

Para avaliar a ordenação das listas com 20000 elementos, foram realizadas 50 repetições para garantir que o tempo total de ordenação fosse relevante. As Figuras 5 e 6 mostram o tempo total necessário para ordenar as listas de 20000 elementos, utilizando os cinco algoritmos de ordenação desenvolvidos.

| TEMPO DE ORDENAÇÃO - 20000 ELEMENTOS - N3 VALEND0 50 |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| BUBBLE SORT  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| TIPO 1   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| 403,041  | 404,149 | 404,753 | 404,552 | 402,623 | 403,378 | 402,311 | 404,132 | 401,385 | 402,925 |
| TIPO 2   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| 201,017  | 200,206 | 202,103 | 202,642 | 201,828 | 203,616 | 205,863 | 201,930 | 203,384 | 202,276 |
| TIPO 3   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| 342,136  | 341,361 | 341,875 | 343,542 | 342,326 | 340,844 | 342,116 | 341,522 | 341,685 | 341,527 |
| TIPO 4   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| 290,084  | 286,894 | 289,192 | 289,631 | 288,597 | 290,252 | 289,107 | 289,759 | 287,972 | 286,300 |
| INSERTION SORT                                       |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| TIPO 1   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| 80,815   | 80,757  | 80,990  | 80,409  | 81,100  | 80,397  | 80,634  | 80,273  | 80,896  | 80,528  |
| TIPO 2   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| 80,843   | 80,005  | 80,422  | 80,078  | 80,120  | 82,145  | 81,862  | 81,554  | 80,564  | 80,235  |
| TIPO 3   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| 40,219   | 40,535  | 40,560  | 40,327  | 40,632  | 40,029  | 40,280  | 40,318  | 40,462  | 39,916  |
| TIPO 4   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| 82,579   | 83,234  | 82,926  | 82,789  | 82,813  | 83,075  | 82,958  | 83,292  | 82,886  | 83,008  |
| SELECTION SORT                                       |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| TIPO 1   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| 89,221   | 89,941  | 89,197  | 89,159  | 89,141  | 89,228  | 89,379  | 89,236  | 89,592  | 89,400  |
| TIPO 2   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| 83,325   | 83,344  | 83,292  | 83,169  | 83,627  | 85,287  | 84,027  | 84,531  | 83,259  | 83,382  |
| TIPO 3   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| 100,062  | 100,006 | 99,340  | 100,026 | 99,826  | 100,329 | 100,031 | 100,020 | 99,964  | 100,179 |
| TIPO 4   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| 85,312   | 85,267  | 85,202  | 85,558  | 85,652  | 85,245  | 85,427  | 85,109  | 85,192  | 85,306  |

**Figura 5: Ordenação das listas de 20000 elementos utilizando o *bubble sort*, *insertion sort* e o *selection sort* [Autor 2023].**

| QUICK SORT |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| TIPO 1     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 0,349      | 0,332  | 0,431  | 0,398  | 0,450  | 0,273  | 0,391  | 0,360  | 0,334  | 0,387  |  |
| TIPO 2     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 39,773     | 39,766 | 39,801 | 39,793 | 39,815 | 40,815 | 40,479 | 40,214 | 39,745 | 39,832 |  |
| TIPO 3     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 40,664     | 40,982 | 40,664 | 40,821 | 40,930 | 40,928 | 41,136 | 40,558 | 40,915 | 40,736 |  |
| TIPO 4     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 0,491      | 0,427  | 0,403  | 0,382  | 0,378  | 0,365  | 0,527  | 0,423  | 0,388  | 0,415  |  |
| MERGE SORT |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| TIPO 1     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 0,390      | 0,409  | 0,447  | 0,346  | 0,425  | 0,369  | 0,357  | 0,280  | 0,403  | 0,395  |  |
| TIPO 2     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 0,216      | 0,259  | 0,243  | 0,284  | 0,324  | 0,198  | 0,294  | 0,287  | 0,259  | 0,292  |  |
| TIPO 3     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 0,248      | 0,247  | 0,266  | 0,281  | 0,235  | 0,274  | 0,265  | 0,240  | 0,305  | 0,277  |  |
| TIPO 4     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 0,349      | 0,332  | 0,418  | 0,402  | 0,349  | 0,286  | 0,340  | 0,354  | 0,332  | 0,298  |  |

**Figura 6: Ordenação das listas de 20000 elementos utilizando o *quick sort* e o *merge sort* [Autor 2023].**

Para avaliar a ordenação das listas com 32000 elementos, foram realizadas 30 repetições para garantir que o tempo total de ordenação fosse relevante. As Figuras 7 e 8 mostram o tempo total necessário para ordenar as listas de 32000 elementos, utilizando os cinco algoritmos de ordenação desenvolvidos.

| TEMPO DE ORDENAÇÃO - 32000 ELEMENTOS - N4 VALENDO 30 |         |         |         |         |         |         |         |         |         |  |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--|
| BUBBLE SORT  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |  |
| TIPO 1   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |  |
| 669,233  | 665,170 | 667,333 | 668,906 | 663,024 | 669,117 | 664,359 | 669,466 | 667,824 | 666,793 |  |
| TIPO 2   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |  |
| 332,933  | 335,389 | 333,209 | 332,234 | 333,495 | 334,082 | 335,160 | 334,089 | 333,624 | 334,900 |  |
| TIPO 3   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |  |
| 549,351  | 549,664 | 548,534 | 552,841 | 545,248 | 548,037 | 549,194 | 548,278 | 549,484 | 548,955 |  |
| TIPO 4   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |  |
| 477,287  | 476,917 | 476,599 | 473,649 | 475,628 | 478,983 | 477,518 | 478,932 | 478,240 | 479,605 |  |
| INSERTION SORT                                       |         |         |         |         |         |         |         |         |         |  |
| TIPO 1   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |  |
| 146,102  | 145,166 | 145,900 | 146,141 | 145,417 | 146,056 | 146,740 | 146,509 | 146,206 | 145,643 |  |
| TIPO 2   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |  |
| 135,757  | 135,075 | 135,547 | 135,263 | 135,292 | 135,641 | 135,590 | 135,494 | 136,553 | 136,113 |  |
| TIPO 3   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |  |
| 73,171   | 72,392  | 73,147  | 72,976  | 72,433  | 72,180  | 73,023  | 72,300  | 73,123  | 72,913  |  |
| TIPO 4   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |  |
| 139,579  | 139,764 | 139,985 | 139,285 | 139,165 | 139,518 | 140,109 | 139,642 | 139,886 | 139,790 |  |
| SELECTION SORT                                       |         |         |         |         |         |         |         |         |         |  |
| TIPO 1   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |  |
| 137,592  | 137,687 | 137,792 | 137,597 | 137,783 | 137,758 | 137,599 | 137,845 | 137,947 | 137,696 |  |
| TIPO 2   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |  |
| 128,868  | 128,913 | 129,184 | 129,100 | 129,238 | 128,893 | 128,901 | 129,137 | 130,367 | 128,795 |  |
| TIPO 3   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |  |
| 173,137  | 172,335 | 172,450 | 172,453 | 172,398 | 172,925 | 172,818 | 172,358 | 173,080 | 172,531 |  |
| TIPO 4   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |  |
| 132,337  | 132,477 | 132,369 | 132,041 | 132,320 | 132,215 | 132,001 | 132,125 | 132,102 | 132,327 |  |

**Figura 7: Ordenação das listas de 32000 elementos utilizando o *bubble sort*, *insertion sort* e o *selection sort* [Autor 2023].**

|            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| QUICK SORT |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| TIPO 1     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 0,435      | 0,397  | 0,371  | 0,376  | 0,436  | 0,375  | 0,374  | 0,369  | 0,376  | 0,410  |  |
| TIPO 2     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 61,859     | 61,786 | 61,771 | 61,898 | 61,755 | 61,823 | 62,080 | 61,808 | 62,665 | 61,752 |  |
| TIPO 3     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 63,154     | 63,054 | 63,421 | 63,379 | 63,120 | 63,168 | 63,365 | 63,090 | 63,938 | 63,348 |  |
| TIPO 4     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 0,356      | 0,378  | 0,397  | 0,319  | 0,421  | 0,454  | 0,422  | 0,470  | 0,433  | 0,465  |  |
| MERGE SORT |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| TIPO 1     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 0,410      | 0,407  | 0,388  | 0,343  | 0,381  | 0,347  | 0,406  | 0,434  | 0,349  | 0,396  |  |
| TIPO 2     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 0,314      | 0,290  | 0,249  | 0,262  | 0,305  | 0,268  | 0,301  | 0,264  | 0,262  | 0,323  |  |
| TIPO 3     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 0,281      | 0,306  | 0,274  | 0,308  | 0,294  | 0,334  | 0,308  | 0,242  | 0,297  | 0,272  |  |
| TIPO 4     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 0,263      | 0,380  | 0,298  | 0,378  | 0,305  | 0,159  | 0,324  | 0,384  | 0,390  | 0,431  |  |

**Figura 8: Ordenação das listas de 32000 elementos utilizando o *quick sort* e o *merge sort* [Autor 2023].**

## 2. Conclusão

A análise da utilização de diversos algoritmos de ordenação revelou diferenças significativas em seus desempenhos. Os resultados demonstram claramente a ineficiência do *Bubble Sort* em termos de velocidade de ordenação. Em contraste, o *Merge Sort* mostrou-se altamente eficiente, sendo frequentemente a escolha preferida para a ordenação de listas encadeadas. Este algoritmo mantém um tempo de ordenação consistentemente baixo, independentemente do estado inicial da lista, seja ela já ordenada ou não.